

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ТИЩЕНКО ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 630*5:582.632.1(477)

ДИСЕРТАЦІЯ

**ФОРМА І РОЗМІРНО-ЯКІСНА СТРУКТУРА СТОВБУРІВ
БЕРЕЗИ ПОВИСЛОЇ В ДЕРЕВОСТАНАХ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ**

Спеціальність – 205 «Лісове господарство»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів
мають посилання на відповідне джерело О. М. Тищенко

Наукові керівники:
Лакида Петро Іванович,
доктор сільськогосподарських наук,
професор, член-кореспондент НААН,
Миронюк Віктор Валентинович,
доктор сільськогосподарських наук,
професор

Київ – 2025

АНОТАЦІЯ

Тищенко О. М. Форма і розмірно-якісна структура стовбурів берези повислої в деревостанах Українського Полісся. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 205 «Лісове господарство». – Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2025.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню форми стовбурів берези повислої в деревостанах Українського Полісся, що виступає теоретичним підґрунтям для визначення їхнього об'єму та розмірно-якісної структури деревини. Практична складова дисертаційного дослідження пов'язана з потребою удосконалення об'ємних таблиць, які використовуються в лісовій галузі України під час матеріальної оцінки лісосік. Необхідність дослідження зумовлена скасуванням після 2019 року частини національних і міждержавних стандартів, які широко використовувалися у виробничих умовах. Нові вимоги щодо класифікації деревини за розмірами та якістю, запроваджені в Україні згідно з Угодою про асоціацію з Європейським Союзом, гармонізовані з європейськими та міжнародними документами, та мають принципові відмінності порівняно зі скасованими. Це унеможливило використання чинних нормативів для прогнозування обсягів деревини під час лісозаготівель.

Актуальність обраної теми дослідження викликана необхідністю пошуку способів підвищення точності оцінки розмірно-якісної структури об'єму стовбурів берези повислої. Передусім зазначене стосується потребою встановлення розподілу об'єму стовбурів за класами товщини відповідно до нових вимог європейських стандартів на класифікацію круглих лісоматеріалів. Вирішення цієї проблеми за сучасних умов можливе завдяки моделюванню збігу стовбурів дерев за допомогою рівнянь твірної стовбурів, які дають змогу спрогнозувати об'єм круглих лісоматеріалів, одержаних із різних частин стовбура.

Для характеристики березових лісів регіону в дослідженні використано базу даних ВО «Укрдержліспроект» лісового фонду України станом на 01.01.2011 р. За аналізом даних встановлено, що лісистість регіону дослідження сягає 27,7 %, а найбільша площа березових лісів зосереджена в центральній частині Українського Полісся (Житомирська та Рівненська області). Чисті за складом березняки в Українському Поліссі становлять 17,9 % загальної площі березових насаджень. Береза повисла є цінним лісоутворювальним деревним видом, яка формує переважно високопродуктивні (І^а, І, рідше ІІ класів бонітету за М. М. Орловим) та середньоповнотні (з відносною повнотою 0,7) похідні березові деревостани, які найпоширеніші в вологих суборах і судібровах. За віком домінують деревостани від 31 до 40 років.

Дослідні дані отримані за результатами обміру 369 модельних дерев берези на 26 тимчасових пробних площах у березових деревостанах Українського Полісся. Тимчасові пробні площі закладені в березових насадженнях пристиглих, стиглих та перестійних березових деревостанах, які рівномірно розміщені в регіоні дослідження. Для моделювання збігу стовбурів на зрубаному дереві визначалися такі показники: довжина стовбура від пня, висота пня, діаметри в корі та товщина кори на окоренковому зрізі, висоті грудей і на серединах 2-метрових секцій. Дані обробляли з використанням табличного процесора MS Excel, програми ПЕРТА кафедри таксації лісу та лісового менеджменту НУБіП України та за алгоритмами, розробленими в системі R.

Розподіл кількості модельних дерев залежно від діаметра на висоті 1,3 м (8,2–52,7 см) та висот (12,5–29,6 м) охоплює досить широкі діапазони. В кожному ступені товщини трапляються модельні дерева різних висот. Загалом, розподіл дослідного матеріалу за висотою відповідає І–V розрядам висот деревостанів. Дослідний матеріал репрезентативно характеризує типові березові деревостани регіону дослідження.

Форму стовбурів берези повислої узагальнено за допомогою рівнянь твірної. В дисертаційному дослідженні апробовано поширені рівняння твірної

стовбурів, найбільш адекватною серед яких виявилася модель А. Kozak (2004). Статистичний аналіз дозволив встановити відмінності в формі стовбурів берези для дерев різних діаметрів, в зв'язку з чим у дисертації встановлено чотири набори коефіцієнтів моделі твірної стовбурів для таких груп діаметрів: ≤ 19 см; 20–29 см; 30–39 см; ≥ 40 см.

Дослідження розмірно-якісної структури об'єму стовбурів берези відповідно до чинних стандартів виконано на основі алгоритму умовного розкрязування, який підготовлено в програмному середовищі R. Він передбачав такі етапи:

- прогнозування збігу стовбурів берези в корі та без кори з метою визначення серединного діаметру та об'єму ділових і дров'яних лісоматеріалів;
- моделювання довжини ділової частини стовбурів модельних дерев для прогнозування виходу ділової деревини;
- послідовне (від окоренка до верхівки) розкрязування стовбурів на лісоматеріали з урахуванням їхньої пріоритетності (цінності);
- обчислення об'єму круглих лісоматеріалів і моделювання розподілу об'єму лісоматеріалів відповідних класів товщини залежно від діаметра дерев.

Опрацьовані моделі твірної дозволили визначати діаметр стовбурів берези на будь-якій висоті з незначними похибками: систематична – $\pm 0,03$ см; відносна – 1,11 %; середньоквадратична – 0,98 см. Модель твірної стовбурів використано в поєднанні з моделями висоти пня, товщини кори та протяжності ділової частини стовбурів берези повислої, що дозволило визначати об'єм стовбура в корі ростучого дерева, об'єму зрубаного дерева без урахування об'єму пня, об'єму ділових лісоматеріалів без кори, дров'яної деревини в корі та відходів. Для розрахунку об'єму використано секційну формулу об'єму Ньютона з відносно короткою секцією, що становила 1/100 довжини стовбура чи лісоматеріалу.

Для узагальнення розмірної структури ділової деревини досліджено залежність виходу лісоматеріалів різних класів діаметрів від основних біометричних показників стовбурів берези. Для всіх класів діаметра виявлено

складний нелінійний зв'язок залежно від діаметра на висоті грудей і висоти стовбурів. Однак, керуючись логікою впливу діаметра дерев на діаметр лісоматеріалів, моделювання розподілу ділової деревини за класами товщини виконано залежно від діаметра стовбура на висоті грудей. Розподіл об'єму проаналізовано в відносних показниках.

У результаті дослідження виявлено суттєву різницю розмірної структури ділової деревини стовбурів різних категорій технічної придатності. Частка ділових лісоматеріалів класів товщини 30–39 см у напівділових стовбурів вища, ніж у ділових.

Систематична помилка математичних моделей розподілу об'єму стовбурів для лісоматеріалів різних класів товщини незначна. Відносне значення систематичної помилки виявилось найбільшим для лісоматеріалів завтовшки 20–29 см (D2a і D2b), 30–39 см (D3a і D3b) з ділових стовбурів (–6,5 % та 8,2 % відповідно) і для лісоматеріалів завтовшки 20–29 см (D2a і D2b), 50–59 см (D5) з напівділових (6,8 % та 6,5 % відповідно). Абсолютна та середня квадратична похибки розроблених моделей більші для товстих лісоматеріалів. Найменше значення коефіцієнта детермінації (R^2) спостерігається для моделі, що прогнозує вихід лісоматеріалів завтовшки 15–19 см (D1b), але для всіх класів товщини коефіцієнт детермінації був значущим на 5 % рівні. Таким чином, розроблені моделі дозволяють з достатньою для виробництва точністю розподіляти об'єм ділової деревини за класами діаметрів для ділових і напівділових стовбурів.

Порівняння об'ємів стовбурів та лісоматеріалів, розрахованих за моделями твірної стовбурів з чинними, свідчить, що чинні нормативи занижують об'єм для стовбурів діаметром 8–48 см, однак дещо завищують об'єм в діапазоні 52–100 см. Статистичний аналіз точності розроблених моделей виявив, що систематична та відносна помилки моделей об'єму стовбурів менші, ніж для діючих нормативів. Це означає, що застосування розроблених математичних моделей об'єму стовбурів дасть змогу підвищити

точність оцінки стовбурового запасу березових насаджень у регіоні дослідження.

За оцінкою точності отриманих у дослідженні моделей розмірно-якісної структури встановлено, що систематичні помилки значущі тільки для якісних категорій деревини. Завищення за розробленими моделями об'єму ділової деревини на 2,9 % за рахунок дров (-1,3 %) та відходів (-1,6 %) можна пояснити особливостями розподілу кількості напівділових стовбурів під час таксації лісосік між діловими та напівділовими. Оскільки напівділові стовбури після переліку розподіляються порівну між діловими та дров'яними, це може занизити вихід ділової деревини. У дисертації запропоновано два окремих нормативи об'єму для ділових і напівділових стовбурів. Помилки моделей для оцінки стовбурового запасу на 5 %-му рівні незначущі та становить лише - 3,2 %.

Практичним результатом дисертації стали таблиці розмірно-якісної структури об'єму стовбурів берези для таксації пристиглих, стиглих та перестійних березняків Українського Полісся. Розроблені нормативи не тільки забезпечують точнішу оцінку об'ємів стовбурів берези, а й його розподіл за європейськими стандартами. Нормативи визначають максимально можливий вихід ділової деревини зі стовбурів ділових дерев відповідно до технічних умов на класифікацію лісоматеріалів, які нарізі використовує лісова галузь України.

Ключові слова: твірна стовбура, збіг стовбура, таблиці об'єму стовбурів, клас товщини, об'єм лісоматеріалів.

ABSTRACT

Tyshchenko O. M. Tree stem form of silver birch and timber volume distribution in forest stands of the Ukrainian Polissia. – Qualifying research work as a manuscript.

The dissertation for the awarding a scientific degree of the Doctor of Philosophy in the specialty 205 “Forestry”. – National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, 2025.

The dissertation is aimed at investigation of the stem form of silver birch in forest stands of the Ukrainian Polissia, which provides a theoretical basis for estimating the wood volume and its distribution by timber sizes. The practical component of the dissertation is related to the need to improve the volume tables used in the forest industry of Ukraine during the pre-harvest wood volume assessment on logging sites. The need for the study is relevant to the cancellation after 2019 of some national and international standards that were widely used in forestry. The new regulations for timber classification by size and quality were introduced in Ukraine under the Association Agreement with the European Union. They are harmonized with European and international standards and have fundamental differences compared to the cancelled ones. This complicates the use of the current volume tables to forecast merchantable wood volume during logging.

The relevance of the research is elevated by the need to find ways to improve the accuracy of the assessment of stem volume distribution of silver birch by timber sizes. The topic relates to the need to determine the distribution of stem volume by diameter classes in accordance with the new regulations of the European standards for the classification of round timber. Currently, this issue can be addressed by modelling stem profiles using taper equations, which allows predicting the timber volume obtained from different parts along the stem.

The database of the State Enterprise “Ukrderzhlisproekt” of the Forestry Fund of Ukraine as of 01.01.2011 was used to determine the characteristics of birch forests in the study region. The analysis of the forest fund showed that the forest cover

within the study area reaches 27.7%, and the largest area of birch forests is concentrated in the central part of the Ukrainian Polissia (Zhytomyr and Rivne regions). Pure birch forest stands in the Ukrainian Polissia make up 17.9% of the total area of birch forests. Silver birch is a valuable forest tree species that forms mainly highly productive (I^a, I, rarely II site index by M. Orlov) and medium-stocked (with a relative stocking of 0.7) secondary birch stands, which are most common in fairly infertile and fertile wet site types. Middle-aged forest stands (31–40 years) dominate in the study area, and their accumulation in the future will exacerbate the problem of timber accounting during harvesting.

The study material consists of measurements of 369 birch sample trees collected on 26 temporary sample plots in birch stands of the Ukrainian Polissia. The temporal sample plots were established in birch stands of all ages, which are evenly distributed over the study area. The following parameters were measured on felled trees: stem length from the stump, stump height, diameter and bark thickness at the breast height (1.3 m above ground level of the standing tree) and at the midpoints of each 2-m section. The data were processed using the MS Excel, a specialized software developed at the Department of Forest Mensuration and Forest Management of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, and custom algorithms developed in the R computing environment.

The distribution of the number of sample trees by diameter at breast height (8.2 cm – 52.7 cm) and height (12.5 m – 29.6 m) covered wide ranges. Each 4-cm diameter class was represented by sample trees of different heights. The distribution of the collected data by height corresponded to the I-IV height classes of the volume tables. Generally, the study material represents typical birch stands in the study region.

The tree stem form of birch trees has been analyzed using taper equations. Several taper equations were tested in the dissertation, the most accurate of which was the model by A. Kozak (2004). Statistical analysis indicated differences in the form of birch stems of different diameters, therefore we independently fitted four

taper equations for the following groups of diameters: ≤ 19 cm; 20–29 cm; 30–39 cm; ≥ 40 cm.

The volume distribution of birch stems by timber size according to the current standards was predicted in the R software environment using a simulation algorithm that cross-cuts tree stems into timbers of different quality and sizes:

- prediction of stem taper outside and inside bark in order to determine the average diameter, volume of merchantable timber and firewood volume;
- modelling the merchantable length of the stems to predict the merchantable volume;
- sequential (from butt end to tree top) cutting stems into timber based on their priority (value);
- calculating the volume of logs and modelling the distribution of the timber volume of each diameter class as a function of tree diameter.

The developed taper model made it possible to determine the diameter of birch stems at any height with minor errors: the systematic error was ± 0.03 cm; the relative error was 1.11%; the root mean square error was 0.98 cm. The taper model was used in conjunction with models of stump height, bark thickness, and stem height to the merchantable limit of silver birch. Thus, we obtained a universal tool for determining the stem volume outside bark of a growing tree, the stem volume of a felled tree excluding the volume of the stump, the volume of merchantable timbers inside bark, the volume of firewood outside bark, and the volume of waste. A sectional Newton's volume formula was applied to calculate the volume using a relatively short section of 1/100 of the stem or timber length.

To summarize the volume distribution of merchantable wood, the dependence of the timber volume of different diameter classes on diameter at breast height and stem height was investigated. A complex non-linear relationship was found for all diameter classes. However, following the logic that the tree diameter has a direct influence on the diameter class of harvested logs, the distribution of merchantable wood volume was modelled using the tree diameter at breast height as only one

predictor variable. The volume distribution was analyzed using relative values of wood volume.

The study revealed a significant difference in the dimensional structure of merchantable volume obtained from trees of different merchantable categories. The proportion of merchantable timber of larger diameter classes was higher in “semi-merchantable” trees than in fully “merchantable” trees.

The systematic error of the mathematical models developed for different diameter classes of merchantable wood was insignificant. The highest relative errors were observed for the diameter classes of 20–29 cm and 30–39 cm obtained from “merchantable” trees (-6.5% and 8.2%, respectively) and for the diameter classes of 20–29 cm and 50–59 cm diameter classes obtained from “semi-merchantable” trees (6.8% and 6.5%, respectively). The absolute and the root mean square errors of the developed models increase with diameter classes. The lowest R-squared value was observed for timber with the diameter of 15–19 cm, but for all other diameter classes it was always significant at 5% significance level. Thus, the developed models allowed to distribute the volume of merchantable timber by diameter classes for “merchantable” and “semi-merchantable” trees independently with a sufficient accuracy for the practice.

The comparison of the stem and merchantable wood volumes obtained using taper models with those provided in the existing volume tables showed that the tables underestimate the volume in the diameter range of 8–48 cm and tend to overestimate the volume in the range of 52–100 cm of birch trees. The statistical analysis of the accuracy of the developed models showed smaller systematic and relative errors in the estimation of stem volume than it is provided in the volume tables. This indicates that the use of the developed volume models can increase the accuracy of wood volume estimation in the birch forest of the study area.

An assessment of the accuracy of the models of stem volume distribution by diameter classes obtained in the study showed that systematic errors were significant only for quality categories of merchantable wood. The overestimation of the merchantable volume using the developed models by 2.9% due to lower values of

firewood volume (-1.3%) and waste volume (-1.6%) can be caused by the influence of “semi-merchantable” trees. According to the current methodology, the number of “semi-merchantable” trees is divided equally between “merchantable” and “firewood” trees. According to our approach, such trees need to be processed separately. The error in total wood volume calculation is only 2.9% and is insignificant at the 5% level, which indicates that the developed models have sufficient accurate for the practice.

The practical outputs of the dissertation are the tables of wood volume distribution by diameter classes developed for premature, mature and overmature birch stands in the Ukrainian Polissia. The developed tables not only provide estimates of the volume of birch stems but also their distribution according to the European standards on wood classification. The developed models determine the maximum possible output of merchantable wood volume from “merchantable” birch trees in accordance with the technical specifications for wood classification currently used in the Ukrainian forestry industry.

Keywords: taper equation, stem taper, volume tables, diameter class, timber volume.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у періодичних наукових виданнях, включених до категорії «А»

Переліку наукових фахових видань України та/або у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus

1. Bychenko V. V., **Tyshchenko O. M.** Regularities in form of birch trees in Ukrainian Polissia. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science. 2020. Vol. 11. No. 1. P. 4–12. *(Tyshchenko O. M. зібрано дослідний матеріал, виконано аналіз сучасних досліджень і публікацій за темою статті, обчислено помилки визначення об'єму стовбура за математичними моделями твірних, Bychenko V. V. зроблено аналіз отриманих результатів дослідження, проведено редагування тексту статті відповідно до вимог видання та підготовлено висновки).*

2. Hurzhii R. V., Yavorovskyi P. P., Sydorenko S. H., Levchenko V. B., **Tyshchenko O. M.**, Tertyshnyi A. P., Yakubenko B. Y. Trends in forest fuel accumulation in pine forests of Kyiv Polissya in Ukraine. Folia Forestalia Polonica. 2021. Vol. 63 (2). P. 116–124. *(Tyshchenko O. M. опрацьовано літературні джерела, проаналізовано дані польових досліджень, Hurzhii R. V. проведено закладання 32 тимчасових пробних площ у чистих соснових насадженнях різного віку в межах Київського Полісся, досліджено лісові горючі матеріали та встановлено їх варіативність за класами віку, Yavorovskyi P. P. визначено актуальність, сформульовано наукову новизну, практичне значення та мету проведених досліджень, Sydorenko S. H. проведено літературний науковий пошук, підготовлено первинний варіант статті, Levchenko V. B. проаналізовано запаси лісових горючих матеріалів у чистих сосняках, Tertyshnyi A. P. проведено літературний науковий пошук та проаналізовано наукові дослідження, Yakubenko B. Y. проведено аналітичний огляд літератури та визначено необхідні подальші гідрологічні дослідження).*

3. Myroniuk V., Bilous A., Lakyda P., Lesnik O., Burianchuk M., Svynchuk V., Bychenko V., **Tyshchenko O.**, Zadorozhniuk R., Soshenskyi O., Matushevych L., Diachuk P., Bala O., Smolin V., Yaroshchuk M., Hrytsenko O., Matsala M. Taper equations for eight major forest tree species in flat land Ukraine. *Forestry*. 2023. Vol. 96. P. 498–508. (*Tyshchenko O. проведено аналіз наукових літературних джерел, виконано збір польового експериментального матеріалу у березових деревостанах Українського Полісся, Myroniuk V. розроблено методику дослідження, виконано моделювання, підготовлено висновки, Bilous A. забезпечено збір матеріалів дослідження авторами роботи, Lakyda P. сформульовано концепцію наукового дослідження, Lesnik O. проведено аналіз наукових літературних джерел, зроблено аналіз отриманих результатів дослідження, Burianchuk M. виконано збір польового експериментального матеріалу у соснових деревостанах регіону дослідження, Svynchuk V. виконано перевірку точності математичних моделей, Bychenko V. забезпечено збір даних для ясен звичайного, Zadorozhniuk R. проведено збір дослідного матеріалу та формування бази даних, Soshenskyi O. забезпечено збір даних для липи серцелистої, Matushevych L. забезпечено збір даних для берези повислої, Diachuk P. виконано перевірку точності моделей, Bala O. виконано формальний аналіз даних, Smolin V. забезпечено збір даних для вільхи клейкої, Yaroshchuk M. забезпечено збір даних для осики, Hrytsenko O. виконано польову перевірку результатів моделювання, Matsala M. виконано графічний аналіз даних*).

Стаття у науковому виданні,

включеному до Переліку наукових фахових видань України

4. Тищенко О. М. Лісівничо-таксаційна характеристика березових деревостанів Чернігівського Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Вип. 28. № 10. С. 49–52.

Тези наукових доповідей

5. Тищенко О. М. Вікова структура деревостанів берези повислої Чернігівського Полісся. Ліс, наука, молодь: IV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, магістрів, аспірантів і молодих учених, присвячена 15-річчю факультету лісового господарства, м. Житомир, 23 листопада 2016 року: тези доповідей. Житомир, 2016. С. 147.

6. Тищенко О. М. Аналіз деревостанів Чернігівського Полісся за часткою берези у складі. Ліс, наука, молодь: V Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, магістрів, аспірантів і молодих учених, м. Житомир, 23 листопада 2017 року: тези доповідей. Житомир, 2017. С. 108.

7. Жежкун А. М., **Тищенко О. М.** Особливості товарної та сортиментної структури березових деревостанів Чернігівського Полісся. Наукові читання імені В. М. Виноградова: Перша відкрита регіональна науково-практична інтернет-конференція присвячена 5-річчю заснування кафедри лісового та садово-паркового господарства, м. Херсон, 23–24 травня 2019 року: тези доповідей. Херсон, 2019. С. 32–34. *(Тищенко О. М. проведено аналіз літературних джерел, виконано збір польового експериментального матеріалу у березових деревостанах Українського Полісся, написано первинний текст тез доповідей, Жежкуном А. М. проведено аналіз отриманих результатів, скориговано кінцеві висновки).*

8. Биченко В. В., **Тищенко О. М.** Особливості збігу стовбурів дерев берези повислої Полісся України. Науковий пошук молоді для сталого розвитку лісового комплексу та садово-паркового господарства: 74-а Всеукраїнська студентська науково-практична конференція, м. Київ, 22 вересня 2020 року: тези доповідей. Київ, 2020. С. 19–20. *(Тищенко О. М. проведено аналіз літературних даних та зібрано дослідний матеріал, зроблено моделювання, написано первинний текст тез доповідей, Биченком В. В. проведено аналіз отриманих результатів дослідження, проведено редагування тексту статті відповідно до вимог видання та підготовлено висновки).*

9. **Тищенко О. М.**, Биченко В. В. Вплив повноти деревостану на форму стовбурів дерев берези повислої Полісся України. Аспекти сталого розвитку лісового, сільського, водного та енергетичного господарств зони Полісся України, м. Житомир, 8 квітня 2021 року: тези доповідей. Житомир, 2021. С. 131–133. *(Тищенко О. М. проведено аналіз літературних даних, зібрано дослідний матеріал, написано первинний текст тез доповідей, Биченком В. В. проведено аналіз отриманих результатів дослідження, проведено редагування тексту статті відповідно до вимог видання та підготовлено висновки).*

10. Лакида П. І., Смолін В. О., **Тищенко О. М.**, Ярощук М. О. Стан та продуктивність м'яколистяних деревостанів Українського Полісся. Сучасні проблеми лісового господарства та екології: шляхи вирішення: Міжнародна науково-практична конференція, м. Житомир, 7–8 жовтня 2021 року: тези доповідей. Житомир, 2021. С. 108. *(Тищенко О. М. проведено аналіз наукових літературних джерел, написано первинний текст тез доповідей, Лакидою П. І. розроблено методику проведення дослідження, проведено аналіз отриманих результатів, скориговано кінцеві висновки, Смоліним В. О. виконано збір польового експериментального матеріалу у вільхових деревостанах регіону дослідження, Ярощуком М. О. проведено аналіз отриманих результатів).*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	18
ВСТУП.....	19
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ЩОДО ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМИ ТА РОЗМІРНО-ЯКІСНОЇ СТРУКТУРИ ОБ'ЄМУ СТОВБУРІВ ДЕРЕВ.....	24
1.1. Теоретичні передумови для моделювання форми стовбурів дерев.....	24
1.2. Основні напрями дослідження розмірно-якісної структури стовбурів дерев.....	34
1.3. Системний підхід у дослідженні форми та розмірно-якісної структури об'єму стовбурів дерев	40
Висновки до розділу 1	43
РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА РЕГІОНУ ТА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ	44
2.1. Фізико-географічні та кліматичні умови Українського Полісся	44
2.2. Характеристика берези повислої.....	52
2.3. Лісівничо-таксаційна характеристика березових деревостанів Українського Полісся.....	57
Висновки до розділу 2	62
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА РОБОТИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДНИХ ДАНИХ	63
3.1. Методика збору експериментальних даних.....	63
3.2. Камеральна обробка дослідних даних	65
3.3. Загальна характеристика експериментального матеріалу	70
Висновки до розділу 3	74
РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМИ, ОБ'ЄМУ ТА РОЗМІРНО-ЯКІСНОЇ СТРУКТУРИ СТОВБУРІВ ДЕРЕВ БЕРЕЗИ ПОВИСЛОЇ.....	76
4.1. Математичні моделі збігу стовбурів берези повислої.....	76

4.2. Математичні моделі об'єму та розмірно-якісної структури стовбурів дерев берези повислої	85
4.2.1. Моделювання протяжності ділової частини стовбурів.	89
4.2.2. Алгоритм умовного розкрязування стовбурів.	93
4.2.3. Розмірно-якісна структура об'єму стовбурів берези повислої.	95
4.3. Моделювання розподілу об'єму стовбурів берези повислої за класами товщини	99
4.4. Нормативне забезпечення для таксації об'єму та розмірно-якісної структури стовбурів дерев берези повислої	104
4.5. Точність розроблених нормативів	108
Висновки до розділу 4	111
ВИСНОВКИ	113
ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	115
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	116
ДОДАТКИ	134

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

Позначення таксаційних і біометричних показників

d – діаметр стовбура дерева на висоті 1,3 м

$d_{0.0h}, d_{0.1h}, d_{0.25h}, d_{0.5h}, d_{0.75h}$ – діаметр на відповідних відносних висотах стовбура

f – старе видове число деревного стовбура

$f_{0.1}$ – нормальне видове число деревного стовбура

h – висота дерева

$q_{0.25}, q_{0.50}, q_{0.75}$ – класи форми стовбура

q_1, q_2, q_3 – коефіцієнти форми стовбура

V_{cm} – об'єм стовбура

$V_{ук}$ – об'єм стовбура в корі

n – кількість спостережень

As – коефіцієнт асиметрія

Es – ексцес

R^2 – коефіцієнт детермінації

v – коефіцієнт варіації

σ – середнє квадратичне відхилення

Скорочення термінів

МД – модельне дерево

ТПП – тимчасова пробна площа

ТЛУ – тип лісорослинних умов

IQR – Interquartile Range (інтерквартильний розмах)

MAE – Mean Absolute Error (абсолютна похибка)

MBE – Mean Bias Error (систематична похибка)

MPE – Mean Percentage Error (систематична відносна похибка)

$RMSE$ – Root Mean Square Error (середня квадратична похибка)

ВСТУП

Актуальність теми. За сучасних умов важливим завданням є раціоналізація лісокористування, всебічний облік лісових ресурсів та ефективне використання екосистемних послуг. Враховуючи інтенсивність лісокористування в експлуатаційних лісах України, виникає потреба підвищення якості облікових робіт під час таксації лісосічного фонду, а також ефективності використання лісової продукції, насамперед шляхом раціональної розробки лісосік та поточного контролю виходу лісоматеріалів.

Протягом останніх років українською науковою лісотаксаційною школою створено потужну нормативну базу для таксації лісових ресурсів України: «Сортиментные таблицы для таксации леса на корню» (1984) [108], «Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии» (1987) [82], «Сортиментные таблицы для таксации молодняков и средневозрастных древостоев» (1993) [109], ДСТУ 4020–2–2001 «Методи обмірювання та визначення об'ємів. Частина 2. Лісоматеріали круглі (2001) [33], «Лісотаксаційний довідник» (2013, 2021) [66, 67] тощо. Однак, у зв'язку з переходом лісового господарства України 2019 року на європейську систему обліку лісоматеріалів окремі нормативи втратили чинність [29, 122]. Їх замінили національні стандарти та технічні умови, гармонізовані з європейськими та міжнародними документами, що регламентують вимірювання, визначення об'ємів і класифікацію круглих лісоматеріалів за серединним діаметром. Таким чином зазначена нормативна база для таксації лісу потребує невідкладного перегляду та вдосконалення, орієнтуючись на останні досягнення лісової науки.

В Українському Поліссі проблема значною мірою стосується таксації березових деревостанів, частка яких досягає 30 % площі лісового фонду, а ділові лісоматеріали мають важливе значення для деревообробної промисловості. Для вирішення проблеми потрібно виконати дослідження теоретичних основ визначення об'єму стовбурів берези повислої, а також

встановити розподіл цього об'єму за якістю та розмірами ділових лісоматеріалів. Отже, дисертаційна робота спрямована на вдосконалення методики моделювання об'єму стовбурів дерев з використанням сучасних підходів та підготовки відповідного нормативного забезпечення для лісотаксаційних робіт на практиці.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана у Національному університеті біоресурсів і природокористування України у межах науково-технічної роботи ДЗ/66–2019 «Розроблення нормативного забезпечення таксації виходу круглих лісових матеріалів за класами товщини» (номер державної реєстрації 0119U102967) в рамках виконання державного замовлення Міністерства освіти і науки України на найважливіші науково-технічні (експериментальні) розробки, до якої здобувач залучався для виконання окремих підрозділів.

Мета та завдання дослідження. Мета дисертації полягає в дослідженні особливостей форми стовбурів берези повислої Українського Полісся та її впливу на розмірно-якісну структуру об'єму ділової деревини. Для досягнення мети дослідження сформульовано наступні завдання:

- здійснити аналіз літературних джерел за темою дослідження;
- проаналізувати лісівничо-таксаційну характеристику березових деревостанів Українського Полісся;
- доповнити наявну базу даних пробних площ кафедри таксації та лісового менеджменту Національного університету біоресурсів і природокористування України матеріалами обміру модельних дерев берези повислої на тимчасових пробних площах регіону досліджень;
- встановити взаємозв'язки біометричних показників стовбурів берези повислої та визначити їхній вплив на форму стовбурів;
- розробити об'ємні таблиці на основі математичного моделювання збігу стовбурів берези повислої;

- встановити розмірно-якісну структуру об'єму ділових і напівділових стовбурів дерев берези повислої відповідно до вимог нових стандартів на круглі лісоматеріали;

- розробити нормативи об'єму та розмірно-якісної структури стовбурів берези повислої Українського Полісся.

Об'єкт дослідження – закономірності взаємозв'язку об'єму стовбурів і біометричних показників дерев у лісових насадженнях.

Предмет дослідження – форма та розмірно-якісна структура стовбурів берези повислої в деревостанах Українського Полісся.

Методи дослідження. Під час виконання дисертаційного дослідження використано спеціальні методи: лісівничо-таксаційні та біометричні – для збору польового експериментального матеріалу, а також загальнонаукові методи: аналіз, синтез, кореляційний аналіз, математичне моделювання – для аналізу та узагальнення експериментальних даних.

Наукова новизна одержаних результатів. Основні положення дисертаційної роботи, які визначають її наукову новизну:

уперше:

- визначено розмірно-якісну структуру березових деревостанів Українського Полісся відповідно до європейських стандартів;

удосконалено:

- методику моделювання збігу стовбурів дерев берези повислої за групами діаметрів;

- алгоритм умовного розкрязування стовбурів берези повислої для встановлення розподілу об'єму за класами товщини;

отримали подальший розвиток:

- теоретичні та методичні засади розробки нормативів об'єму та розмірно-якісної структури березових деревостанів.

Практичне значення одержаних результатів. Для практичного застосування під час таксації березових деревостанів Українського Полісся пропонуються:

- математичні моделі твірної стовбурів берези;
- таблиці об'єму стовбурів берези повислої;
- нормативи розмірно-якісної структури об'єму ділових і напівділових стовбурів берези повислої для таксації пристиглих, стиглих і перестійних деревостанів.

Результати дисертаційного дослідження впроваджено у виробничу діяльність державного спеціалізованого господарського підприємства «Ліси України» в межах регіону Українського Полісся, зокрема у Волинській, Рівненській, Сумській та Чернігівській областях. Окремі положення та висновки дисертації використовуються у навчальному процесі під час викладання дисципліни «Лісова таксація», для підготовки фахівців освітнього ступеня «Бакалавр» у Національному університеті біоресурсів і природокористування України.

Особистий внесок здобувача. Для дослідження форми стовбурів, визначення об'єму деревного стовбура опрацьовано дані 369 модельних дерев берези у деревостанах Українського Полісся. Автор заклав 10 пробних площ із рубкою модельних дерев. З метою дослідження розмірно-якісної структури автор виконав обмір та аналіз 227 модельних дерев берези у пристиглих, стиглих, перестійних березових деревостанах. Здобувач особисто проаналізував та узагальнив математичні моделі для визначення об'єму деревного стовбура, розмірно-якісної структури березових деревостанів, а також оцінив точність розроблених нормативів.

Наукові результати, висновки та рекомендації виконані дисертантом особисто та є його науковим доробком.

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні положення та результати дисертації доповідалися на міжнародних науково-практичних конференціях [8, 35, 56, 114, 115, 116].

Публікації. Основні наукові результати дисертації опубліковано в 10 наукових працях, із них 2 статті – у наукових фахових виданнях України, 2 статті – у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до

Європейського Союзу та включені до міжнародної наукометричної бази Web of Science, 6 тез доповідей.

Структура та об'єм дисертації. Дисертація складається із анотацій українською й англійською мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, практичних рекомендацій, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 168 сторінок. Основна частина роботи містить 14 рисунків та 25 таблиць. Список використаних джерел сформовано з 183 найменувань.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ЩОДО ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМИ ТА РОЗМІРНО-ЯКІСНОЇ СТРУКТУРИ ОБ'ЄМУ СТОВБУРІВ ДЕРЕВ

1.1. Теоретичні передумови для моделювання форми стовбурів дерев

Теоретичні основи більшості методів визначення об'єму стовбурів дерев тісно пов'язані з дослідженням їхньої форми та відносяться до ключових питань лісової таксації. Об'єм стовбурів зазвичай обчислюють на основі діаметра стовбура на висоті 1,3 м та його висоти. При цьому стовбури різних деревних видів або дерев одного виду, які вирости в специфічних умовах, можуть мати різний об'єм [115]. Отже, форма стовбурів є додатковим фактором, який потрібно враховувати під час обчислення їхнього об'єму, про що зазначено в численних публікаціях [75, 139, 168].

Форма стовбурів залежить від біологічних властивостей деревного виду, віку дерев та інших чинників, що впливають на їхній ріст і розвиток. Наприклад, в останніх дослідженнях українських учених [169] зазначається, що форма поздовжніх перерізів стовбурів залежить від розмірів дерев. Аналогічні висновки були отримані дещо раніше фінськими науковцями [176]. У лісовій таксації прийнято розглядати вплив як умов росту на форму стовбурів, так і індивідуальних біометричних показників дерев. Серед останніх, найбільше значення має розмір крони – показник, який широко використовують для підвищення точності моделей об'єму стовбурів. Зазвичай вплив крони враховують через її абсолютну або відносну довжину [160, 162], висоту стовбура до початку крони [163].

У літературі існують досить суперечливі висновки щодо доцільності використання показників крони для характеристики форми стовбурів. Деякі дослідження вказують, що додаткові заміри параметрів крони лише ускладнюють завдання, принципово не додаючи точності результатам [173].

McTague & Weskittel (2021) зазначили, що вплив крони на точність визначення форми стовбурів залежить від деревних порід, умов росту та методів формалізації цього впливу за допомогою математичних моделей [168]. Цю думку підтверджено в дослідженнях Liang et al. (2022), які продемонстрували, що параметри крони мали несуттєвий вплив на точність регресійних рівнянь стовбурів, проте, він був значущішим під час характеристики форми стовбурів за допомогою нейронних мереж [163].

Форма стовбурів дерев залежить від їхнього місця в насадженні, який може характеризуватися класом Крафта чи рангом. Домінантні та пригнічені дерева мають різну енергію росту, що позначається на приростах у висоту та за діаметром. Існує також вплив початкової густоти лісових насаджень, а також інтенсивності зріджень насаджень, на формування стовбурів дерев [147, 164]. Після зменшення повноти насаджень збільшується радіальний приріст дерев, змінюється співвідношення висоти та діаметра дерев у насадження, в наслідок чого форма стовбурів стає більш збіжистою [165].

Для характеристики форми стовбурів у лісовій таксації сформувалося багато методичних підходів, які можна поділити на дві великі групи:

1) використання простих показників, за якими можна охарактеризувати форму стовбурів з допомогою співвідношень діаметрів [2, 43, 51, 84] або ступінь наближення стовбурів до правильних тіл обертання [2, 75, 84];

2) використання рівнянь збігу стовбурів, які надають чітку характеристику поздовжніх перерізів стовбурів від окоренків до верхівки [78, 158, 178].

Важливе значення в дослідженні форми стовбурів мають коефіцієнти форми. Їхньою появою прийнято завдячувати передусім австрійському вченому-лісівнику А. Шиффеллю, який запропонував використовувати відношення діаметра на певних відносних висотах ($0,0h$; $0,25h$; $0,50h$; $0,75h$) до діаметра на висоті 1,3 м (d):

$$q_0 = \frac{d_{0.0h}}{d}, \quad (1.1)$$

$$q_1 = \frac{d_{0.25h}}{d}, \quad (1.2)$$

$$q_2 = \frac{d_{0.5h}}{d}, \quad (1.3)$$

$$q_3 = \frac{d_{0.75h}}{d}. \quad (1.4)$$

У лісовій таксації найважливішим є другий коефіцієнт форми (q_2), який характеризує форму стовбура в середній частині, де зосереджений найбільший об'єм якісної деревини.

Грунтовні дослідження коефіцієнтів форми були проведені в минулому та пов'язані з такими видатними вченими як А. В. Тюрин [123], Н. В. Третьяков [118], В. К. Захаров [41, 42], К. Є. Нікітін [78]. Для окремих деревних видів показник q_2 набуває значень від 0,45 (сильно збіжисті) до 0,87 (слабо збіжисті) [118]. За даними В. К. Захарова, середній коефіцієнт форми q_2 для окремих деревних видів становить $0,676 \pm 0,0034$ [41]. Крім коефіцієнтів форми також застосовують класи форми – відношення діаметра на 0; 0,25; 0,50; 0,75 висоти дерева до діаметра, виміряного на висоті 0,1h:

$$q_{0,0} = \frac{d_{0.0h}}{d_{0.1h}}, \quad (1.5)$$

$$q_{0,25} = \frac{d_{0.25h}}{d_{0.1h}}, \quad (1.6)$$

$$q_{0,5} = \frac{d_{0.5h}}{d_{0.1h}}, \quad (1.7)$$

$$q_{0,75} = \frac{d_{0,75h}}{d_{0,1h}}. \quad (1.8)$$

Прихильником використання класів форми був В. К. Захаров [42]. Широкого використання на практиці вони не отримали, оскільки передбачають вимірювання базового діаметра на відносній висоті, абсолютне положення якої не співпадає з загально прийнятою в лісовій таксації відміткою «висоти грудей». Проте, класи форми, які дозволяють характеризувати форму стовбурів у відносних показниках висоти (від 0 до 1) і відповідних співвідношень діаметрів, широко застосовуються науковцями для узагальнення форми стовбурів дерев різних розмірів [9, 76, 132].

У Північній Америці використовують коефіцієнти форми Джирарда – відношення діаметра стовбура на висоті 5,27 м, що відповідає 17,3 футах, до діаметра на висоті 1,3 м [155]. На основі коефіцієнта форми Джирарда опрацьовано систему нормативів для визначення збігу та об'єму стовбурів окремих деревних видів США [142,143]. Беззаперечна перевага запропонованого методу характеристики форми стовбурів полягає в тому, що додатковий замір діаметра дозволяє поліпшити точність моделей об'єму стовбурів, хоча практичне застосування нормативів можливе тільки під час вибіркової таксації.

Пошук раціональних шляхів визначення об'єму стовбурів дерев привів науковців до аналізу особливостей повнодеревності, яка характеризується за допомогою видового числа (f). Концепція видових чисел, запропонована В. Паульзенем ще у 1800 р. [2], являє собою відношення об'єму стовбура ($V_{ст}$) до об'єму циліндра ($V_{ц}$), який має з цим стовбуром однакову висоту та основу, рівну площі поперечного перерізу стовбура на певній висоті («старе видове число»):

$$f = \frac{V_{ст}}{V_{ц}}. \quad (1.9)$$

Дослідженню видових чисел в вітчизняній таксації лісу присвячені численні наукові роботи [102, 111, 112, 135, 170] і за допомогою цих показників розроблені більшість нормативів об'єму стовбурів дерев [66, 67, 82]. У зарубіжних публікаціях видові числа теж розглядаються як зручний перевідний коефіцієнт між об'ємом циліндра та об'ємом стовбура [155], але використовується значно рідше, ніж в Україні. Серед останніх публікацій з цього питання доцільно згадати дослідження виконані в Польщі [181], країнах Азії [1, 182].

Визначенню величини та закономірностей зміни видових чисел стовбурів різних деревних порід присвячено багато наукових праць. Важливі узагальнення теоретичного характеру щодо видових чисел виконані в роботі Г. Б. Кофмана [51]. Слід зазначити, що видові числа, розраховані для всього дерева разом з кроною, не дають загального уявлення про форму стовбура, а застосовуються лише як перевідний коефіцієнт для визначення загального об'єму дерева [2].

Аналізуючи показник повнодеревності, А. Шиффель встановив залежність видового числа від другого коефіцієнта форми та висоти стовбурів (h) і запропонував використовувати таке рівняння [2]:

$$f = 0,14 + 0,66q_2 + \frac{0,32}{q_2h}. \quad (1.10)$$

Зв'язок видового числа з другим коефіцієнтом форми М. Кунце виразив такою математичною формулою:

$$f = q_2 - c, \quad (1.11)$$

де c — стала величина для деревного виду: для сосни — 0,20, для ялини та липи — 0,21, для бука, осики, вільхи клейкої та інших листяних порід — 0,22.

Шустов Б. А. запропонував таку формулу для визначення зв'язку між видовим числом і другим коефіцієнтом форми [50]:

$$f = 0,60q_2 + \frac{1,04}{q_2h}. \quad (1.12)$$

Наведені формули ознаменували етап в лісовій таксації, коли науковці прагнули поліпшити точність об'ємних таблиць, використовуючи дані про форму стовбурів. Одним із найвідоміших досягнень того часу стали так звані «таблиці Союзліспрому», в яких другий коефіцієнт форми використовувався поряд з діаметром і висотою як один із входів до таблиць. У зв'язку зі складністю реалізації запропонованого підходу на практиці, зазначені таблиці не змогли на тривалий час закріпитися в практиці таксації лісу.

Також у лісовій таксації існує такий показник, як «нормальне видове число» ($f_{0.1}$). Його розраховують подібно до «старого видового числа» на основі діаметра на $0,1h$ стовбура, однак на практиці використовують значно рідше. Найбільш детально переваги нормальних видових чисел описані в дослідженнях В. К. Захарова [41, 42, 43].

Оскільки форма стовбурів – достатньо мінлива характеристика, в лісовій таксації зроблено численні спроби охарактеризувати зв'язок видових чисел з іншими показниками стовбурів дерев. Спираючись на кореляційні зв'язки видових чисел з діаметром і висотою, литовські вчені одні з перших почали використовувати складні багатofакторні математичні моделі, які до цього були обґрунтовані в наукових роботах австрійських учених [54, 55]:

$$f = \frac{a_1}{h} + \frac{a_2}{d} + \frac{a_3}{d \cdot h} + \frac{a_4}{d^2} + \frac{a_5}{d^2 \cdot h}, \quad (1.13)$$

де a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 – параметри рівняння; h – висота стовбура, м; d – діаметр стовбура на висоті 1,3 м, см.

Моделюванням взаємозв'язку видового числа найбільш ґрунтовно в Україні займалися представники київської та львівської лісотаксаційних

наукових шкіл, зокрема А. А. Строчинський [111, 112], С. М. Кашпор [47], В. А. Свинчук [102, 104], В. В. Миронюк [74, 170], М. П. Горошко [27] та інші вчені. У результаті було розроблено систему нормативів [66, 67] для таксації об'єму стовбурів дерев не тільки в лісових насадженнях, а й за умов урбанізованого середовища.

Як зазначав Г. Б. Кофман у своїй фундаментальній праці щодо росту та формування стовбурів дерев [51], у другій половині XIX ст. у лісовій таксації сформувалося два напрями дослідження форми стовбурів для визначення їхнього об'єму. Одна група вчених об'єднувала прихильників простих показників для характеристики форми стовбурів – старі та нормальні видові числа, коефіцієнти та класи форми, числа збігу. Друга група використовувала твірну деревного стовбура, яка є найбільш повною характеристикою форми стовбурів. Пізніше прикладна значимість твірної стовбурів посилювалася, оскільки для її математичного опису потрібне було більш сучасне технічне забезпечення, які з'явились наприкінці минулого століття.

Як відомо, об'єм довільного геометричного тіла, обмеженого замкнутою поверхнею, можна обчислити за формулою [96]:

$$V = \int F(h) dh, \quad (1.14)$$

де V – об'єм; h – значення довільної координати всередині тіла; $F(h)$ – площа перерізу цього тіла, перпендикулярного до напрямку координати.

Зазвичай вважається, що на різних ділянках стовбур за формою наближається до типових тіл обертання – нейлоїда, циліндра, параболоїда та конуса. Однак вибір рівняння, яке може описати таку твірну на різних ділянках стовбура, досить непросте завдання. Спираючись на праці McTague et al. (2021) [168] та Salekin et al. (2021) [178], нині виділяється два способи узагальнення збігу стовбурів за допомогою моделі твірної. Перший передбачає використання однієї функції для характеристики збігу стовбурів від окоренка до верхівки. Для цього переважно застосовуються поліноміальні криві різних

порядків і степеневі-показникові функції. Другий напрям пов'язаний з апроксимацією твірної стовбурів за окремими зонами, так звана апроксимація за допомогою сплайн-функцій [139, 183].

Одна з перших відомих згадок про спробу охарактеризувати твірну деревного стовбура за допомогою рівняння, належить Д. І. Менделєєву [2]. Він використовував рівняння кубічної параболи:

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3, \quad (1.15)$$

де y – радіус стовбура; x – висота, де вимірюється радіус; a, b, c, d – параметри рівняння.

Ефективність апроксимації твірної стовбурів поліноміальними кривими вищих степенів ґрунтовно досліджували А. Г. Мошкालев і Г. М. Давидов [77], які встановили, що поліноми 5-го порядку забезпечують найточніші результати. Автором також доведена нестійкість системи рівнянь за умови, якщо кількість точок, за якими апроксимується твірна, близька до ступеня полінома. Найбільша похибка в такій ситуації спостерігається для парних поліномів. Хоча сьогодні використання поліноміальних кривих є досить сумнівним способом апроксимації збігу стовбурів, подібні рівняння тривалий час досліджувалися в лісовій таксації [83].

Продовжуючи пошуки адекватного рівняння твірної, О. В. Поляков і М. О. Поляков [93] запропонували модель твірної стовбурів, виражену рядом Фур'є з непарними многочленами Чебишева першого роду.

$$y = a_1 \cdot T_1(x) + a_3 \cdot T_3(x) + \dots + a_n \cdot T_n(x), \quad (1.16)$$

де $T_1(x), T_3(x), \dots, T_n(x)$ – многочлени Чебишева.

Одночасно з розвитком обчислювальних технологій в лісовій таксації з'являлося все більше рівнянь твірної стовбурів. Найбільш відомими нині є моделі, запропоновані такими вченими як А. Kozak [156, 157], Т. А. Мах &

Н. Е. Burkhardt [166], R. M. Newnham [171]. Ретельне узагальнення математичних моделей твірної стовбурів наведено в оглядових статтях [168, 178], а найбільш відомі з них наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Приклади поширених математичних моделей твірної стовбурів дерев

Автор (рік), посилання	Математичний вираз моделі	Порядковий номер рівняння
A. Kozak (2004) [156]	$d_i = a_0 \cdot d^{a_1} \cdot h^{a_2} \cdot X^{(b_1 \cdot g^4 + b_2 / \exp(\frac{d}{h}) + b_3 \cdot x^{0.1} + \frac{b_4}{d} + b_5 \cdot h^w + b_6 \cdot x)};$ $X = \frac{w}{1 - \frac{1.3}{h^{\frac{1}{3}}}}; w = 1 - g^{\frac{1}{3}}; g = \frac{h_i}{h}.$	(1.19)
A. Kozak, (1988) [157]	$d_i = a_0 \cdot d^{a_1} \cdot a_2^d \cdot X^{(b_1 \cdot z^2 + b_2 \cdot \ln(z + 0.001) + b_3 \cdot \sqrt{z} + b_4 \cdot \exp(z) + b_5 \cdot (\frac{d}{h}))};$ $X = \frac{1 - \sqrt{\frac{h_i}{h}}}{1 - \sqrt{0.1225}}; z = \frac{h_i}{h}.$	(1.20)
J. Leban, (2003) [150]	$d_i = a_4 \cdot d \cdot (1 - z)^{(a_0 + a_1 \cdot (1 - z))} \cdot (1 + a_2 \cdot \exp(a_3 \cdot z));$ $z = \frac{h_i}{h}.$	(1.21)
R. Newnham, (1992) [171]	$d_i = d \cdot X^{(a_0 + a_1 \cdot (z - 1) + a_2 \cdot \exp(a_3 \cdot z))};$ $X = \frac{h - h_i}{h - 1.3}; z = \frac{h_i}{h}.$	(1.22)
W. K. Lee et al., (2006) [159]	$d_i = a_1 \cdot d \cdot (1 - z)^{b_1 z^0 + b_2 \cdot z + b_3}$	(1.23)

d_i – діаметр стовбура на висоті h_i ; d – діаметр стовбура на висоті 1,3 м; h – висота стовбура; a, b – параметри рівняння.

За наявності моделі твірної об'єм стовбурів, а також його частин може бути встановлений кількома способами:

– шляхом інтегрування:

$$V_{\text{ст}} = \frac{\pi}{4} \cdot \int_L^U d_i^2 \cdot dh_i, \quad (1.24)$$

де L – нижня межа інтегрування, м; U – верхня межа інтегрування, м;
 h_i – висота, м;

– за секційними формулами об'єму, наприклад, формула Ньютона.

Одна з проблем інтегрування полягає в тому, що для багатьох рівнянь не вдається виконати інтегрування. Прикладом моделі твірної, яка може бути представлена в інтегральному вигляді, є рівняння, запропоноване в дослідженнях північноамериканських вчених А. Clark et al. (1991) [143]:

$$V = k \left\{ \begin{aligned} & I_1 D^2 \left[(1 - GW)(U_1 - L_1) + \frac{W \left(\left(\frac{1 - L_1}{H} \right)^r (H - L_1) - \left(\frac{1 - U_1}{H} \right)^r (H - U_1) \right)}{(r + 1)} \right] + \\ & + I_2 I_3 \left[T(U_2 - L_2) + \frac{Z \left(\left(\frac{1 - L_2}{H} \right)^p (H - L_2) - \left(\frac{1 - U_2}{H} \right)^p (H - U_2) \right)}{(p + 1)} \right] + \\ & + I_4 F^2 \left[b(U_3 - L_3) - b \frac{(U_3 - 5,30)^2 - (L_3 - 5,30)^2}{(H - 5,30)} + \right. \\ & \quad \left. + \frac{b}{3} \left[\frac{(U_3 - 5,30)^3 - (L_3 - 5,30)^3}{(H - 5,30)^2} \right] + \right. \\ & \quad \left. + I_5 \left(\frac{1}{3} \right) \frac{\left(\frac{1 - b}{a^2} \right) (a(H - 5,30) - (L_3 - 5,30))^3}{(H - 5,30)^2} + \right. \\ & \quad \left. - I_6 \left(\frac{1}{3} \right) \frac{\left(\frac{1 - b}{a^2} \right) (a(H - 5,30) - (U_3 - 5,30))^3}{(H - 5,30)^2} \right] \end{aligned} \right\} \quad (1.25)$$

$$I_s = \begin{cases} 1, & \text{якщо } h_i < 1,30 \\ 0 & \text{в інших випадках} \end{cases};$$

$$I_B = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 1,30 \leq h_i \leq 5,27 \\ 0 & \text{в інших випадках} \end{cases};$$

$$I_T = \begin{cases} 1, & \text{якщо } h_i > 5,27 \\ 0 & \text{в інших випадках} \end{cases};$$

$$I_M = \begin{cases} 1, & \text{якщо } h_i < 5,27 + a \cdot (h - 5,27) \\ 0 & \text{в інших випадках} \end{cases};$$

$$G = \left(1 - \frac{1.3}{H} \right)^r; W = \left(\frac{\frac{c + d}{D^3}}{1 - G} \right)^r.$$

де h – висота стовбура; F – діаметр стовбура на висоті 5,27 м; h_x – висота до фіксованого значення діаметра d_x , см; $k = 0,7854$.

У лісотаксаційній літературі відомі також багато інших рівнянь, які після інтегрування дозволяють отримати формули об'єму стовбурів [141, 146, 148, 167, 174]. Однак увага останнім часом зміщується в бік степеневих показникових рівнянь [132, 152].

Для обчислення об'єму за секційними формулами об'єму передбачається поділ стовбура на відрізки однакової довжини. Вперше цей метод обґрунтував В. Гогенадль (1922) [153]. Основоположником цього методу в Україні став К. Є. Нікітін. Вчений запропонував розділити стовбур на чотири зони: окоренкову – довжиною від 0 до $0,05l$; нижню – від $0,05l$ до $0,25l$; серединну – від $0,25l$ до $0,50l$; верхівкову – від $0,50l$ до $1,00l$ (де l – довжина стовбура) [78, 80]. У сучасних наукових дослідженнях розрахунок об'єму стовбурів за секційними формулами став досить поширеним, оскільки є можливість використовувати моделі твірної будь-якої складності [76, 161, 169].

На підставі виконаного узагальнення можна зробити висновок, що моделювання збігу стовбурів за допомогою рівнянь твірної має очевидні переваги над іншими підходами. Вони полягають у тому, що твірна стовбурів є узагальненою характеристикою форми, яка дозволяє визначати об'єм усього стовбура та його частин (лісоматеріалів). Зазначене створює переваги під час встановлення розмірно-якісної структури об'єму деревини.

1.2. Основні напрями дослідження розмірно-якісної структури стовбурів дерев

Точний облік лісових ресурсів забезпечує їхнє раціональне використання. В зв'язку з цим, під час лісозаготівель в Україні застосовують матеріально-грошову оцінку запасу деревини, яка є основою лісової ренти, тобто плати за спеціальне використання лісових ресурсів. Методика матеріально-грошової оцінки лісосік передбачає визначення загального запасу деревини, а також його

розподілу на ділову, дров'яну та відходи. Об'єм ліквідної деревини, що одержують зі стовбура та крони, характеризує загальний об'єм деревини, яка може використовуватися в круглому вигляді або бути перероблена на пиломатеріали. Для ефективного використання такої деревини потрібні також розмірні та якісні характеристики деревини. В зв'язку з цим в лісовій таксації під час матеріальної оцінки лісосік використовуються сортиментні таблиці [66, 67].

Сортиментні таблиці містять дані про усереднений розподіл об'єму ділових стовбурів на ділову деревину, дрова та відходи, а також поділ ділової деревини на три категорії крупності залежно від діаметра у верхньому відрізі (груба, середня, дрібна). Проте, така класифікація застосовується тільки на етапі матеріально-грошової оцінки лісосік, оскільки в Податковому Кодексі України ставки рентної плати встановлені саме для перелічених категорій крупності деревини [90]. Під час приймання лісопродукції використовують класифікацію деревини за класами та підкласами крупності (D0, D1a, ..., D6) та класами якості (A, B, C, D) ділових лісоматеріалів, яка була впроваджена в практику після 2019 року [119, 120, 121]. Враховуючи зазначені особливості, питання обліку розмірно-якісних показників деревини під час відведення лісосік і лісозаготівель потребує особливої уваги. При цьому для розробки відповідних нормативів важливо використовувати методи, здатні узгодити між собою дві досить різні схеми класифікації деревини за розмірами та якістю.

Нині існує кілька методик визначення розмірно-якісної структури запасу:

- індивідуальна подеревна сортиментація [93];
- за модельними деревами [69];
- за пробними площами [68];
- за сортиментними і товарними таблицями [66].

Кожен з цих методів має певні особливості застосування на практиці або науково-дослідній роботі з розробки відповідних нормативів.

Зміст індивідуальної подервної сортиментації полягає в окомірному визначенні протяжності лісоматеріалів з урахуванням зовнішніх ознак

стовбура. Довжину, діаметр та якість лісоматеріалів визначають відповідно до чинних вимог стандартів. Точність отриманих результатів залежить від кваліфікації виконавця та вміння визначати якість деревини за візуальними ознаками на ростучому дереві. На практиці цей метод використовують досить рідко, адже від потребує чимало часу. Не зважаючи на те, що індивідуальна подеревна сортиментація стовбурів у вітчизняній лісовій таксації відноситься до найбільш відомих методів обліку ділової деревини [2, 75], у закордонних практиках вона продовжує застосовуватися під час вибіркових рубок [138, 142, 149]. Найкращі результати метод забезпечує для хвойних деревостанів, в яких стовбури добре очищені від гілок.

Для встановлення виходу лісоматеріалів за модельними деревами, потрібно розкрязувати на лісоматеріали 10–15 типових дерев різного діаметра [69]. Дані розкрязування узагальнюють для встановлення виходу лісоматеріалів відповідних розмірів для деревостану. Найкращі результати забезпечує метод пропорціонального ступінчастого представництва, хоча випадковий метод відбору є більш обґрунтованим [68].

Метод визначення розмірно-якісної структури запасу за модельними деревами іноді практикується в лісовпорядкуванні, та є основним під час науково-дослідних робіт. Найбільш доцільним під час виробничої таксації він може бути для таксації фаутних деревостанів (з прихованими вадами деревини); лісосік, з нетиповою формою стовбурів або співвідношенням висот і діаметрів, що не може бути враховано в нормативах (низькостовбурні тощо). Цей метод дозволяє найбільш точно встановити розмірно-якісну структуру запасу, тому ефективний для виробництва.

Для визначення розмірно-якісної структури запасу може використовуватися метод пробних площ, який дуже подібний до попереднього. Проби закладають у типових для насадження місцях. На пробах передбачено зрубівання всіх дерев та їхнє розкрязування на лісоматеріали. Запаси узагальнюють для категорій деревини однакових розмірів та якості, після чого виконується перерахунок на 1 га, або на всю площу. За цим методом можливим

є врахування впливу форми стовбурів і таксаційної будови деревостанів на розподіл стовбурового запасу за розмірами та якістю лісоматеріалів. Розташування та розмір пробної площі безпосередньо впливає на точність результатів [68]. В Україні вимоги до пробних площ передбачені галузевим стандартом СОУ 02.02–37–476:2006 [110]. За цим нормативом пробні площі розміщуються не ближче ніж 30 м від кварталних просік, доріг, меж лісу, зрубів. На пробній площі повинно нараховуватися не менше 200 дерев основного елемента лісу, а площа проби повинна бути кратною 0,05 га і мати співвідношення сторін не більше, як 1 : 2. Метод пробних площ вимагає багато витрат часу, в зв'язку з чим його застосовують під час наукових досліджень, перевірки та розробки нормативів.

Широкого застосування на практиці здобули сортиментні таблиці. Ці нормативи використовуються для матеріально-грошової оцінки на виробництві. Передусім, загальний запас деревостану розподіляється на ділову деревину, дрова, ліквід з крони, сучки та відходи. Запас же ділової деревини класифікується за розмірними категоріями, тобто груба, середня та дрібна.

Дослідженням методів таксації розмірно-якісної структури деревини та розробкою сортиментних таблиць займалися багато відомих вчених: Н. В. Третьяков [118]; П. В. Горский [28], А. В. Тюрин [123]; Н. П. Анучин [2]; Я. А. Юдицький [130]; К. Є. Нікітін [108]; А. А. Строчинський, П. І. Лакида, С. М. Кашпор, О. А. Гірс [23, 109, 113] та [7, 10, 103, 140]. Методика розробки таблиць розмірно-якісної структури об'єму передбачає наступні етапи:

- встановлення співвідношення між висотою та діаметром стовбурів;
- дослідження форми та повнодеревності стовбурів;
- математичне моделювання об'єму стовбурів;
- узагальнення закономірностей розподілу об'єму стовбурів за розмірно-якісними категоріями.

Після збору дослідних даних найбільшу складність у розробці сортиментних таблиць має математичне моделювання. Наразі існує кілька

методів моделювання розподілу об'єму стовбурів на розмірно-якісні категорії, які були вдало узагальнені в навчальному посібнику з лісової таксації [75]:

- за регресійними рівняннями абсолютного або відносного значення об'єму ділової деревини від діаметра, висоти чи об'єму стовбурів [103, 113, 124];
- за об'ємними співвідношеннями ділової деревини із заданим мінімальним діаметром [138, 149];
- за допомогою математичної моделі твірної стовбурів [7, 130, 140].

Під час розробки більшості сортиментних таблиць тривалий час прийнято було моделювати відсоток виходу деревини відповідної категорії якості чи крупності. Такий підхід є найпростішим і широко використовувався в різних наукових дослідженнях [86, 107, 113]. Серйозним недоліком такого підходу є те, що для отримання адекватних математичних моделей потрібно використовувати різні за формою рівняння та встановлювати систему обмежень для області їхнього визначення. Це пояснюється закономірностями розподілу об'єму різних розмірних категорій ділової деревини залежно від діаметра стовбурів, які для різних категорій крупності деревини нагадують обернені J-подібні криві, дзвоноподібні криві з різною асиметрією, кумулятивні криві [86].

Метод об'ємних співвідношень має багато спільного із моделюванням твірної стовбурів. Його суть полягає в тому, що частку об'єму ділової деревини в об'ємі стовбура можна розглядати як функцію діаметра стовбура на висоті грудей і мінімального діаметра ділової деревини, або висоти стовбура та протяжності ділової частини стовбура. Оскільки обидві функції характеризують один і той же об'єм ділової деревини, їх можна прирівняти. Розв'язуючи одержане рівняння відносно діаметра ділової деревини, одержують елементарну модель збігу стовбура, за якою можна спрогнозувати вихід ділової деревини залежно від її розмірів [139, 149]. Один із суттєвих недоліків методу полягає в тому, що він спрацьовує тільки тоді, якщо ділові відрізки стовбура різних розмірів одержують по черзі від окоренка.

Найбільш точний прогноз виходу різних розмірно-якісних категорій деревини можна розробити на основі повноцінної моделі твірної стовбурів, яка дозволяє спрогнозувати діаметри та обчислити об'єм ділових відрізків стовбура на будь-якій висоті [169]. Практична доцільність рівнянь твірної полягає в здатності характеризувати форму стовбура в корі та без кори [161, 176], а отже в можливості визначення об'єму як ділової, так і дров'яної деревини [175, 179]. Рівняння твірної стовбурів можна використовувати не тільки для характеристики збігу всього стовбура, а й окремих його частин [136]. Роль рівнянь твірної в оцінці об'єму колод або об'єму ділової деревини до певного верхнього діаметра стовбура акцентувалася також в більш ранніх дослідженнях [142, 144].

Перевагою математичної моделі твірної стовбурів є можливість встановлювати діаметр на будь-якій віддалі від окоренка. Однак для моделювання виходу лісоматеріалів відповідних розмірів цього може бути недостатньо, оскільки для характеристики можливих співвідношень потрібно зібрати великий обсяг матеріалу. Ефективне рішення в цьому відношенні було запропоноване Я. А. Юдицьким, який ще в 1985 р. опублікував методичне підґрунтя для генерації сортиментно-гатункової структури стовбурів дерев за допомогою випадкового процесу. Подальший розвиток ідея отримала в роботах О. В. Полякова, зокрема в комп'ютерній програмі «Адаптивна промислова сортиментація лісосічного фонду» [91, 92, 93]. Найбільш останні напрацювання в цьому напрямі пов'язані з використанням степеневих-показникових рівнянь твірної стовбурів [140].

Аналіз наукової літератури свідчить, що проблема прогнозування розмірно-якісної структури об'єму стовбурів більше стосується вітчизняної таксації лісу. В країнах Європи та Америки цьому питанню приділяється значно менше уваги, що пов'язано з історичними аспектами системи обліку деревини. Серед наукових досліджень, в яких розглядаються подібні до вітчизняних підходи попередньої оцінки розмірно-якісної структури деревини,

потрібно згадати роботи Fortin et al. (2009) [151], Bédard et al. (2018) [134], Banzhaf et al. (2016) [133].

Важливим питанням удосконалення системи обліку деревини є опрацювання, так званих, регіональних нормативів. Зазвичай на локальному матеріалі вдається отримати результати, що характеризуються меншою мінливістю. В цьому відношенні в дисертації передбачено моделювання розмірно-якісної структури об'єму стовбурів берези лише для Українського Полісся.

1.3. Системний підхід у дослідженні форми та розмірно-якісної структури об'єму стовбурів дерев

Закономірності форми та розмірно-якісної структури об'єму деревних стовбурів у лісовій таксації досліджували багато вчених. Зацікавленість в точних нормативах для таксації лісосік сприяла розвитку різноманітних підходів, математична основа яких удосконалювалася впродовж тривалого часу. В лісову таксацію впроваджувалися нові інформаційні технології, математичне моделювання стало основним інструментом для взаємозв'язку елементів складної системи обліку лісових ресурсів. В більшості сучасних нормативів простежується дві важливі ознаки:

- дотримання принципу успадкування результатів попередніх досліджень;
- збереження горизонтальних і вертикальних зв'язків між різними лісообліковими нормативами.

Після основоположних лісотаксаційних праць першої половини минулого століття наступні наукові розробки використовували одержані результати. Варто згадати роль бонітетної шкали М. М. Орлова, з якою намагалися пов'язати класифікацію лісових насаджень за розрядами висот. Невипадково, розряди висот в сортиментних таблицях мають ті ж літерні позначення, що і

класи бонітету. Продовжуючи наукові дослідження К. Є. Нікітіна [108], в наступних редакціях сортиментних таблиць [66, 67, 109] спостерігаємо збереження запропонованих класифікацій деревостанів за розрядами висот, принципів узагальнення та математичного моделювання. Цікавим є той факт, що сортиментні таблиці різних років узгоджуються в оцінках висоти за розрядами висот для базових ступенів товщини, відповідно до методики К. Є. Нікітіна [80]. Ця особливість в лісовій таксації дозволяє вдосконалювати підходи, не руйнуючи всієї системи класифікації лісових насаджень.

Не менш важливим у системному підході в лісовій таксації є забезпечення взаємозв'язку між нормативами, що застосовуються на різних етапах обліку лісових ресурсів. Зазначене питання пов'язане з систематизацією нормативів для таксації лісу [66, 67, 82]. У контексті дисертаційного дослідження існує необхідність збереження ієрархічних зв'язків між найбільш простими таблицями об'єму стовбурів дерев з двома входами та сортиментними таблицями, а також моделями збігу стовбурів. Досягти узгодження можна на основі універсальних підходів, які можуть вирішувати різні завдання. Наприклад, математична модель твірної стовбурів, що характеризує форму стовбурів, дозволяє обчислити як об'єм стовбурів, так і спрогнозувати його розмірно-якісну структуру.

Серед питань, які потрібно вирішувати одночасно з моделюванням форми та розмірно-якісної структури об'єму деревини під час розробки сортиментних таблиць, є взаємозв'язок висот і діаметрів дерев у насадженні. Співвідношення між висотами та діаметрами дерев залежить від деревного виду, умов росту лісового насадження та не залишається постійним у часі навіть у одному й тому ж деревостані. Відомо також про особливості взаємозв'язку висот і діаметрів дерев у одновікових і різновікових лісових насадженнях. При цьому форма кривих, що описують ці залежності, може змінюватися з віком, тобто набувати різної кривизни на певних етапах розвитку деревостанів.

Дослідження співвідношення між діаметрами та висотами дерев у лісових насадженнях різних деревних видів системно виконувалося під керівництвом

К. Є. Нікітіна [39]. У результаті проведених досліджень виявлено вплив багатьох факторів на форму кривої висот у деревостані (наприклад вік). Так, у молодому віці відбувається диференціація стовбурів за діаметром і висотою. Для стиглих і перестиглих деревостанів криві висот стають більш згладженими. В зв'язку з цим чинні сортиментні таблиці розроблені для двох вікових груп лісових насаджень [135, 170]:

- молодняки та середньовікові деревостани;
- пристиглі, стиглі та перестиглі деревостани.

Отже, всю систему математичних моделей об'єму та розмірно-якісної структури деревини потрібно узгоджувати відповідно до наведеної класифікації деревостанів. Іншим аспектом цього питання є розробка локальних нормативів. Дослідний матеріал, зібраний у конкретному регіоні, має вищу репрезентативність та меншу мінливість показників. У зв'язку з цим поряд із загальними нормативами для таксації лісу [23, 102] часто розробляють регіональні нормативи, які характеризують особливості насаджень для різних природно-кліматичних зон, особливих умов росту [24, 103, 104], або різних вікових груп [113].

Систематизація наукових публікацій за темою дисертації дозволяє вибудувати таку логіку представленого дослідження:

- збір дослідного матеріалу;
- первинна обробка дослідних даних;
- моделювання взаємозв'язків різними таксаційними ознаками;
- валідація розроблених математичних моделей і оцінка їхньої точності.

Запропонований підхід передбачає комплексне дослідження взаємозв'язків досліджуваної системи, починаючи від виявлення закономірностей форми стовбурів, встановлення протяжності ділової частини стовбурів, моделювання виходу ділової деревини різних довжини та діаметрів для стовбурів берези повислої. Результатом роботи виступає проєкт нормативів для прогнозування виходу об'єму деревини для ділових і напівділових стовбурів.

Висновки до розділу 1

1. Дослідження форми стовбурів дерев є основою для точного визначення їхнього об'єму.

2. Моделювання збігу стовбурів із використанням рівнянь твірної формує основу для визначення об'єму стовбурів, а також встановлення розмірно-якісної структури деревини. Такий підхід забезпечує встановлення об'єму ділових лісоматеріалів деревини різної довжини та діаметрів.

3. Визначення об'єму стовбурів, а також розмірно-якісної структури деревини повинне ґрунтуватися на одній методичній основі, яку може забезпечити дослідження форми поздовжніх перерізів стовбурів дерев берези різних розмірів.

Матеріали розділу опубліковані в наукових працях [9, 115, 169].

РОЗДІЛ 2

ХАРАКТЕРИСТИКА РЕГІОНУ ТА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Фізико-географічні та кліматичні умови Українського Полісся

Українське Полісся простягається з заходу на схід країни, охоплюючи Поліську низовину та північну частину Придністровської низовини в межах Волинської, Рівненської, Житомирської, Київської, Чернігівської і Сумської адміністративних областей. За фізико-географічним районуванням територія дослідження відноситься до південно-західної частини зони мішаних лісів. Чітке розмежування Полісся та Лісостепу обумовлене відмінностями рельєфу, особливостями ґрунтів та природної рослинності. Межа проходить через населені пункти: Володимир-Волинський – Луцьк – Рівне – Корець – Шепетівка – Чуднів – Фастів – Ніжин – Лужки [17, 18, 125, 126].

Загальна площа Українського Полісся становить 113,5 тис. км², що відповідає 19 % території України, на якій розташовується 36,6 % площі лісового фонду [17, 19].

На основі досліджень відмінностей природних умов В. О. Поварничина [89], С. С. Пятницького [98], та інших учених [97] виділяють три підзони Українського Полісся: Західне, Центральне та Східне. За комплексним лісогосподарським районуванням Українське Полісся поділяється на Західно- та Центральнополіський і Києво-Чернігівський поліські округи, за розташуванням відносно берегів Дніпра – на Правобережне та Лівобережне Полісся відповідно [17, 87].

Згідно з фізико-географічним поділом поліські землі включають шість природних областей (рис 2.1).

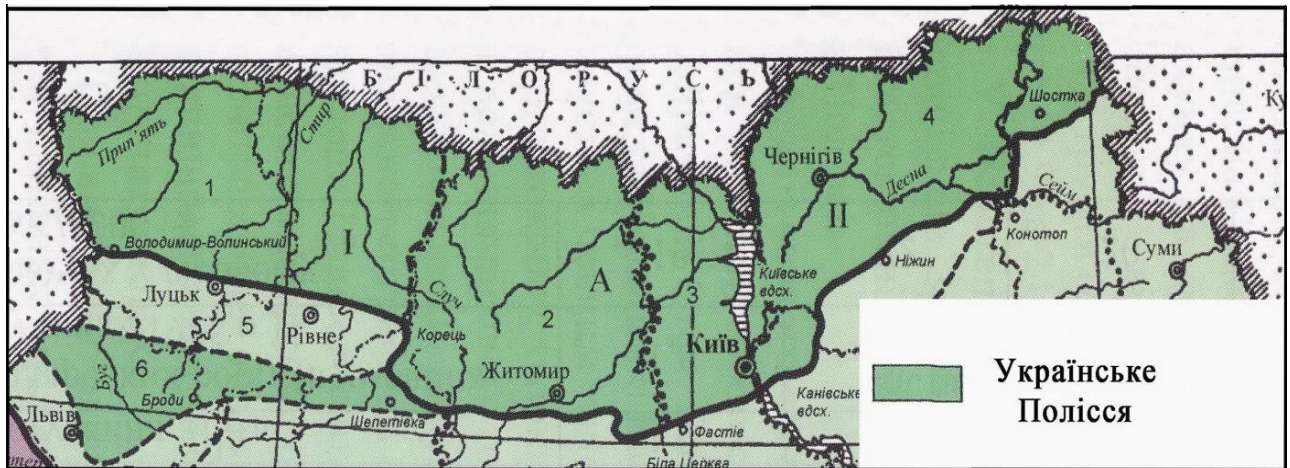


Рис. 2.1. Схема Українського Полісся [19]

1. Волинське Полісся – частково займає північний захід Рівненської та більшу частину Волинської областей і простягається від річки Західний Буг до Українського кристалічного щита.

2. Житомирське Полісся – охоплює Житомирську та частково Рівненську області, в геоструктурному відношенні пов'язане з північно-західною частиною Українського щита та є найвищою точкою Українського Полісся.

3. Київське Полісся – знаходиться на сході Поліської низовини в межах Київської та частково Житомирської областей, в геоструктурному відношенні пов'язане зі схилом Українського кристалічного щита до Дніпровсько-Донецької западини.

4. Чернігівське Полісся простягається на схід від Київського, від Дніпра на заході до лінії, котра проходить від гирла річки Ревни, західніше Холмів, східніше від Коропа і західніше від Кролевця. В геоструктурному відношенні пов'язане зі схилом Воронежського масиву і північним та південним бортами Дніпровсько-Донецької западини.

5. Новгород-Сіверське Полісся займає східну частину Українського Полісся в межах колишніх Семенівського і Новгород-Сіверського районів Чернігівської та Середино-Будського, Шосткинського і Ямпільського районів Сумської областей.

6. Мале Полісся – розташоване в межах Львівської і Рівненської областей, є майже замкненою плоскохвилястою низовиною між Волинською та

Подільською височинами [20, 21, 22, 85].

Українське Полісся є плоскою рівниною з діапазоном абсолютних висот від 150 до 200 м над рівнем моря, відносні коливання висот незначні. Правобережне Полісся має загальний нахил топографічної поверхні на північ та північний схід до Дніпра та Прип'яті. Лівобережна частина Полісся має нахил до Дніпра в південно-західному напрямку [70, 128].

Центральна частина Полісся знаходиться в межах Українського кристалічного щита. Характерними ознаками територій є незначна товщина осадових відкладань, вихід докембрійських кристалічних порід близько до поверхні в долинах річок та на поверхню за їхніми межами. Магматичні та метаморфічні утворення найбільш поширені і становлять близько 90 % порід. Найбільш піднятою частиною як в межах Житомирського Полісся, так і Українського Полісся загалом є Словечансько-Овруцька височина, максимальна висота над рівнем моря якої становить 316 м. Значна частина кряжу вкрита лесоподібними відкладами з розвиненою мережею ярів [17, 18, 40].

У західному напрямку від Українського кристалічного щита розташована Волинсько-Подільська плита, яка переходить у Галицько-Волинську западину. Простежується поступове занурення докембрійських кристалічних порід. Суцільне поширення в межах плити мають нижньопалеозойські та рифейські відкладення, перекриті юрськими, верхньокрейдяними і неогеновими породами в південній частині та верхньокрейдяними в північній частині. Поширення карбонатних порід зумовлює наявність карстових форм рельєфу на Волинському Поліссі [70].

Крайня східна частина природної зони Українського Полісся займає схил Воронезького кристалічного масиву в межах Новгород-Сіверського Полісся, глибина залягання кристалічного масиву становить 300–600 м. Карбонатні породи крейдового віку відслонюються в долині Десни. На територіях Київського та Чернігівського Полісся дочетвертинні породи в переважній більшості некарбонатні [70].

Для поліських ландшафтів характерними є значна заболоченість територій, густа гідрологічна сітка та високий рівень ґрунтових вод [46]. Середня густота річкової мережі становить близько $0,29 \text{ км} \cdot \text{км}^{-2}$, найменша у басейні Остра ($0,16 \text{ км} \cdot \text{км}^{-2}$). Переважна більшість річок Полісся належить до басейну Дніпра, відносно незначна частина у східній частині стікає до Західного Бугу. На території Українського Полісся налічується понад 700 річок протяжністю більше 10 км, найбільшими з них є Дніпро, Десна, Прип'ять, Горинь, Стир, Тетерів, Уборть, Уж, Снов, Остер. Невеликих річок, завдовжки менше ніж 10 км, нараховується близько 4500. Тип живлення річок Полісся змішаний, найбільше підвищення рівня води спостерігається навесні під час танення снігу. Величина річкового стоку має різні значення: у межах Західного Полісся становить 40 %, Центрального – 48 %, Східного – 52 % [46].

Річкові долини Полісся здебільшого широкі та слабо врізані. Відносні висоти на поперечних профілях, закладених через долини і межириччя, знаходяться в межах 20–50 м. Надзаплавні тераси не мають чітких зовнішніх меж, а в сусідніх річок часто зливаються. Долини річок Тетерева, Ужа, Случі, Уборті та їхніх допливів на ділянках перетину Українського кристалічного щита мають меншу ширину, круті береги з відслоненням твердих порід [1, 52, 70].

На території Українського Полісся зосереджено близько 500 озер різного походження. Серед них найбільш відомими є Шацька група озер у Волинській області, Нобель на Рівненщині, Красне та Трубин на Чернігівщині. До долинних озер відносяться Турське, Любязь, Корма, які розміщені у долині верхньої Прип'яті. На заході та північному заході Волинського Полісся у формуванні озер велику роль відіграють карстові процеси. Найбільшими карстовими озерами є Світязь ($27,5 \text{ км}^2$), Пулемецьке ($16,5 \text{ км}^2$), Лука (7 км^2) [46].

Серед природних зон України Українське Полісся є найбільш заболоченою, значна кількість води зосереджена на болотах та перезволожених

землях. Низинні болота, утворені за умов багатого водно-мінерального живлення, найбільш поширені [17, 97, 126, 128].

Наземні фізико-географічні умови, кількість сонячної радіації, атмосферна циркуляція перебуваючи у тісному взаємозв'язку є основними факторами формування кліматичних умов. Кліматичні умови регіону – це один з найголовніших абіотичних факторів, що істотно впливають на ріст та розвиток насаджень. Клімат Українського Полісся помірно-континентальний, з тривалим теплим літом та м'якою зимою. Займаючи північну і північно-східну частини країни, Полісся має дещо нижчі температурні показники та більшу кількість опадів, порівняно з середніми значеннями на всій території України [18, 48, 70, 126].

Градiєнт середніх температур січня в Українському Поліссі коливається від $-4,6^{\circ}\text{C}$ (Луцьк) до $-7,8^{\circ}\text{C}$ (Хутір-Михайлівський). Середні температурні показники найтеплішого місяця липня зростають із заходу на схід від $+17,8^{\circ}\text{C}$ (Володимир-Волинський) до $+19^{\circ}\text{C}$ (Київ). Середньорічна температура повітря знаходиться в діапазоні від $+7^{\circ}\text{C}$ до $+5^{\circ}\text{C}$. Тривалість безморозного періоду становить від 160 на сході до 180 днів на заході відповідно. Різниці наведених показників у межах Українського Полісся пояснюються наростанням континентальності клімату регіону із заходу на схід. Перші осінні заморозки припадають на початок жовтня, рідше – на першу декаду вересня. Зазвичай весняні заморозки припиняються в третій декаді вересня [70].

Починаючи з 90-х років XX століття, на Поліссі простежується тенденція щодо кліматичних змін. Середня річна температура повітря за 1991–2010 рр. зросла на величину близько $1,0^{\circ}\text{C}$ відносно багаторічної норми періоду 1961–1990 років. Змінився просторовий розподіл і структура опадів, а відповідно й режим зволоження. Посилення антициклональної діяльності у регіоні зумовлює періодичне настання посушливих умов протягом вегетаційного періоду, що посилює рівень пожежної небезпеки.

За кількістю опадів Полісся перевершує інші рівнинні території України. Середня річна кількість опадів становить 550–650 мм, максимальні значення

річних сум опадів досягають 850–950 мм. Загалом розподіл опадів по всій території можна вважати рівномірним. У теплий період року, з квітня по жовтень, випадає близько 400–450 мм. У той час як у холодний лише 150–200 мм. Найбільша кількість опадів спостерігається в червні та липні у вигляді рясних дощів чи злив. Коефіцієнт зволоження становить від 1,0 до 1,2 [70].

Відносна вологість повітря (як один з важливих кліматичних показників) тісно пов'язана з температурою: найвищі значення спостерігаються в зимовий та осінній періоди (близько 80–85 %). У травні фіксується найнижче значення цього показника, яке варіює у межах від 48 % до 54 %. На значних територіях Українського Полісся спостерігаються тумани в зв'язку з надмірним зволоженням територій [126].

Вегетаційний період становить 205–210 днів на заході та 190–196 днів на сході та триває від другої декади квітня до третьої декади жовтня [16]. Геологічна будова Східно-Європейської платформи у межах різних геологічних структур (Галицько-Волинської западини, Українського кристалічного щита, Дніпровсько-Донецької западини та схилу Воронезького кристалічного масиву) неоднорідна. Це зумовлює строкатість мезо- і мікрорельєфу та мозаїчність ґрунтового покриву території Українського Полісся [21, 22, 85].

Рельєф Українського Полісся сформувався під впливом як ендегенних, так і екзогенних чинників. За даними детальних геологічних та геоморфологічних досліджень неоднорідність генетичних типів та форм рельєфу Українського Полісся має природно-історичні причини. Розташування досліджуваної природної зони в межах різних геоструктурних областей, масштабні геологічні процеси у плейстоцені і голоцені, складність палеогеографічних умов антропогену та своєрідність фізико-географічних процесів пояснюють його сучасний стан та різноманіття [70].

Материнські породи досліджуваного регіону представлені мореною, флювіогляціальними відкладаннями, лесами, озерними прісноводними суглинками, давньоалювіальними пісками, крейдяно-мергельними та сучасними річковими відкладами. Породи легкого гранулометричного складу

(піщані та зв'язно-піщані з 0–5 % та 6–10 % фізичної глини у складі відповідно) переважають на території Лівобережного та Центрального Полісся і займають 22 % і 23 % території відповідно. Легкі супіски (11–15 % фізичної глини у складі) охоплюють 33 % і 29 % вище зазначених територій, важкі супіски (16–20 %) – 30 % і 31 %, легкі суглинки – 14 % та 15 % відповідно. У західній частині Полісся частка участі порід становить 69, 24, 4 і 3 % відповідно. Вказані дані насамперед визначають різні ступені сприятливості умов для росту і розвитку лісової рослинності, та частково мають вплив на поширення різного типу ґрунтоутворення, залежно від умов залягання, потужності та фізико-хімічних властивостей [22, 85, 97].

Близько 60 % ґрунтів Українського Полісся зонально представлені дерново-підзолистими, переважаючими за ступенем опідзолення є слабо- та середньопідзолені ґрунти. Окрім них трапляються лучні, болотні, перегнійно-карбонатні та сірі лісові ґрунти [15, 70, 97].

Дерново-підзолисто-глейові ґрунти поширені в місцях з високим рівнем ґрунтових вод. Процес оглеєння зумовлений надмірним зволоженням ґрунту в нижніх шарах та поверхневими водами [97].

Сірі лісові ґрунти, часто засолені содою, територіально зосереджені в південній частині Чернігівського Полісся. Дерново-карбонатні ґрунти різної глибини зосереджені на виходах крейдових та мергельних порід і є одними з найродючіших на території Українського Полісся. За потужності гумусного профілю 20–40 см вміст гумусу варіює в межах від 2 до 3,5 %, реакція ґрунтового розчину нейтральна або слабо лужна. Мозаїка сірих лісових та дерново-карбонатних ґрунтів набуває значного поширення, переважно зустрічається в місцях підвищеної лісової акумуляції [1, 70, 85, 126].

Болотні ґрунти на території Полісся охоплюють значні площі, в деяких районах займаючи до 16 %. Переважно це сучасні та реліктові річкові долини, улоговини та вододільні зниження. Великі масиви болотних ґрунтів зосереджено на північному заході Українського Полісся. Серед болотних ґрунтів найпоширенішими є торф'яно-болотні та торфовища. Торфові

відкладання досягають потужності близько 0,7 м та становлять 4,3 % території. Торфоутворення та значне заболочення пояснюється доволі вологим кліматом та мало дренованою поверхнею, що в свою чергу зумовлює високий рівень ґрунтових вод та їхній повільний рух [1, 126].

На територіях північної частини Українського Полісся домінують дерново-підзолисті, глеєві, глинисто-піщані, піщані ґрунти та борові піски на початкових стадіях ґрунтоутворюючих процесів. Центральну частину Правобережного Полісся переважно займають супіщані дерново-середньопідзолисті ґрунти. Глеєві ґрунти тут зустрічаються рідше у зв'язку з меншою заболоченістю територій. Супіщані дерново-середньопідзолисті ґрунти є переважаючими на територіях Київського, північної та центральної частин Чернігівського Полісся [85, 97, 126].

На вологих дерново-підзолистих, світло-сірих опідзолених ґрунтах на карбонатній морені або лесах дубові деревостани одноярусні, рідше двоярусні з домішкою липи дрібнолистої (*Tilia cordata* Mill.), клена гостролистого (*Acer platanoides* L.), осики (*Populus tremula* L.), берези повислої, граба звичайного (*Carpinus betulus* L.), ясена звичайного (*Fraxinus excelsior* L.). У підліску доволі поширеними є ліщина звичайна (*Corylus avellana* (L.) H. Karst.), крушина ламка, горобина звичайна, бруслина бородавчата. Трав'яний покрив сформований конвалією звичайною (*Convallaria majalis* L.), анемоною дібровою (*Anemone nemorosa* L.), медункою вузьколистою (*Pulmonaria angustifolia* L.), рястом ущільненим (*Corydalis solida* (L.) Clairv.) [4, 53, 98].

Березові деревостани сформовані як похідні на ділянках лісосік та згарищ корінних соснових і дубово-соснових деревостанів. У підліску і чагарниковому ярусі зустрічаються ліщина звичайна, клен гостролистий, горобина звичайна, проте, підлісок часто може бути відсутнім. Трапляється негустий підріст сосни звичайної. Присутні види трав'янистих рослини, властиві корінним деревостанам, що передували березовим. Значна частка у трав'яному покриві належить тіневитривалим рослинам – сцинофітам, незважаючи на доволі високу освітленість деревостанів. Переважають березняки зеленомохові,

чорничні, вересові, орлякові. Після меліоративного втручання на осушених торфовищах формуються березові ліси з домінуванням щучника дернистого (*Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv.) в трав'яному покриві [1, 4, 45, 53].

Клейковільхові ліси зосереджені на вологих пониженнях водорозділу. Береза пухнаста і ясен звичайний можуть бути присутніми у деревному ярусі. Підлісок досить густий та містить у складі малину (*Rubus idaeus* L.), крушину та ліщину. Трав'яний покрив представлений квасеницею (*Oxalis acetosella* L.), вербозіллям звичайним, безщитником жіночим (*Athyrium filix-femina* (L.) Roth ex Mert.), щитником чоловічим (*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott) [4, 53, 98].

Верхові болота характеризуються бідним флористичним складом. Переважно це рідколісся сосни звичайної та берези пухнастої з суцільним покривом сфагнових мохів у живому надґрунтовому покриві. Серед чагарникових і трав'янистих рослин поширені журавлина болотна (*Oxycoccus palustris* Pers.), андромеда багатоліста (*Andromeda polifolia* L.), шейхцерія болотна (*Scheuchzeria palustris* L.). На територіях мезотрофних боліт поширені сосново-сфагнові і сосново-березово-сфагнові лісові угруповання, а також безлісні чагарниково-трав'яномохові і трав'яномохові [1, 45, 53].

2.2. Характеристика берези повислої

Береза повисла (*Betula pendula* Roth.) – найбільш поширений в Україні вид берези, що утворює чисті та мішані деревостани та є важливим об'єктом ведення лісового господарства в еколого-лісівничому та ресурсному значенні.

Березові насадження на Поліссі є переважно похідними та сформувалися на місці природних соснових та дубово-соснових лісостанів. Вони досить поширені, але великих масивів не утворюють, трапляючись поряд з деревостанами корінних порід. Березові лісостани ростуть на всій території Полісся, але найбільше їх зосереджено у Волинському та Житомирському Поліссі. Такий розподіл зумовлений порушенням природної структури лісу під

час лісокористування та відсутністю заходів сприяння природному відновленню соснових деревостанів. Корінні березові ліси займають невеликі площі, переважно в пониженнях на вологих гігродопах. Для Українського Полісся характерні чисті березові гаї. Продуктивність березняків, їх породний склад часто залежать від ґрунтових і кліматичних умов та лісогосподарської діяльності [129].

Трав'янисто-кущовий покрив березових лісостанів різноманітний за видовим складом. Здебільшого він є похідним від соснових і дубово-соснових лісів, що зумовлює переважання серед березняків зеленомохових, орлякових, вересових, чорничних асоціацій. Унаслідок антропогенного впливу сформувалися злаково-різнотравні березові ліси, які займають значні площі [1].

Береза повисла – це листопадне дерево висотою до 20–25 м та діаметром до 60–70 см. Кора біла, гладка, в зрілому віці біля основи стовбура тріщинувата, темно-сіра чи чорна. Крона розріджена, яйцеподібна, гілки повислі. Пагони коричневі, молоді – смолисті, бруньки клейкі, загострені. Листки яйцеподібні чи ромбічні, завдовжки до 5–7 см, завширшки до 3–5 см, гладкі, клейкі, верхівка загострена, черешки голі [44].

Квіти берези повислої одностатеві, чоловічі та жіночі сережки циліндричні, до 3 см завдовжки. Плоди – горішки, плоскі, світло-коричневі, еліптичні, однонасінні. Крило в 2–3 рази ширше від горішка, бокові лопаті лусок округлі. Супліддя починають розпадатися після дозрівання у липні [129].

Структура деревини берези повислої – без'ядрова. Деревина біла з жовтуватим або червонуватим відтінком та мало помітними річними кільцями. Серцевинні промені дуже вузькі й помітні лише на радіальних розрізах [44]. За фізико-механічними властивостями деревини основні види берези (повисла, пухнаста, жовта та чорна) належать до деревних порід середньої щільності. Середній показник щільності деревини за вологості 12 % становить $640 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ [57]. Вологість свіжозрізаної деревини берези в середньому дорівнює 78 %, а її кори – 58 %. Вологопровідність деревини берези за нормальної температури приблизно вдвічі нижча, порівняно з деревиною сосни або ялини, внаслідок

вищої її щільності.

Береза повисла – світлолюбний деревний вид. Чисті високостовбурні березняки у старшому віці дуже зріджуються. Завдяки рідкій і прозорій кроні ґрунт під наметом березового насадження завжди вкритий рясним живим надґрунтовым покривом [63].

Береза повисла – швидкоросла та невибаглива до родючості ґрунту. За сприятливих умов в однорічному віці досягає висоти 50 см, а в п'ятирічному віці – 2–3 м. У віці 10 років річний приріст берези за висотою становить 75–90 см. Максимальної висоти досягає у 50-річному віці. Надалі її приріст за висотою сповільнюється, а за діаметром – триває, але з поступовим зниженням інтенсивності [44].

Береза повисла росте на різноманітних ґрунтах: дерново-слабопідзолистих алювіальних пісках і піщаних ділянках задрових рівнин, дерново-середньопідзолистих, супіщаних, водно-льодовикових та льодовикових покладах, сильно опідзолених із потужним алювіальним горизонтом і значною кислотністю, дерново-підзолистих у комплексі з дерновими карбонатними та чорноземними, опідзолених чорноземах і на легко- або середньо темно-сірих опідзолених, типових чорноземах, торф'яно-болотних ґрунтах і солончаках. Оптимальними для берези повислої є свіжі та вологі ґрунти. Найкраще вона росте на свіжих супіщаних та суглинистих ґрунтах [106].

У чистих насадженнях береза використовує значну кількість поживних речовин із верхнього горизонту ґрунту, але не здатна відновлювати їх внаслідок невеликої маси опаду. Добре росте у мішаних, високостовбурних лісових ценозах. На піщаних ґрунтах вводять березу повислу в соснові культури окремими рядами для утворення протипожежних та захисних смуг [44, 154].

Згідно з результатами досліджень продуктивності та товарності березових деревостанів, проведених О. А. Гірсом [23, 24], встановлено проектну стиглість березових деревостанів у лісах різного функціонального

призначення. Так, вік стиглості березових деревостанів всіх класів бонітету в категоріях захисні, рекреаційні, природоохоронні ліси в усіх природних зонах України (Полісся, Лісостепу, Степу, Українських Карпат) становить 61–70 років [44].

За літературними даними [137] береза для синтезу (продукування) 1 м³ деревини в середньому поглинає 1000 кг вуглецю і виділяє 725 кг кисню. Показник продукування кисню 50-річних березових насаджень II бонітету на площі 1 га в центральній частині зони мішаних лісів може досягає 4 т·рік⁻¹ [64]. Згідно з дослідженнями П. І. Лакиди, О. А. Дибалюка та Л. М. Матушевич [58], насадження берези вважають оптимальними за інтенсивністю поглинання вуглецю з атмосфери. Деревя берези вирізняються високою інтенсивністю синтезу органічної речовини та значною концентрацією вуглецю в компонентах фітомаси. Деревина стовбурів і гілок містить 256 кг·м⁻³ і 230 кг·м⁻³ вуглецю відповідно, кора стовбурів і гілок – 274 кг·м⁻³ та 279 кг·м⁻³ відповідно [63].

У природних умовах березові деревостани збагачують повітря легкими негативними іонами, поступаючи за інтенсивністю цих процесів тільки сосновим і модриновим насадженням. Коефіцієнт уніполярності (показник ступеня чистоти повітря і насиченість його негативними іонами) березняків варіює у межах від 1,1 до 1,7 [105].

Особливість деревини берези – низька стійкість до ураження патогенами. Утворення морозобійних тріщин або механічних пошкоджень призводить до утворення гнилизни, що досить швидко поширюється від місця ураження вздовж стовбура. Береза масово уражається трутовими грибами, зокрема: *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst., *Fomesfomentarius* (L.) Fr., *Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst (та ін.), починаючи з 80-річного віку, що прискорює її відпад [127]. Стовбурові шкідники, зокрема *Tremex fusticornis* F., *Scolytus ratzeburgi* Jans та ін. заселяють переважно сухостійні дерева берези та лише поодинокі дуже ослаблені екземпляри [38].

На Поліссі береза є однією з головних промислових листяних порід. Усі складові частини дерев берези (деревина, кора, береста, корені, бруньки,

листки, сік) знаходять широке практичне застосування. З деревини берези виготовляють меблі, струганий шпон, паркет, високоякісну фанеру, целюлозу, лижі, авіаційні матеріали, застосовують її у будівництві та інших галузях господарської діяльності людини. Після хімічної переробки з її деревини одержують спирт, оцет, вугілля, з берести – дьоготь, мастильні олії тощо. Листя та бруньки незамінні в фармацевтичній промисловості та народній медицині як лікувальні засоби – сечогінні, жовчогінні, протиспазматичні, протизапальні, ранозагоювальні, антивірусні, глистогінні й протипаразитальні [100, 125]. Лікарське значення мають березовий сік, береста, плоді тіла паразитичного гриба «чага» (*Inonotus obliquus* (Pers.) Pil. F. *sterilis* (Van.) Nikol.). Березовий сік є сировиною для харчової промисловості [30, 101]. Кору берези, яка містить дубильні речовини, використовують для вичинки шкір і фарбування вовни. З тонких гілок виготовляють мітла, віники, корзини, а з березових капів – різноманітні сувеніри.

Бере́за повисла має цінні декоративні якості внаслідок високих естетичних властивостей. Її мальовнича крона з тонкими повислими гілками, білокорий стовбур різко виділяються поряд з іншими деревними породами. У будь-яку пору року надає паркам і лісам світлий і радісний відтінок, тому її широко використовують у садово-парковому будівництві [63].

Дослідженням березових насаджень на території України та сусідніх країн Європи в різні періоди займалися: О. А. Гірс [23, 24, 25], П. І. Лакида, А. М. Білоус, [5, 6, 11, 12], Р. В. Атаманчук [3], Л. М. Матушевич [63, 71, 72], А. М. Жежкун [34, 36, 37], М. Є. Ліщук [65], Г. А. Порицький [95], Л. В. Полякова [94] та інші вчені [13, 14, 49, 57, 59, 61, 62].

2.3. Лісівничо-таксаційна характеристика березових деревостанів Українського Полісся

Аналіз структури березняків Українського Полісся здійснено за матеріалами бази даних «Лісовий фонд України» виробничого об'єднання «Укрдержліспроєкт» станом на 01.01.2011 року [32]. Загалом відібрано 57259 ділянок деревостанів з участю у складі берези повислої понад шість одиниць на загальній площі 149,4 тис. га.

Серед м'яколистяних лісів Українського Полісся деревостани берези повислої займають 40,0 % площі, а у лісовому фонді Державного агентства лісових ресурсів України – 27,7 % від загальної площі м'яколистяних порід [56, 116]. Найбільша частка березових насаджень росте в межах лісгосподарського району Житомирської області (36,6 %), дещо менше – у Рівненській (32,4 %), Чернігівській (14,4 %), Київській (7,0 %), Волинській (5,6 %), Сумській – понад 6 тис. га (4,0 %). На рис. 2.2 представлено розподіл площі березових деревостанів за адміністративними областями в межах досліджуваного регіону.

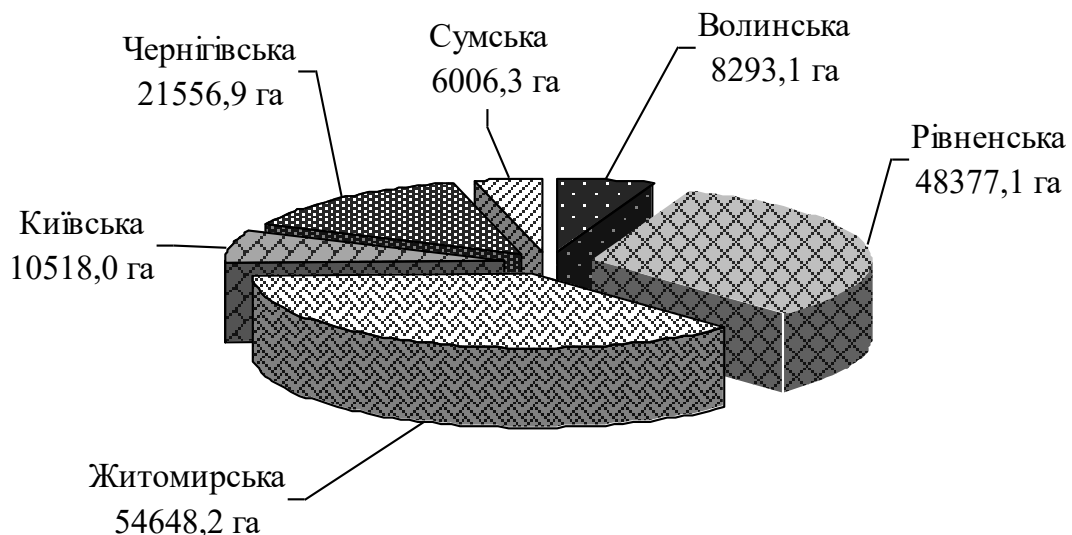


Рис. 2.2. Розподіл площі березових насаджень за адміністративними одиницями в межах Українського Полісся

Важливим таксаційним показником, який характеризує структуру деревостанів, є вік. Від його параметрів залежать призначення основних

лісогосподарських заходів та обсяги ресурсного забезпечення держави високотоварною деревиною.

Відповідно до рис. 2.3, розподіл площ за класами віку нерівномірний, наявне значне варіювання віку березових деревостанів за областями [114].

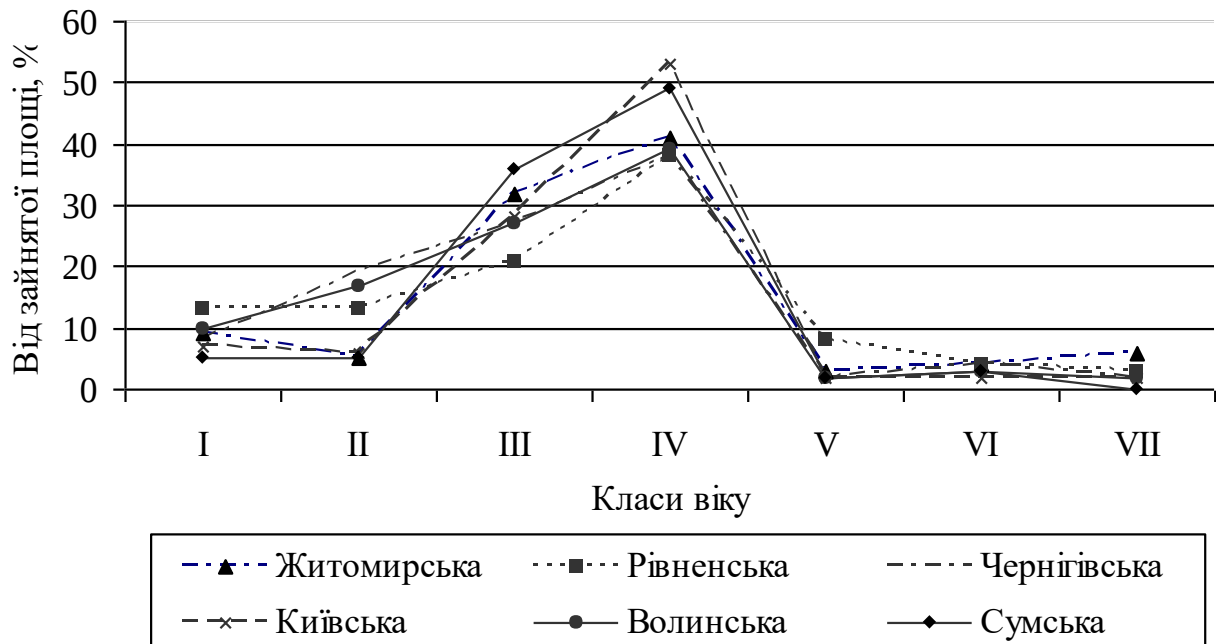


Рис. 2.3. Вікова структура березових деревостанів

Площа молодняків I класу віку становить менше 10,0 %, за винятком Житомирської області (12,3 %), а II класу віку – від 5,0 % у Київській та Сумській областях до 19,1 % у Чернігівській області [117]. Значна частина берези повислої (майже 40 % і більше) в усіх областях має четвертий клас віку, дещо менше (від 21,0 до 32,6 %) в третьому класі віку. При цьому пристиглі, стиглі, перестиглі березові деревостани у межах областей, окрім Житомирської області (7,8 %), займають менше 5,0 % площі, що свідчить про відносно малі запаси. Це свідчить про нестабільні можливості використання їхнього потенціалу в умовах Полісся для промислових та енергетичних потреб.

Розподіл площ деревостанів берези повислої за класами бонітету, наведений у табл. 2.1, свідчить про домінування високопродуктивних (переважно I та II класу) березових насаджень у зазначених областях, окрім Сумської області, де переважає I^a клас бонітету.

**Розподіл площ березових деревостанів за класами бонітету
(частка від зайнятої площі, %)**

Адміністративна область	Клас бонітету						
	I ^b	I ^a	I	II	III	IV	V
Житомирська	1,6	14,5	35,4	33,1	13,1	1,3	1,0
Рівненська	1,2	8,8	22,4	43,5	19,5	2,1	2,5
Чернігівська	0,8	18,8	39,2	28,7	11,6	0,3	0,7
Київська	1,2	9,2	38,9	33,3	17,1	0,3	0,0
Волинська	2,0	16,3	30,3	28,0	19,9	2,5	1,0
Сумська	0,8	34,2	27,1	23,9	12,8	0,8	0,4

Низькопродуктивні березняки (IV–V класи бонітету) ростуть на незначних територіях. В більшості областей їх частка від загальної площі близька до 1,0 % або значно менша. У Волинській та Рівненській областях частка площі березових насаджень IV класу бонітету дещо вища і становить відповідно 2,5 % і 2,1 %, V класу бонітету – 1,0 % та 2,5 % відповідно.

Розподіл площ деревостанів берези повислої за повнотою надано на рис. 2.4. Згідно з діаграмою більшість березняків поліської зони має відносну повноту 0,7 (понад 50 % площі). Березові насадження із повнотою 0,6 та 0,8 розподілені однаково і займають приблизно по 20 % загальної площі березняків. Низькоповнотні (повнота 0,4 і менше) березові деревостани ростуть на незначних територіях, які становлять від 0,3 % до 1,3 % від загальної площі у різних адміністративних областях. Зрідка трапляються високоповнотні насадження із повнотою 1,0 (менше 1 %). Дещо більше насаджень із повнотою 0,9 – від 0,9 до 5,2 % загальної площі.

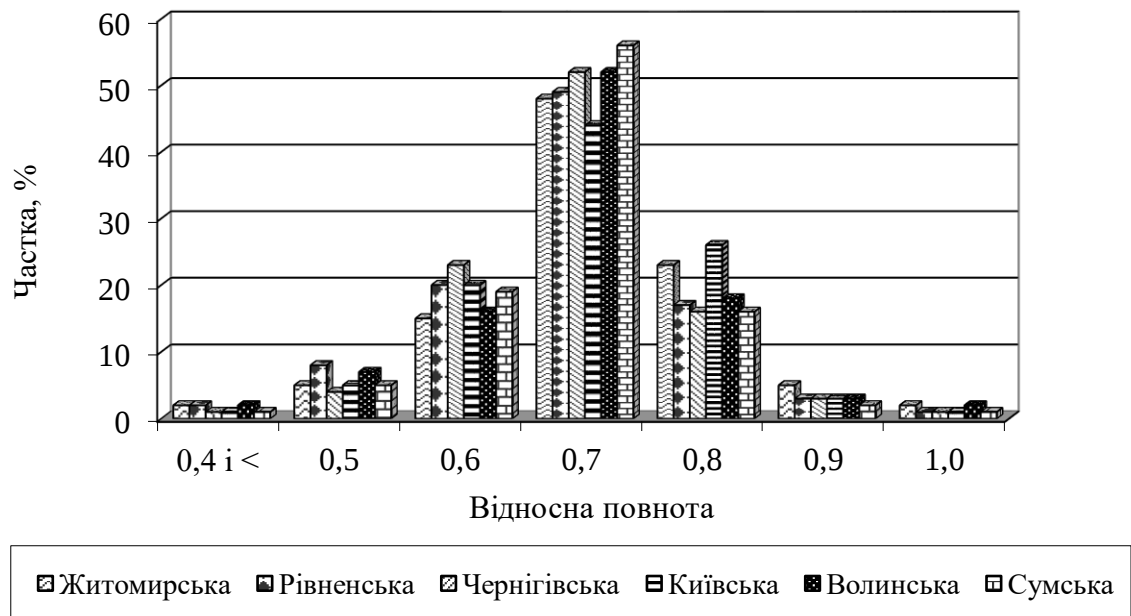


Рис. 2.4. Розподіл площ березових деревостанів за відносними повнотами в межах адміністративних областей

Відповідно до аналізу наведених у табл. 2.2 середніх таксаційних показників насаджень берези повислої в межах адміністративних областей в Українському Поліссі переважають високобонітетні (I^a, I, рідше II класів бонітету), середньовікові (V клас віку) та середньоповнотні (з відносною повнотою 0,7) насадження берези повислої.

Таблиця 2.2

Середні таксаційні показники чистих насаджень берези повислої в Українському Поліссі

Область	Кількість виділів	Середні показники					
		вік, років	діаметр, см	висота, м	повнота	запас, м ³ ·га ⁻¹	бонітет
Житомирська	6101	49	19,4	17,1	0,75	174	I,9
Рівненська	17941	45	19,1	16,6	0,72	160	II,1
Чернігівська	9395	43	19,8	16,9	0,74	171	I,1
Київська	15509	42	18,4	16,4	0,72	159	I,4
Волинська	4105	40	17,3	14,8	0,71	138	I,9
Сумська	4208	45	21,0	17,9	0,75	187	I ^a ,6

Продуктивність і видовий склад березових насаджень залежить від ґрунтово-кліматичних умов. У межах Полісся запас деревини у чистих березових деревостанах окремих типів лісу може сягати $220\text{--}240 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, а у мішаних – до $400 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

Відповідно до розподілу площ березняків за лісорослинними умовами береза повисла росте майже у всіх типах лісорослинних умов, окрім сухих сугрудків (табл. 2.3). Найбільше березових деревостанів у вологих сугрудках (27,5 %) і вологих суборах (22,1 %). Незначна кількість насаджень берези повислої росте у сухих і мокрих борах, сухих суборах та сирих грудях (сукупна частка становить менше 1 %). Поодинокі березняки зустрічаються у сухих і мокрих грудях.

Таблиця 2.3

**Розподіл площі насаджень берези повислої в Українському Поліссі
за типами лісорослинних умов, га**

Гігروتоп	Адміністративна область						Разом
	Жито- мирська	Рівнен- ська	Черні- гівська	Київ- ська	Волин- ська	Сумська	
Бори							
Сухі	45,8	10,3	2,9	2,5	11,3	–	72,8
Свіжі	520,4	103,6	145,4	112,2	67,0	13,8	962,4
Вологі	924,4	499,4	48,7	124,6	61,1	–	1658,2
Сирі	320,0	716,6	3,6	4,4	161,4	–	1206,0
Мокрі	125,7	356,7	–	–	28,5	–	510,9
Субори							
Сухі	0,6	2,5	2,7	4,5	3,2	1,0	14,5
Свіжі	3365,7	605,8	4529,4	815,0	245,5	720,5	10281,9
Вологі	14822,5	8684,9	4927,3	3073,2	1220,4	464,5	33192,8
Сирі	5891,2	11339,6	1244,7	636,8	1730,3	105,8	20948,4
Мокрі	1212,3	2465,9	66,5	28,8	386,4	20,6	4180,5
Сугруди							
Свіжі	3355,9	1229,8	2501,3	719,5	222,7	1542,7	9571,5
Вологі	18115,3	9758,4	5403,7	3351,7	2267,3	1675,6	40572,0
Сирі	4835,9	9824,0	1791,0	1401,3	1257,1	597,7	19707,0
Мокрі	336,6	1637,6	157,4	67,0	508,0	23,4	2730,0
Груди							
Сухі	0,7	–	–	–	–	–	0,7
Свіжі	124,2	645,8	225,9	100,4	84,5	644,5	1825,3
Вологі	570,3	481,1	393,4	62,2	23,9	138,4	1669,3
Сирі	75,9	15,1	111,2	13,9	14,5	56,0	286,6
Мокрі	4,8	–	1,8	–	–	1,8	8,4
Разом	54648,2	48377,1	21556,9	10518,0	8293,1	6006,3	149399,6

Детальний аналіз розподілу деревостанів берези повислої в Українському Поліссі за площею, класами віку, бонітетом, відносною повнотою і типами лісорослинних умов дав змогу вичерпно встановити сучасний стан, особливості росту та поширення лісових формацій цього деревного виду за таксаційними і лісівничими параметрами.

Наприкінці минулого та на початку нинішнього століття в Україні створена значна за обсягом база лісової нормативно-довідкової інформації, яка широко використовується у виробничій діяльності лісогосподарських підприємств. Формування насаджень у кожному регіоні України має свої особливості, що позначається на їхній таксаційній структурі та основних біометричних показниках. У зв'язку з цим застосування чинних нормативів у деяких випадках не забезпечує достатньої точності таксації. Виявлення локальних відмінностей в умовах росту та формування лісових насаджень і розробка для них нормативів може підвищити точність обліку лісових ресурсів України.

Висновки до розділу 2

1. Нерівномірна сучасна вікова структура березових насаджень зумовлює поступове накопичення площі стиглих деревостанів в Українському Поліссі, що підвищує актуальність проведення досліджень.

2. Аналіз розподілу площі березняків Українського Полісся показав, що найбільша частка березових насаджень росте в межах Житомирської (36,6 %) і Рівненської (32,4 %) областей, істотно меншу площу березові деревостани займають у Чернігівській (14,4 %), Київській (7,0 %), Волинській (5,6 %) та Сумській (4,0 %) областях.

3. Березові деревостани зростають майже у всіх типах лісорослинних умов, окрім сухих сугрудків, що може впливати на характеристики стовбурової деревини та закономірності їхньої розмірно-якісної структури.

Матеріали розділу опубліковані у наукових працях [56, 114, 116, 117].

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА РОБОТИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДНИХ ДАНИХ

3.1. Методика збору експериментальних даних

Під час польових досліджень для отримання первинних даних використовували апробовані методики лісотаксаційних досліджень із застосуванням вибіркового та суцільного обліків [26, 79]. Враховуючи поставлені завдання, збір первинної дослідної інформації передбачав наступне:

- закладання тимчасових пробних площ відповідно до вимог СОУ 02.02-37-479 : 2006 [88];
- вимірювання висот та діаметрів модельних дерев берези повислої у стиглих та пристиглих деревостанах;
- обмір модельних дерев за секціями;
- вимірювання та класифікація лісоматеріалів, отриманих з модельних дерев берези повислої, відповідно до чинних вимог [119, 121, 120].

Пробні площі закладені в стиглих та пристиглих березових насадженнях у переважаючих типах лісорослинних умов (С₃, В₃). Першим етапом був підбір ділянок березових деревостанів, однорідних за умовами росту. Наступний етап – рекогносцирувальний огляд ділянок у натурі та визначення їхньої відповідності поставленим вимогам. Кінцевий етап передбачав безпосереднє закладання пробних площ. Пробні площі відмежували у натурі встановленням на їх кутах стовпчиків і прорубуванням візирів. На кожній пробній площі виконувався суцільний перелік дерев за ступенями товщини та категоріями технічної придатності (ділові, напівділові, дров'яні) [73, 88]. Розмір ступеня товщини для насаджень із середнім діаметром до 20 см становив 2 см, а більше 20 см – 4 см [145]. Детальну таксаційну характеристику деревостанів на закладених пробних площах наведено у додатку А (табл. А.1).

Обмір модельних дерев берези повислої виконували на тимчасових пробних площах, а також на лісосіках головного користування. Основні принципи відбору моделей берези повислої полягали у наступному:

- як модельні дерева обирали ділові стовбури (довжина ділової частини не менше 6,5 м) та напівділові (довжина ділової частини від 2,0 до 6,5 м);
- з вибірки виключали суховерхі дерева та пошкоджені хворобами чи шкідниками, що могло вплинути на їхній ріст;
- на зваленому дереві визначали довжину стовбура від окоренкового зрізу, висоту пня, діаметри у корі та без кори на окореновому зрізі, на висоті 1,3 м та на середині 2 метрових секцій, загальну довжину стовбура (точність до 0,1 м);
- вимірювання діаметра проводили за допомогою мірної вилки із точністю до 1,0 см;
- вимірювання товщини кори проводили за допомогою лінійки із точністю до 0,1 см.

Під час встановлення розмірно-якісної структури деревостанів використано метод визначення структури запасу із рубкою модельних дерев. Структуру запасу деревини на лісосіці визначали шляхом обміру та класифікації лісоматеріалів у 10–20 модельних дерев (МД) берези повислої на пробі. Такий спосіб давав змогу отримати розрахункові показники на основі обміру обмеженої кількості модельних дерев. Суцільний перелік застосовано під час оцінки фактичної розмірно-якісної структури лісосік.

Для встановлення розмірно-якісної структури деревостану використовували методику В. К. Захарова [41], яка передбачала відбір модельних дерев берези повислої за ступенями товщини. Модельні дерева мали подібні середні якісні ознаки та відповідали однорідним за якістю групам дерев, визначених під час суцільного переліку дерев: ділових, напівділових. Відповідно до методики, за умови обміру 10–15 МД імовірна помилка встановленого виходу основних лісоматеріалів буде знаходитися в діапазоні

$\pm 10\%$. Детальна характеристика модельних дерев берези повислої наведена в додатку А (табл. А.2).

Збір дослідних даних здійснювали у чистих березняках і мішаних деревостанах за участю берези повислої на Поліссі України, зокрема у Сумській, Чернігівській, Волинській та Рівненській областях.

3.2. Камеральна обробка дослідних даних

Сучасні методи обробки експериментальних матеріалів ґрунтуються на виявленні закономірних зв'язків між основними таксаційними показниками деревостанів. Визначення причинно-наслідкових взаємозв'язків є обов'язковою передумовою моделювання. Тому камеральна обробка дослідного матеріалу здійснена з метою аналізу таксаційних показників окремих модельних дерев берези повислої та вибірки в цілому.

Первинні дослідні дані були зібрані під час написання дисертаційної роботи впродовж 2017–2021 рр. Методика збору експериментальних даних передбачала подальшу обробку отриманих даних на персональному комп'ютері (ПК) за допомогою табличного процесора *MS Excel*, програми «ПЕРТА» [99], а також в середовищі *R Core Team* [177] з пакетом надбудов. Матеріали містять дані обміру 369 модельних дерев берези повислої на 26 ПП, закладених у лісових насадженнях Українського Полісся.

Масив даних модельних дерев було перевірено на наявність стовбурів нетипової форми, аналізуючи мінливість відносних діаметрів для відносних висот за методикою Д. Тьюки [9]. Вона ґрунтується на тому, що для відносних висот $0,25h$, $0,5h$, $0,75h$ розраховується інтерквартильний розмах відносних діаметрів. Типові спостереження повинні потрапити в інтервал, який визначено рівнянням (3.1), решта – вважаються викидами:

$$Q_1 - 1,5 \cdot IQR \div Q_3 + 1,5 \cdot IQR, \quad (3.1)$$

де $IQR = Q_3 - Q_1$ – інтерквартильний розмах.

У зібраному дослідному матеріалі таких стовбурів виявилося чотири (приклад на рис. 3.2). Їх було виключено з масиву дослідних даних. Відповідно для подальшої обробки сформовано масив даних із 365 МД.

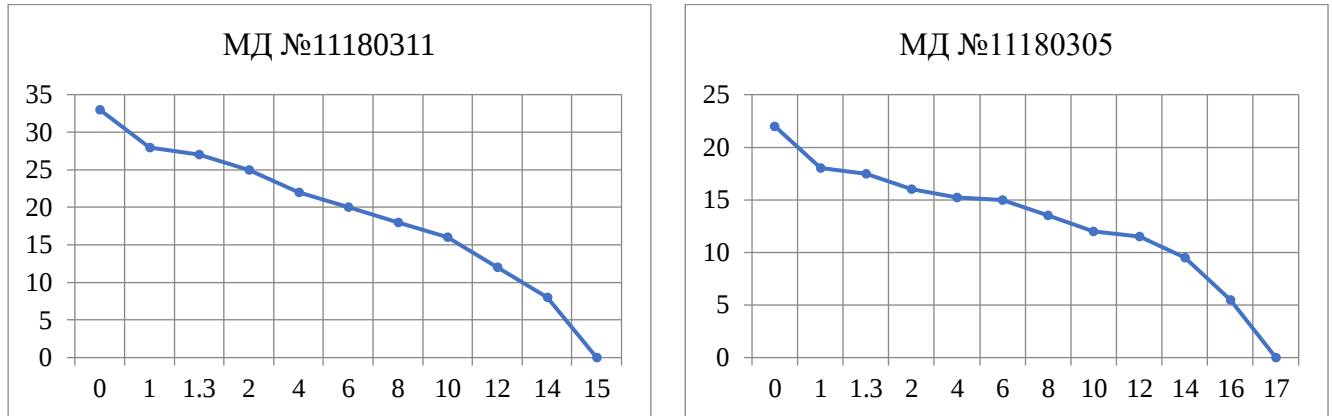


Рис. 3.1. Приклади стовбурів з нетиповою для берези формою стовбурів

Для масиву МД обчислено ключові описові статистики (табл. 3.1) за наступними формулами:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad (3.2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}}; \quad (3.3)$$

$$m_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \quad (3.4)$$

$$v = \frac{\sigma}{\bar{X}} \cdot 100; \quad (3.5)$$

$$As = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^3}{\sigma^3 \cdot n}; \quad (3.6)$$

$$Es = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^4}{\sigma^4 \cdot n} - 3. \quad (3.7)$$

де $\bar{X}$ – середнє арифметичне значення, n – кількість спостережень, σ – середня квадратична помилка, m_x – систематична помилка, v – коефіцієнт варіації, As – коефіцієнт асиметрії, Es – коефіцієнт ексцесу.

Таблиця 3.1

Статистичні оцінки таксаційних показників модельних дерев

Статистика	Таксаційний показник						
	$d_{1,3}$, см	h , м	f_n	q_1	q_2	q_3	$V_{ук}$, м ³
min	8,2	12,5	0,411	0,641	0,365	0,224	0,036
max	52,7	29,6	0,667	0,958	0,797	0,672	2,522
$\bar{X}$	27,0	23,7	0,532	0,802	0,630	0,351	0,619
σ	6,9	3,2	0,049	0,056	0,071	0,101	0,332
$m_{\bar{X}}$	0,361	0,167	0,003	0,003	0,004	0,005	0,017
v	25,6	13,5	9,2	7,0	11,3	28,8	53,6
As	0,412	-0,799	-0,158	0,303	-0,531	0,596	1,841
Es	1,204	1,268	0,062	0,522	0,857	0,754	6,811

За даними табл. 3.1, розподіл дослідного матеріалу за діаметром та висотою охоплює широкий діапазон. Виявлені найбільші значення варіації коефіцієнта форми q_3 вказують на значну мінливість форми у верхній частині стовбурів.

Перевірка гіпотези щодо різниці форми стовбурів за різних значень діаметра на висоті 1,3 м здійснено на основі групування та усереднення значень коефіцієнтів форми модельних дерев берези повислої за групами діаметрів (рис. 3.3).

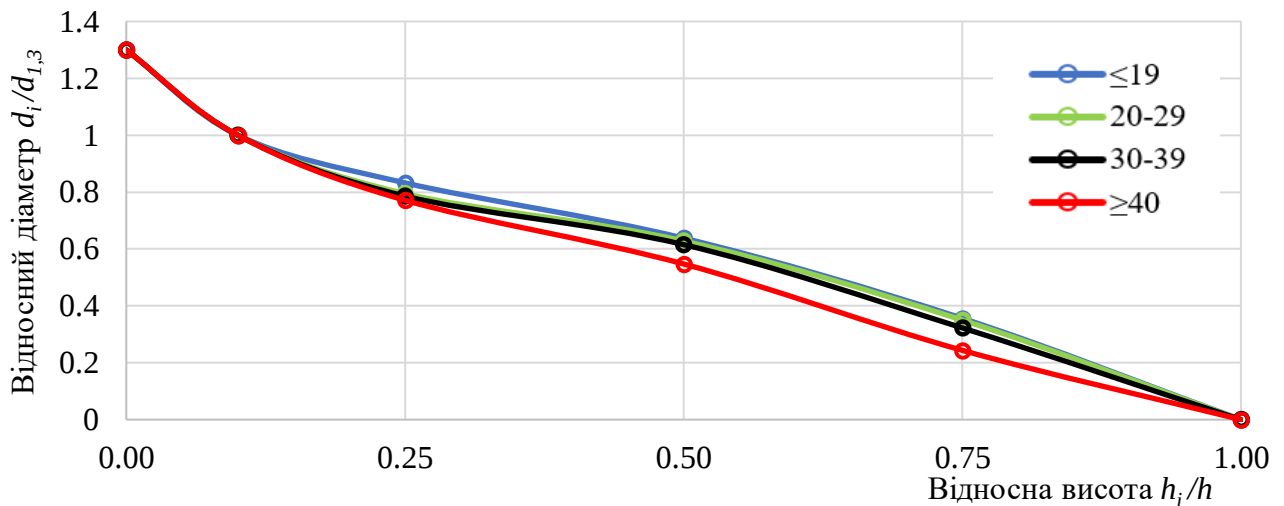


Рис. 3.2. Форма стовбурів берези повислої за різними групами діаметрів

Відповідно до графічного аналізу середньої форми стовбурів берези повислої різних груп діаметрів встановлено, що вище $0,25h$ твірна стовбурів різних діаметрів має певні особливості, які можуть вплинути на точність визначення об'єму стовбурів загалом, а також його частин.

Обчислені фактичні та критичні значення t -критерію за рівня значущості $\alpha = 0,05$ попарно порівнювали для різних груп діаметрів (табл. 3.2). Для більшості попарних комбінацій фактичні значення t -критерію виявилися більшими за його критичні значення, що свідчить про відмінності в формі стовбурів. Лише в окремих випадках спостерігали обернене співвідношення, однак це не змінює висновку про відмінність форми стовбурів дерев для різних груп діаметрів.

Таблиця 3.2

Значення t -критерію для коефіцієнтів форми за групами діаметрів

Група діаметрів 1	Група діаметрів 2	q_1		q_2		q_3		f	
		$t_{\text{факт.}}$	$t_{\text{крит.}}$	$t_{\text{факт.}}$	$t_{\text{крит.}}$	$t_{\text{факт.}}$	$t_{\text{крит.}}$	$t_{\text{факт.}}$	$t_{\text{крит.}}$
≤ 19 см	20–29 см	5,66	1,97	1,37	1,97	0,78	1,97	7,66	1,97
≤ 19 см	30–39 см	5,03	1,97	2,25	1,97	3,06	1,97	7,09	1,97
≤ 19 см	> 40 см	2,63	1,98	3,68	1,98	4,14	1,98	3,45	1,98
20–29 см	30–39 см	0,94	1,97	1,23	1,97	2,36	1,97	3,64	1,97
20–29 см	≥ 40 см	0,93	1,98	2,92	1,98	3,42	1,98	3,12	1,98
30–39 см	≥ 40 см	0,54	2,00	2,05	2,00	2,32	2,00	2,09	2,00

Для встановлення розмірно-якісної структури стовбурів дерев берези повислої в дисертаційній роботі використано програму «ПЕРТА», розроблену науковцями НУБіП України. Зважаючи на те, що це програма має вузьку область використання, наводимо короткий алгоритм основних принципів її роботи [99].

Перевагою програми є використання методу зональної апроксимації для побудови твірної деревного стовбура на основі рівняння:

$$y = a_0 + a_1 \cdot e^{a_2 \cdot x}, \quad (3.8)$$

де y – діаметр стовбура, см; x – відстань від пня, см; a_0, a_1, a_2 – параметри рівняння.

Для визначення параметрів рівняння (3.8) за трьома послідовно розміщеними точками використовували результати обміру діаметрів на нульовому (окореновому) зрізі та серединах секцій встановленої довжини.

Об'єм стовбура знаходили за сумою об'ємів окремих зон із різними значеннями параметрів a_0, a_1, a_2 . При цьому об'єм (V_i) кожної зони довжиною $l^{(i)}$ знаходили за формулою Сімпсона:

$$V_i = 7.854 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{l_i}{6} \cdot (d_n^2 + 4 \cdot d_c^2 + d_v^2), \quad (3.9)$$

де l_i – довжина i -го відрізка стовбура; d_n, d_c, d_v – відповідно нижній, серединний та верхній діаметри i -го відрізка.

Визначення розмірно-якісної структури стовбурової деревини в програмі ПЕРТА відбувається за таким алгоритмом.

1. Спочатку за рівнянням (3.8) програма встановлює висоти (h_k), на яких діаметри стовбура без кори дорівнюють 25, 18 і 13,5 см (точки зміни класу крупності).

2. Алгоритм визначає нижню (l_n) та верхню (l_g) межі ділових частин стовбура, які належать до одного сорту (класу якості) та однакового класу крупності. Далі, за допомогою рівняння (3.9) обчислюються їхні об'єми. При цьому програма враховує мінімальну довжину відрізка стовбура, який придатний для господарського використання.

3. Загальний об'єм ділової та дров'яної деревини визначається як суму об'ємів відповідних зон, групуючи ділову деревину за категоріями крупності.

4. Об'єм відходів обчислюється за різницею об'ємів стовбура в корі, ділової та дров'яної деревини.

3.3. Загальна характеристика експериментального матеріалу

Весь обсяг дослідних даних (365 МД) використовувався для дослідження *форми* стовбурів берези повислої. Відповідно до отриманих даних, кожен ступінь товщини представлений деревами різної висоти, а основна їхня кількість (308 шт.) знаходиться в діапазоні 16–36 см за діаметром та в діапазоні 18–27 м за висотою. Розподіл модельних дерев охоплює I–V розряди висот чинних сортиментних таблиць [67] (табл. 3.3), що робить його придатним для розроблення нормативів об'єму та розмірно-якісної структури деревини стовбурів берези повислої.

Таблиця 3.3

Розподіл кількості модельних дерев берези повислої за ступенями товщини та висотою

Діаметр, см	Висота, м																			Разом
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
8	3	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4
12	2	—	—	—	—	—	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7
16	—	—	—	—	2	4	2	2	3	—	2	—	2	—	—	—	—	—	—	17
20	—	—	—	—	2	2	4	2	4	3	7	8	8	1	—	—	—	—	—	41
24	—	—	2	2	—	2	8	—	23	25	2	7	13	6	2	2	—	—	—	94
28	—	—	—	—	—	—	1	3	3	4	16	8	22	14	12	1	2	2	—	88
32	—	—	—	—	—	—	—	1	3	5	5	4	8	5	2	6	1	1	—	41
36	—	—	—	—	—	—	—	—	3	3	4	8	6	1	7	5	6	—	—	43
40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	2	—	2	1	—	6
44	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	2	—	1	—	—	2	2	1	—	9
48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	5	2	—	—	1	9
52	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	1	1	4
56	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		1	—	1	2
Разом	5	1	2	2	4	8	20	9	39	40	38	36	61	27	30	20	14	6	3	365

Під час дослідження *розмірно-якісної структури* об'єму стовбурів берези повислої використано результати розкрязування 227 модельних дерев. Загальний розподіл модельних дерев берези повислої за діаметром та висотою наведено в табл. 3.4. Детальна характеристика МД наведена в додатку А (табл. А.3). Класифікацію отриманих лісоматеріалів за якістю проводили на основі таких стандартів:

– лісоматеріали круглі довжиною 1,0 м і більше класів якості А, В, С – відповідно до ТУУ 16.1–00994207–002:2018 «Лісоматеріали круглі листяних порід. Класифікація за якістю» [120];

– деревина дров'яна промислового та непромислового призначення довжиною від 0,25 м і більше – відповідно до ТУУ 16.1–00994207–005: 2018 «Деревина дров'яна. Класифікація, облік, технічні вимоги» [121].

Таблиця 3.4

Розподіл кількості модельних дерев берези повислої за діаметром і висотою

Діаметр, см	Висота, м													Разом
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
20	–	–	2	–	6	1	1	1	–	–	–	–	–	11
24	2	–	13	2	2	7	9	6	2	2	–	–	–	45
28	1	3	3	4	16	2	10	11	3	–	2	2	–	57
32	–	1	3	5	5	4	8	5	2	6	1	1	–	41
36	–	–	3	3	4	8	6	1	7	5	6	–	–	43
40	–	–	–	–	–	1	–	–	2	–	2	1	–	6
44	–	1	–	–	2	–	1	–	–	2	2	1	–	9
48	–	–	–	–	–	–	1	–	5	2	–	–	1	9
52	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	–	1	1	4
56	–	–	–	–	–	–	–	–	–		1	–	1	2
Разом	3	5	24	14	35	23	36	24	21	19	14	6	3	227

На відміну від скасованого ГОСТ 9462–88 [29] нові технічні умови регламентують інші способи для оцінки якості деревини. Раніше ділова деревина заготовлювалася переважно з ростучих (живих) дерев. Сухостійні дерева прийнято було відносити до дров'яних. З дров'яних дерев заготовляли

деревину для технологічних потреб (техсировину) та дрова для опалення. Згідно з ТУУ 16.1–00994207–002:2018 [120] сухостійна деревина без ознак вад або з вадами в межах норм сортування може бути класифікована як ділова. Така сухостійна деревина берези може бути класифікованою як круглий лісоматеріал класу С. Відповідно, частка виходу ділової деревини берези буде зростати та перевищувати аналогічні табличні показники [67]. За таких умов постає нагальна потреба коригування розмірно-якісних таблиць для березових деревостанів. Під час відведення деревостанів в рубку потрібно визначати, яка частка сухостійної деревини буде належати до ділової. Слід зазначити, що сухостійні дерева берези швидко втрачають технічну якість деревини, особливо впродовж вегетаційного періоду. За попередніми даними встановлено, що у стиглих березових деревостанах частка сухостійних дерев, які можуть належати до ділових, становить 3–5 % від їхньої кількості [35].

У класифікації круглих лісоматеріалів за якістю встановлено декілька певних розбіжностей між вимогами нормативу та прийнятих технічних умов. Мінімальний серединний діаметр (без кори) за технічних умов становить 15 см, що є більшим, порівняно з попередніми нормативами (наприклад, лісоматеріали для будівництва – діаметр у верхньому відрізі становив 8 см). Вимоги норм сортування для круглих лісоматеріалів берези щодо типів, кількості та розмірів сучків є помітно різними для гатунків та класів якості. У найбільш якісних круглих лісоматеріалів класу А гнилизна не дозволяється, тоді як у сортиментах першого гатунку дозволялась у розмірі від $\frac{1}{10}$ до $\frac{1}{4}$ діаметра відповідного торця з виходом лише на один торець. У круглих лісоматеріалах берези класу якості А тріщини не дозволяються за винятком метилових у центральній частині до $\frac{1}{5}$ середнього діаметра, а у лісоматеріалах першого гатунку, допускались обмеження глибини або ті, що вміщаються у вирізку певного розміру від діаметра торця. Для круглих лісоматеріалів певних класів якості додані норми сортування щодо овальності перерізу стовбура, зміщення серцевини, наявності шпильок та водяних пагонів. У технічних

умовах норми сортування для деревини берези є більш уніфіковані, ніж у попередньому нормативі [35].

З дров'яної деревини берези раніше заготовляли технологічну (35 %), екстрактову (35 %) сировини та дрова для опалення (30 %) [122]. За новими технічними умовами ТУУ 16.1–00994207–005: 2018 [121] дров'яна деревина поділяється на деревину дров'яну промислового та непромислового використання. До дров'яної деревини буде належати сортимент, що має серединний діаметр (без кори), менший 15,0 см.

Дров'яна деревина промислового використання представлена у вигляді колод, очищена від сучків для виробництва електричної та теплової енергії, трісок, стружок, піролізу тощо завдовжки 2,0–4,0 м, товщиною від 5 см і більше. Березові деревостани Полісся мають високий потенціал для енергетичного використання [71].

Дров'яна деревина для непромислового використання (як паливо) має бути завдовжки від 0,25 до 1,9 м, товщиною від 2 см і більше. Візуальні характеристики і ознаки дров'яної деревини допускаються за умов збереження її цілісності. Кількість дров'яної деревини, що містить гнилизни, не має перевищувати 40 % від обсягу партії постачання.

Загальна характеристика модельних дерев наведена в додатку А.

Висновки до розділу 3

1. У дисертаційній роботі використано достатній за обсягом первинний дослідний матеріал, зібраний за сучасними методиками, що дозволяють врахувати вимоги чинних стандартів щодо класифікації деревини за розмірами та якістю.

2. Зібраний дослідний матеріал охоплює значний діапазон діаметрів і висот, характеризує березові деревостани в різних частинах Українського Полісся, що забезпечує його репрезентативність.

3. Під час первинної обробки дослідних даних виявлено суттєву мінливість форми стовбурів залежно від діаметра дерев. Значні відмінності в формі стовбурів проявляються, починаючи з 20 % їхньої висоти. Виявлену особливість потрібно враховувати задля підвищення точності визначення об'єму стовбурів.

4. Чинні сортиментні таблиці розроблено за вимогами до лісоматеріалів, які скасовані після 2019 року, хоча в дисертації виявлено суттєві відмінності в класифікації деревини берези повислої за розмірами та якістю. Цей факт впливає на точність моделей розмірно-якісної структури об'єму стовбурів берези повислої та підтверджує актуальність проведеного дослідження.

Матеріали розділу опубліковані в наукових працях [9, 35].

РОЗДІЛ 4

МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМИ, ОБ'ЄМУ ТА РОЗМІРНО-ЯКІСНОЇ СТРУКТУРИ СТОВБУРІВ ДЕРЕВ БЕРЕЗИ ПОВИСЛОЇ

4.1. Математичні моделі збігу стовбурів берези повислої

Виконаний аналіз наукових публікацій свідчить, що останнім часом все більше уваги приділяється дослідженню форми поздовжніх перерізів деревних стовбурів, яка описується за допомогою моделі твірної. При цьому коефіцієнти та класи форми, видові числа залишаються важливими показниками, які забезпечують загальне уявлення про збіг і повнодеревність стовбурів дерев. Крім того вони можуть застосовуватися задля узгодження результатів моделювання збігу стовбурів за рівняннями твірної з чинними нормативами [169].

Аналіз історичних аспектів розвитку підходів щодо моделювання об'єму стовбурів дерев свідчить, що ефективне застосування моделей твірної для вирішення наукових і практичних завдань було неможливим через недостатній розвиток обчислювальної техніки та спеціалізованих програм для моделювання. Нині ці перешкоди усунені, а доступні програмні засоби відкривають широкі можливості для застосування складних математичних моделей у лісовій таксації. Отже, підтримуючи думку, що сучасні технології дають змогу вченим застосовувати складні розрахунки та використовувати багатофакторні моделі для відображення зв'язків між таксаційними показниками [2], в дисертації зроблено акцент на дослідження форми стовбурів за допомогою сучасних моделей твірної стовбурів.

Аналіз методичної основи моделювання збігу стовбурів вказує, що найбільш вагомі результати були одержані закордонними вченими. У зв'язку з цим для пошуку оптимального рівняння збігу стовбурів берези повислої

апробовано кілька математичних моделей (див. табл. 1.1), параметри яких наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Параметри математичних моделей твірних стовбурів берези

Параметр	Значення параметрів рівнянь за групами діаметрів			
	≤ 19 см	20–29 см	30–39 см	≥ 40 см
А. Kozak (2004); рівняння (1.19)				
a_0	1,056	0,9709	1,375	0,4240
a_1	0,9638	0,9425	0,8744	1,257
a_2	0,0185	0,0651	0,0346	–0,0445
b_1	0,3693	0,511	0,8416	0,7916
b_2	0,3741	–0,4452	–1,077	–1,073
b_3	0,2858	0,4883	0,5253	0,2276
b_4	–0,5944	2,330	5,719	15,97
b_5	0,0113	0,0143	0,0051	0,0004
b_6	0,0633	–0,0260	0,1005	0,1773
А. Kozak (1988); рівняння (1.20)				
a_0	1,427	0,0272	0,0272	0,0081
a_1	0,8018	2,631	2,631	2,571
a_2	1,007	0,9322	0,9322	0,9711
b_1	–0,1303	–0,0016	–0,0015	0,4106
b_2	–0,1380	–0,0376	–0,0376	0,0371
b_3	0,1228	–1,219	–1,219	–2,072
b_4	0,2964	0,7056	0,7056	0,8551
b_5	–0,1749	0,1089	0,1089	0,2612
J. Leban (2003); рівняння (1.21)				
a_0	0,6856	0,7716	0,9738	1,005
a_1	0,1103	–0,5124	–0,9562	–1,102
a_2	1,230	0,7069	0,5661	0,4857
b_1	–52,23	–28,12	–26,43	–22,57
b_2	0,4667	0,5236	0,5368	0,5372
R. Newnham (1992); рівняння (1.22)				
a_0	0,713	0,7935	1,012	1,068
a_1	–0,0479	0,1470	0,4762	0,5863
a_2	3,829	5,1911	5,493	5,113
b_1	–12,43	–11,57	–10,44	–8,901
W. K. Lee et al. (2006); рівняння (1.23)				
a_0	1,088	1,060	0,9348	1,270
a_1	1,008	0,9413	1,015	1,019
a_2	–0,8955	–0,8238	5,454	8,887
b_1	1,577	1,692	6,201	–8,099

Нині існує багато програм, в яких реалізовано алгоритми підбору коефіцієнтів для показниково-степеневих рівнянь, якими є наведені рівняння твірної стовбурів. Однією з сучасних і повністю безкоштовних є *R* – середовище та мова програмування для статистичних розрахунків, аналізу й візуалізації даних. У зв'язку з цим підбір параметрів (табл. 4.1) для моделей збігу стовбурів берези повислої виконано в середовищі *R* за допомогою алгоритму нелінійного регресійного аналізу *nls*.

Апроксимацію дослідних даних про збіг стовбурів за допомогою моделей твірної виконано для чотирьох груп діаметрів стовбурів. При цьому підгонку математичної моделі виконано для ростучого дерева, тобто враховуючи висоту пня, який залишається невикористаним після зрізування дерева. Такий підхід забезпечує розробку універсальної моделі збігу, яку можна використовувати як для обчислення об'єму стовбурів дерев, які ростуть, так і об'єму зрубаних дерев або їхніх частин. Подібна практика широко застосовується в дослідженні форми стовбурів [7, 76, 169]. З практичної точки зору вона також має сенс, оскільки дає змогу спрогнозувати запас деревостану на корені.

Перевірка точності моделей, тобто визначення ступеня узгодженості змодельованого збігу стовбурів із даними обміру модельних дерев, виконана за такими оцінками [161, 162]:

– систематична похибка (англ. *MBE* – *Mean Bias Error*):

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i); \quad (4.1)$$

– систематична відносна похибка (англ. *MPE* – *Mean Percentage Error*):

$$MPE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\hat{y}_i - y_i}{y_i} \cdot 100\%; \quad (4.2)$$

– абсолютна похибка (англ. *MAE* – *Mean Absolute Error*):

$$MAE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i|; \quad (4.3)$$

– середня квадратична похибка (англ. *RMSE* – *Root Mean Square Error*):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n-k-1}}; \quad (4.4)$$

– коефіцієнт детермінації:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (4.5)$$

де y_i – фактичний діаметр, см; $\hat{y}_i$ – змодельований діаметр, см; $\bar{y}$ – середнє арифметичне значення діаметра за даними фактичних замірів, см; n – кількість спостережень; k – кількість факторів у математичній моделі (для використаних моделей твірної $k = 3$: діаметр на висоті 1,3 м, висота стовбура, висота i -ої відмітки. де виконувалися заміри стовбура).

Результати обчислень наведено в табл. 4.3, аналіз яких свідчить, що систематична похибка для усіх моделей наближається до нуля, а її величина значно менша похибки вимірювання діаметра (1 мм).

Систематична відносна (*MPE*), абсолютна (*MAB*) та середня квадратична (*RMSE*) похибки моделювання менші для моделей А. Kozak (2004) і А. Kozak (1988), але загалом відмінності з іншими моделями є незначними. Також виявлено досить близькі значення коефіцієнта детермінації, який для усіх використаних моделей наближується до одиниці. Загалом, усі використані моделі успішно описують збіг стовбурів від окоренка до верхівки.

Таблиця 4.2

Точність математичних моделей твірної стовбурів берези повислої

Статистики	Значення статистик за рівнянням та групою діаметрів				
	A. Kozak (2004)	A. Kozak (1988)	J. Leban (2003)	R. Newnham (1992)	W. K. Lee et al. (2006)
≤ 19 см					
<i>MBE</i> , см	0,03	0,05	0,01	0,00	0,05
<i>MPE</i> , %	1,11	1,39	0,91	0,99	1,51
<i>MAE</i> , см	0,98	1,02	0,94	0,93	2,16
<i>RMSE</i> , см	1,46	1,51	1,43	1,39	3,18
R^2	0,985	0,962	0,986	0,967	0,977
20–29 см					
<i>MBE</i> , см	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01
<i>MPE</i> , %	1,79	1,01	0,91	0,99	0,00
<i>MAE</i> , см	1,44	1,39	0,94	0,93	1,01
<i>RMSE</i> , см	2,10	2,05	1,43	1,39	1,39
R^2	0,963	0,984	0,986	0,967	0,954
30–39 см					
<i>MBE</i> , см	0,01	0,02	0,00	-0,04	0,01
<i>MPE</i> , %	1,51	1,79	1,01	1,19	1,51
<i>MAE</i> , см	1,40	1,44	1,39	1,37	1,4
<i>RMSE</i> , см	2,06	2,10	2,05	2,01	2,06
R^2	0,984	0,963	0,984	0,965	0,984
≥ 40 см					
<i>MBE</i> , см	0,05	0,01	0,02	0,05	0,05
<i>MPE</i> , %	1,51	1,69	1,01	0,89	1,51
<i>MAE</i> , см	2,16	2,17	2,14	2,14	2,16
<i>RMSE</i> , см	3,18	3,18	3,20	3,20	3,18
R^2	0,977	0,957	0,977	0,957	0,977

Аналіз залишків моделей (рис. 4.1) є основним етапом перевірки обраних рівнянь твірної на адекватність. Відомо, що для адекватних моделей залишки мають відповідати таким вимогам [79]:

- величини залишків не повинні залежати від змінних;
- відсутність автокореляції залишків;
- наближений до нормального розподіл залишків.

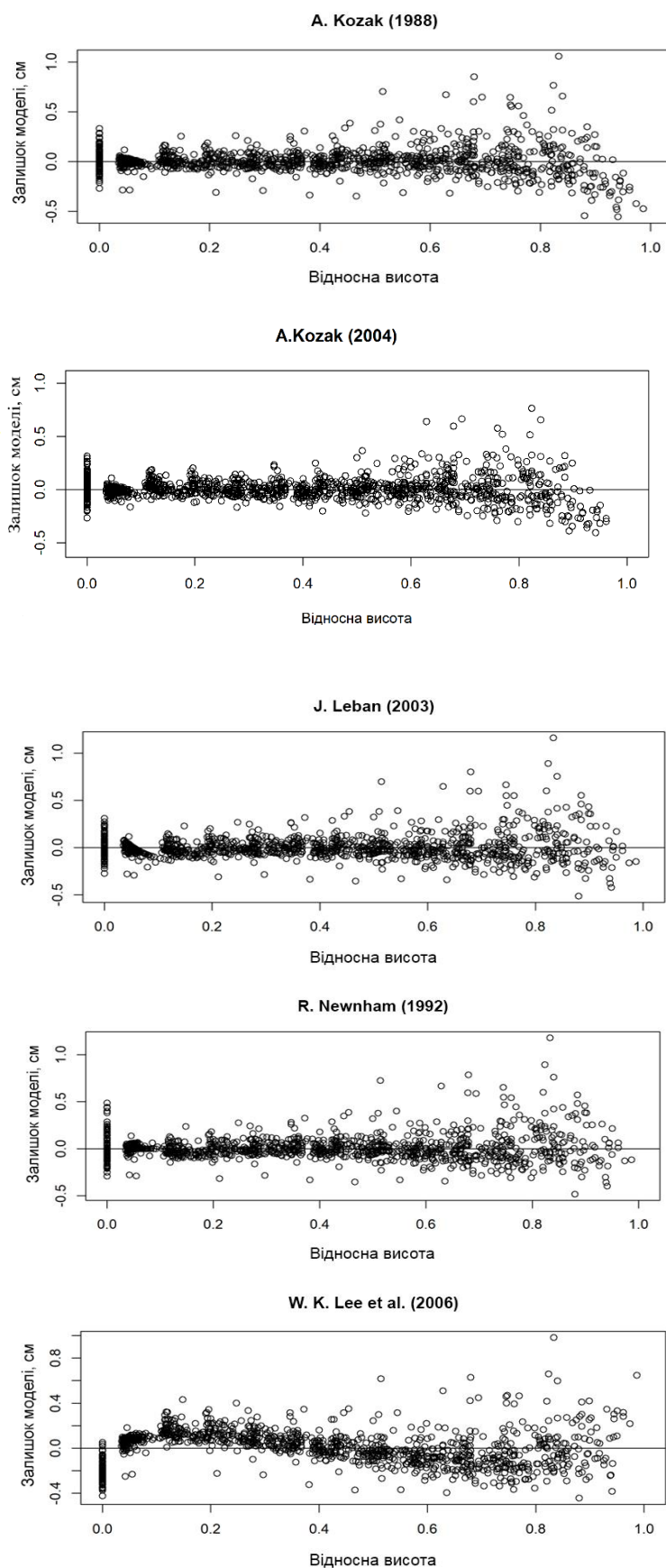


Рис. 4.1. Розподіл залишків математичних моделей збігу стовбурів берези повислої

Під час моделювання збігу стовбурів часто виникає автокореляція залишків. Якщо ігнорувати проблемою автокореляції, висновки про точність моделі можуть виявитися хибними. Перевірити присутність чи відсутність автокореляції для використаних моделей можна за допомогою d -критерію Дарбіна-Уотсона [31]. Він дає змогу виявити автокореляцію залишків моделі, що особливо актуально для прогнозування збігу стовбурів, оскільки діаметри мають тенденцію до зменшення в напрямку верхівки. Критерій обчислюється за формулою (4.6):

$$d = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2}, \quad (4.6)$$

де n – кількість спостережень; e_i – відхилення фактичного та спрогнозованого значення діаметра в i -ій точці стовбура.

Статистичний критерій автокореляції Дарбіна-Уотсона змінюється в діапазоні від 0 до 4. За умови позитивної автокореляції залишків критерій наближується до нуля ($d = 1$), для від'ємної автокореляції він набуває значення $d = 4$ і, у випадку відсутності автокореляції $d = 2$. Гіпотеза про відсутність автокореляції перевіряється на основі критичних значень d_L та d_U , які на рівні значущості α залежать від кількості спостережень n , кількості незалежних змінних k у математичній моделі. Критичні значення поділяють числовий діапазон $[0; 4]$ на п'ять інтервалів. Якщо обчислене значення критерію Дарбіна-Уотсона потрапляє в один із інтервалів $[0, d_L]$ або $[4 - d_L, 4]$ гіпотеза про відсутність автокореляції спростовується.

Задля перевірки гіпотези про відсутність автокореляції залишків у нижній частині стовбурів модельних дерев (від 0 до $0,5h$), обчислено групові середні значення залишків для інтервалів висот завдовжки $0,01h$. Далі за формулою (4.6) обчислено фактичні значення d , критичні значення d_L та d_U для рівня значущості $\alpha = 0,05$ встановлено за таблицями відповідними [31]. Інтервали , в

які потрапили обчислені значення критерію Дарбіна-Уотсона, переважно вказують на відсутність автокореляції залишків (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

**Результати тесту Дарбіна-Уотсона на наявність автокореляції залишків
математичних моделей твірної стовбурів**

Модель	Номер рівнян- ня	Критичні та фактичні значення критерію					
		авто- кореляція додатна	d_L	зона невиз- наченості	d_U	авто- кореляція відсутня	$4-d_U$
≤ 19 см							
A. Kozak (2004)	(1.19)	—	1,252	—	1,498	2,027	2,298
A. Kozak (1988)	(1.20)	—		—		1,974	
J. Leban (2003)	(1.21)	—		—		2,208	
R. Newnham (1992)	(1.22)	—		—		1,698	
W. K. Lee at al. (2006)	(1.23)	—		—		1,569	
20–29 см							
A. Kozak (2004)	(1.19)	—	1,368	—	1,569	2,022	2,280
A. Kozak (1988)	(1.20)	—		—		2,022	
J. Leban (2003)	(1.21)	1,268		—		—	
R. Newnham (1992)	(1.22)	1,232		—		—	
W. K. Lee at al. (2006)	(1.23)	1,007		—		—	
30–39 см							
A. Kozak (2004)	(1.19)	—	1,402	—	1,613	1,866	2,279
A. Kozak (1988)	(1.20)	—		—		1,756	
J. Leban (2003)	(1.21)	1,119		—		—	
R. Newnham (1992)	(1.22)	0,928		—		—	
W. K. Lee at al. (2006)	(1.23)	1,341		—		—	
≥ 40 см							
A. Kozak (2004)	(1.19)	—	1,422	1,402	1,616	—	2,264
A. Kozak (1988)	(1.20)	—		1,323		—	
J. Leban (2003)	(1.21)	1,220		—		—	
R. Newnham (1992)	(1.22)	0,971		—		—	
W. K. Lee at al. (2006)	(1.23)	1,341		—		—	

Для першого відрізка характерною буде додатна автокореляція, другого – від’ємна. Відрізки значень тесту $[d_L; d_U]$ і $[4-d_U; 4-d_L]$ являють собою дві зони невизначеності, в якій не підтверджується жодна з гіпотез. Гіпотеза про відсутність автокореляції підтверджується тільки на відрізку $[d_U; 4-d_U]$.

азначимо, що критерій Дарбіна-Уотсона може використовуватися тільки для великої вибірки.

Аналізуючи дані табл. 4.3, гіпотеза про відсутність автокореляції залишків на 5 % рівні значущості підтверджується для всіх моделей збігу стовбурів групи діаметрів ≤ 20 см, моделей А. Kozak (2004) та А. Kozak (1988) для груп діаметрів 20–28 см і 32–40 см. Значення критерію Дарбіна-Уотсона для рівнянь А. Kozak (2004) та А. Kozak (1988) потрапляє в зону невизначеності для групи діаметрів ≥ 40 см, тому неможливо підтвердити чи спростувати висунуту гіпотезу. Для інших моделей проблема автокореляції залишків більш виражена.

Крім проблеми автокореляції також виявлено, що абсолютна величина залишків від окоренка до вершини збільшується для всіх математичних моделей. Така залежність може бути спричинена природною мінливістю діаметрів у верхній частині стовбура, на яку впливає розвиток крони. Невипадково багато досліджень звертає увагу на необхідність включення показників крони під час моделювання збігу стовбурів [160, 163, 172].

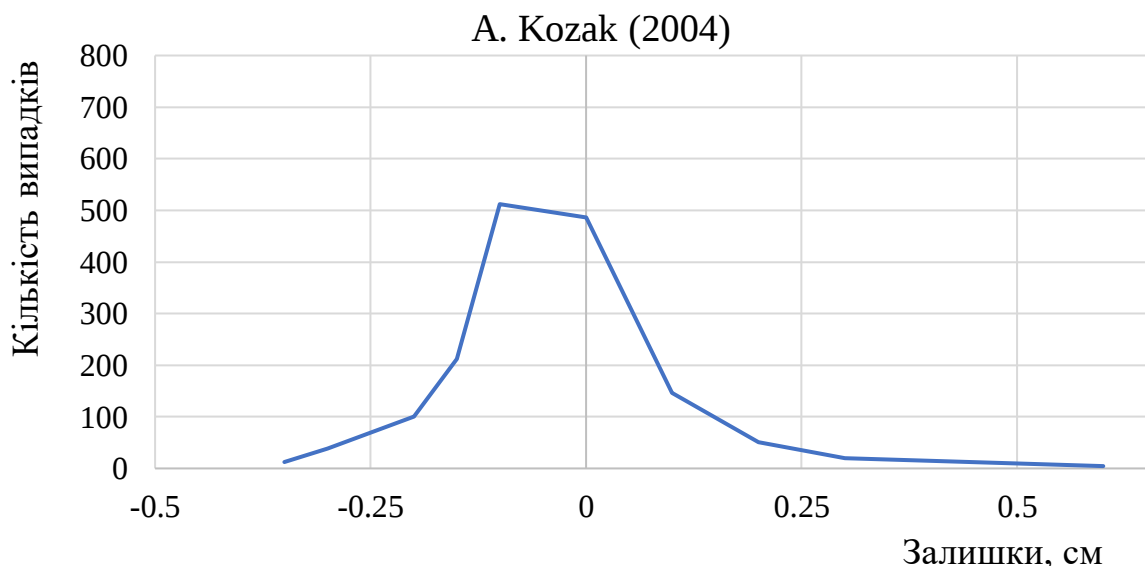


Рис. 4.2. Розподіл залишків математичної моделі твірної стовбурів берези повислої за моделлю твірної (1.19)

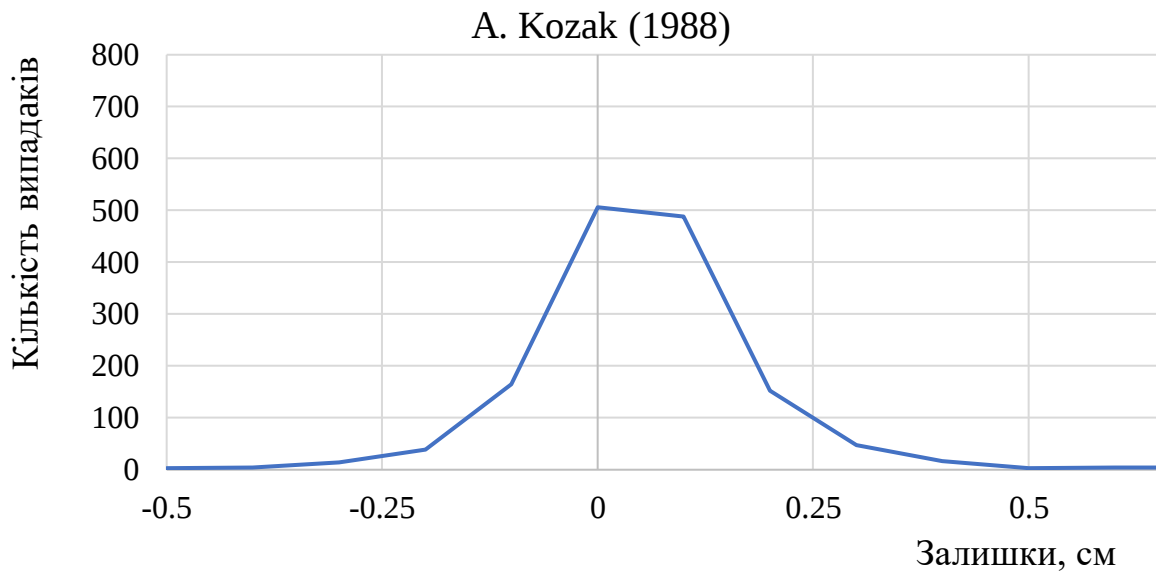


Рис. 4.3. Розподіл залишків математичної моделі твірної стовбурів берези повислої за моделлю твірної (1.20)

На рис. 4.2 і рис. 4.3 наведено розподіл залишків для моделей А. Kozak (2004) та А. Kozak (1988). Рисунки свідчать, що залишки розподілені рівномірно, додатні значення компенсують від'ємні. Існують підстави стверджувати, що розподіл відхилень близький до нормального. Це підтверджується також значенням систематичної похибки (*MBE*), яка наближається до нуля (див. табл. 4.2).

За комплексом статистичних показників і візуальним аналізом залишків, модель твірної А. Kozak (2004) виявилася найбільш доцільною для подальшого використання. Рівняння характеризується достатньою точністю для всіх груп діаметрів, відсутня систематична та значна випадкова помилка прогнозування збігу деревних стовбурів.

4.2. Математичні моделі об'єму та розмірно-якісної структури стовбурів дерев берези повислої

У розділі 1 зазначалося, що об'єм стовбура за рівнянням твірної може бути обчислено після інтегрування функції. Проте багато рівнянь взагалі не

підлягають інтегруванню. В такому випадку виправданим стане використання секційних формул із досить короткою довжиною секцій. В дисертаційному дослідженні для цього використано складну формулу Ньютона (4.8):

$$V = (g_n + 4g_{0,5} + g_v) \cdot l \cdot 6^{-1}, \quad (4.7)$$

де V – об’єм стовбура; g_n , $g_{0,5}$, g_v – площа поперечного перерізу відрізка (секції) стовбура відповідно в нижній, серединній та верхній частині; l – довжина секції.

Чим менша довжина секції, тим ближчим результат буде до відповідного значення, одержаного за допомогою інтегрування функції твірної. З точки зору точності та витрат часу на розрахунок, об’єм стовбура в дослідженні встановлювався за сумою об’ємів 1000 відрізків однакової довжини.

Особливість обчислень полягала в тому, що математична модель А. Kozak (2004) була опрацьована для ростучого дерева, тоді як об’єм стовбура потрібно знайти для зрубаного дерева. Отже, виникла потреба спрогнозувати висоту пня, на яку потрібно укоротити відповідний стовбур від окоренка. Зазвичай у товстих дерев залишають вищий пеня.

На основі польових спостережень встановлено параметри математичної моделі, яка дає змогу спрогнозувати висоту пня залежно від діаметра стовбура на висоті 1,3 м:

$$h_{\text{пня}} = 9,202 \cdot \exp(0,02030 \cdot d_{1,3}), \quad (4.8)$$

де $h_{\text{пня}}$ – висота пня, см; $d_{1,3}$ – діаметр стовбура на висоті 1,3 м, см.

Для визначення розмірно-якісної структури дослідних даних за новими стандартами передбачалося вирішити такі завдання:

– прогнозування збігу стовбурів берези без кори з метою визначення серединного діаметру та об’єму ділових лісоматеріалів;

- моделювання довжини ділової частини стовбурів модельних дерев для узагальнення особливостей виходу ділової деревини;
- обґрунтування алгоритму умовного розкрязування стовбурів з урахуванням стандартів класифікації круглих лісоматеріалів;
- реалізація у середовищі *R* представленого алгоритму та обчислення на його основі розмірно-якісної структури дослідного матеріалу.

Модель твірної А. Kozak (2004) забезпечує визначення діаметру стовбура в корі ($d_{i\text{ ук}}$) на певній висоті (h_i) залежно від діаметра на висоті 1,3 м та висоти стовбура. Для обчислення відповідного діаметра без кори ($d_{i\text{ бк}}$), що є умовою для визначення об'єму ділових лісоматеріалів, виконано кореляційний аналіз, в якому розглядалися кореляційні зв'язки між основними біометричними показниками дерев, які можуть бути доречними в прогнозуванні діаметрів без кори (табл. 4.4).

Тіснота зв'язку між величинами аналізувалася за допомогою коефіцієнта кореляції Пірсона [79]:

$$r_{yx} = \frac{\sum(x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{X})^2 \sum(y_i - \bar{Y})^2}} \quad (4.9)$$

Таблиця 4.4

Коефіцієнти кореляції між показниками стовбурів берези повислої

Цільовий показник	Предикативна змінна		
	h_i	$h - h_i$	$d_{i\text{ ук}}$
τ_k , см	-0,552	0,703	0,865
$d_{i\text{ бк}}$, см	-0,903	0,811	0,988
$d_{i\text{ бк}}/d_{i\text{ ук}}$	-0,436	0,434	0,558

Примітка: τ_k – товщина кори; $d_{i\text{ ук}}$, $d_{i\text{ бк}}$ – відповідно діаметр у корі та без кори в точці заміру h_i ; h – висота стовбура.

За наведеними даними найтісніший зв'язок спостерігається між діаметром без кори та діаметром у корі (0,988), діаметром без кори та висотою відмітки вимірювання діаметра (-0,903), товщиною кори та діаметром у корі (0,865), діаметром без кори та відстанню до верхівки (0,811). Зазначене створює об'єктивні переваги для моделювання взаємозв'язку товщини кори для висоти заміру діаметра стовбура.

Незважаючи на більшу тісноту зв'язку абсолютних значень товщини кори та діаметра без кори від предикативних змінних, у дослідженні перевагу надано моделюванню відношень діаметра без кори до діаметра в корі стовбура на певній висоті, оскільки для такого підходу відносна помилка моделі буде найменшою. Ще одна перевага подібної математичної залежності полягає в тому, що співвідношення діаметрів в точці $h_i=h$ (тобто на вершині стовбура) становить 0. Це забезпечує коректний перехід від діаметрів у корі до діаметрів без кори на верхівці стовбура, які за будь-якої висоти дорівнюють нулю.

Моделювання співвідношення діаметрів можна виконати, використовуючи достатньо прості математичні залежності, що не спрацьовує у випадку моделі абсолютних значень товщини кори чи діаметра без кори. Для моделювання зазначеного співвідношення використано таке рівняння:

$$\frac{d_{i\text{ бк}}}{d_{i\text{ ук}}} = a_0 \cdot (h - h_i)^{a_1}, \quad (4.10)$$

де $d_{i\text{ бк}}$ – діаметр на i -ій висоті без кори, см; $d_{i\text{ ук}}$ – діаметр на i -ій висоті у корі, см; h – висота стовбура, м; a_0, a_1 – параметри рівняння; h_i – висота відмітки, де визначається $d_{i\text{ бк}}$, м.

Визначивши діаметр у корі, обчислений за рівнянням твірної А. Kozak (2004), за допомогою моделі співвідношення діаметрів (4.10) можна обчислити діаметр без кори:

$$d_{i\text{ бк}} = d_{i\text{ ук}} \cdot (a_0 \cdot (h - h_i)^{a_1}). \quad (4.11)$$

Моделювання закономірностей зміни товщини кори дозволило одержати набір параметрів моделі твірної стовбурів берези без кори (табл. 4.7).

4.2.1. Моделювання протяжності ділової частини стовбурів.

У лісовій таксації прийнято вважати, що відношення протяжності довжини ділової частини ($l_{dil.}$) до загальної висоти стовбура (h) є приблизно однаковим для різних ступенів товщини [2]. На рис. 4.4 наведено графічне відображення зазначеної залежності для стовбурів берези повислої різних категорій технічної придатності.

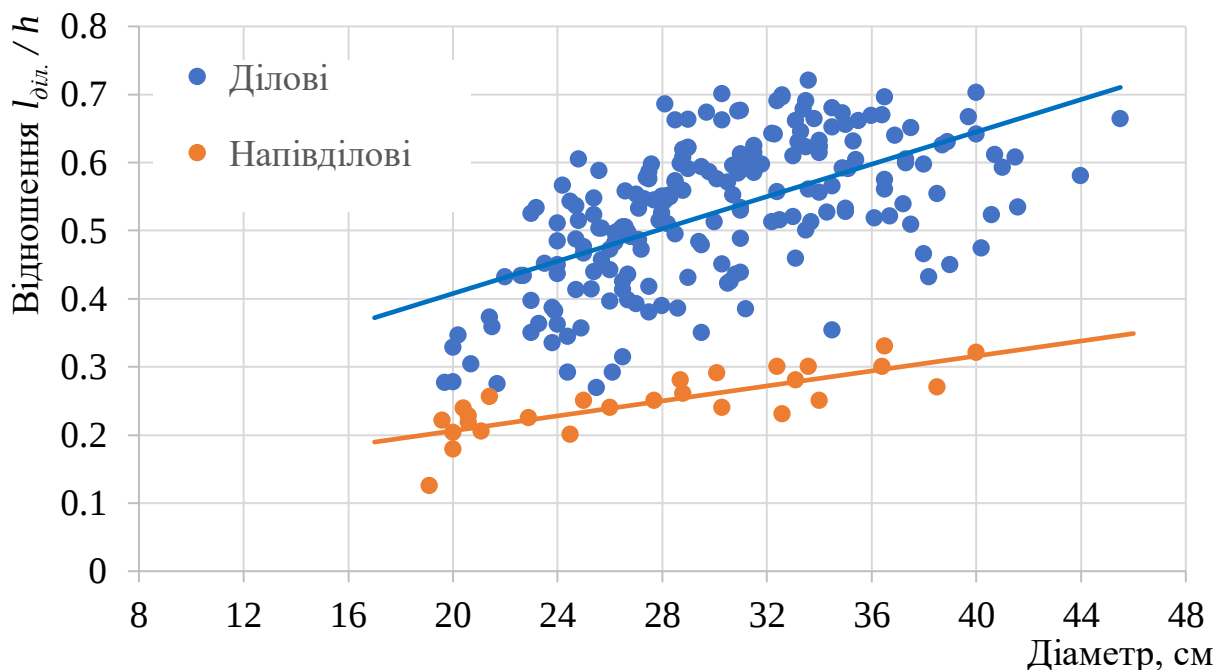


Рис. 4.4. Динаміка протяжності ділової деревини від діаметра стовбурів дерев берези повислої: точками позначено дослідні дані, лініями – лінійний тренд

Коефіцієнти кореляції між абсолютною та відносною протяжностями ділової частини стовбурів з діаметром і висотою дерев також підтверджують виявлений на рис. 4.3 зв'язок (табл. 4.5). Виявлені закономірності створюють належне підґрунтя для побудови відповідних математичних рівнянь прогнозування довжини ділової частини стовбурів для ділових і напівділових дерев берези повислої.

Коефіцієнти кореляції для протяжності ділової частини стовбурів

Показник	Предикативні змінні за категоріями технічної придатності стовбурів			
	ділові стовбури		напівділові стовбури	
	$d_{1,3}$, см	h , м	$d_{1,3}$, см	h , м
$l_{\text{діл.}}, \text{ м}$	0,857	0,786	0,560	0,601
$l_{\text{діл.}}/h$	0,793	0,466	0,527	0,462

У графічному вигляді залежність протяжності ділової частини стовбурів залежно від їхньої висоти для двох досліджуваних категорій технічної придатності дерев відображена на наступних рисунках. При цьому спостерігається нелінійна залежність для ділових стовбурів (рис. 4.5) і практично лінійна залежність для напівділових стовбурів (рис. 4.6).

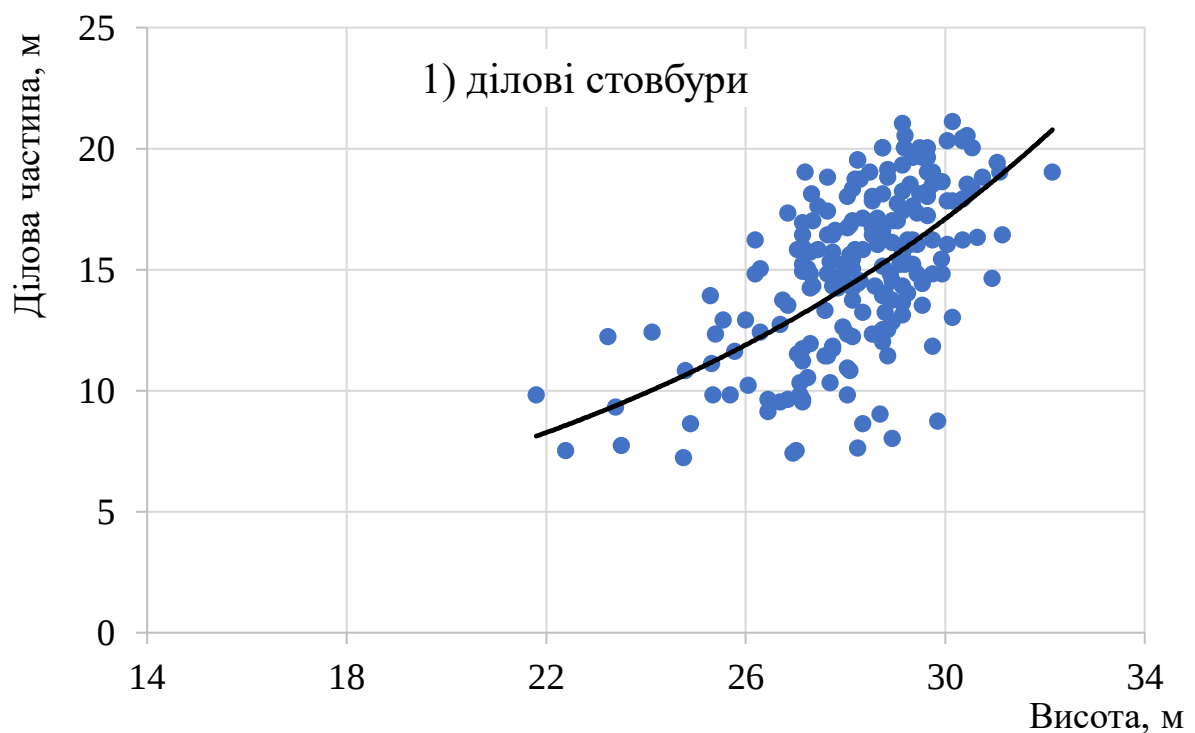


Рис. 4.5. Залежність протяжності ділової частини від висоти ділових стовбурів берези повислої

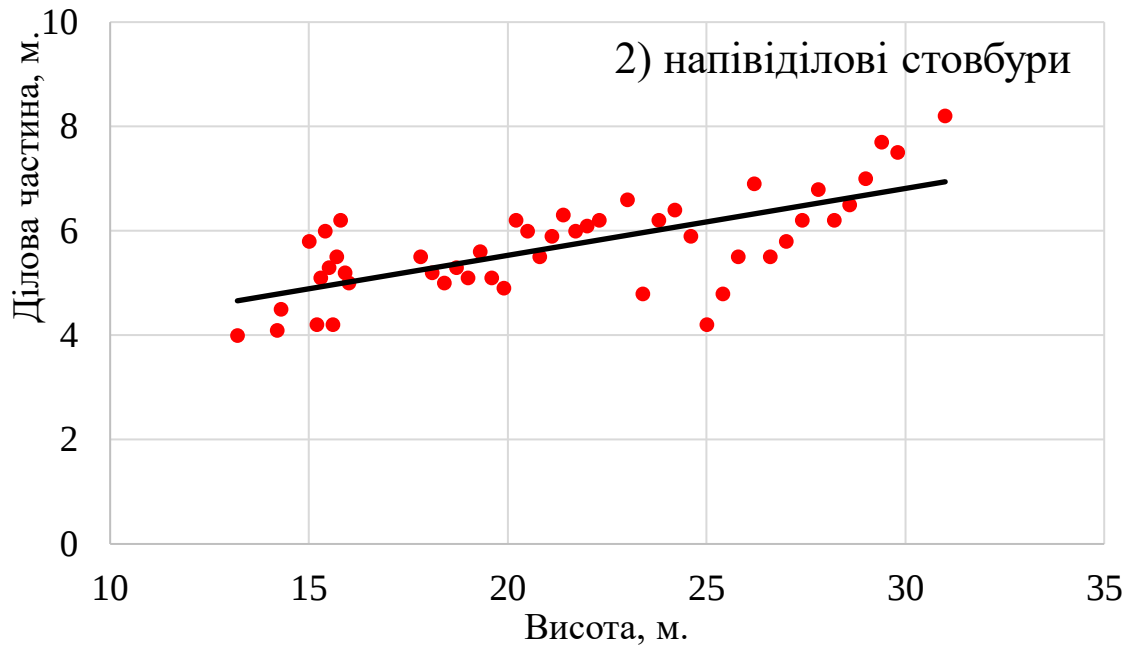


Рис. 4.6. Залежність протяжності ділової частини від висоти напівділових стовбурів берези повислої

Незважаючи на значне розсіювання дослідних даних, на рисунках простежуються досить чіткі тенденції. Для їхнього узагальнення, зокрема підбору коефіцієнтів регресійного рівняння для ділових стовбурів (4.12) та лінійного для напівділових (4.13), використано *MS Excel*. У результаті вдалося одержати прості математичні моделі протяжності ділової частини стовбурів берези повислої:

– ділові стовбури:

$$l_{\text{діл.}} = 1,121^{0,0908 \cdot h} ; \quad (4.12)$$

– напівділові стовбури:

$$l_{\text{напівділ.}} = 0,2589 \cdot h , \quad (4.13)$$

де $l_{\text{діл.}}$ – протяжність ділової частини, м; h – висота стовбура, м.

Наведені рівняння являють собою показникові функції, які монотонно зростають. Вони дозволяють спрогнозувати протяжність ділової частини стовбурів за межами діапазону експериментальних даних. Зокрема, найбільше та найменше значення висоти модельних дерев для ділових стовбурів варіює в діапазоні 22–33 м, для напівділових – 14–30 м. У дисертаційному дослідженні зроблено припущення, що встановлені закономірності зберігаються поза межами діапазону зібраних даних. На основі цього виконано незначну екстраполяцію, яка дозволила розширити область визначення рівнянь від 16 до 33 м. В основі припущення покладено можливість одержання хоча б одного ділового лісоматеріалу завдовжки 1,0 м із серединним діаметром без кори 15 см.

Обчислені показники точності регресійних рівнянь (4.12) та (4.13) за формулами (4.1–4.4), наведені у табл. 4.6. Систематична відносна помилка (*MPE*) рівнянь виявилася досить близькою до нуля та становила 0,8–2,0 %. Також для обох проаналізованих категорій технічної придатності стовбурів одержано статистично значущі коефіцієнти детермінації (R^2) на 5 %-му рівні значущості. Опрацьовані математичні моделі забезпечують прогнозування протяжності ділової частини з середньоквадратичною помилкою 1,4–1,6 м.

Таблиця 4.6

Точності регресійних рівнянь протяжності ділової частини стовбурів

Статистики	Значення статистик для категорій стовбурів	
	ділові	напівділові
<i>MBE</i> , м	–0,08	–0,13
<i>MPE</i> , %	0,8	2,0
<i>MAE</i>], м	1,27	1,04
<i>RMSE</i> , м	1,62	1,41
R^2	0,301	0,452
$R^2_{кр.}$	0,027	0,060

4.2.2. Алгоритм умовного розкряжування стовбурів

Важливим елементом дисертаційного дослідження є обґрунтування алгоритму розкряжування стовбурів, який реалізовано за допомогою відповідних алгоритмів в системі *R*. Загалом він відтворює загальні риси апробованої раніше методики під назвою «алгоритм умовного розкряжування стовбурів» [10]. Цей алгоритм імітує процес розкряжування стовбурів на лісосіці таким чином, щоб забезпечити максимальний вихід найбільш цінних лісоматеріалів. Для цього задається система обмежень (довжина та діаметри колод за класами якості) та реальна протяжність зон різної якості вздовж стовбура, встановлених для модельних дерев на лісосіці. В результаті формується масив даних щодо довжин, діаметрів, класів товщини та якості лісоматеріалів, який може бути використаний для розробки відповідних математичних моделей розмірно-якісної структури деревини.

Подібні ідеї реалізовані в багатьох попередніх дослідженнях О. В. Полякова та М. О. Полякова [91, 92, 93], і практично реалізовані в програмі ПЕРТА [39]. Послідовність розрахунків за алгоритмом полягає в наступному.

1. Підготовка вихідного набору даних. Алгоритм ґрунтується на спрощеній методиці обміру стовбурів модельних дерев на лісосіці. Зокрема, він потребує вимірювання тільки діаметра на висоті 1,3 м і висоти стовбура – дані про збіг у корі та без кори обчислюються за моделлю твірної стовбура. Додатково на зрубаному дереві вимірюється протяжність класів якості А, В, С, дров'яної деревини промислового та непромислового використання.

2. Створення «паспорту» лісоматеріалів. Вимоги стосовно довжини лісоматеріалів та їхнього діаметра для різних класів якості ділової деревини та дров оформлюються в окремому файлі. Тут указуються: мінімальні та максимальні розміри лісоматеріалів за довжиною; крок за довжиною; мінімально допустимі серединні діаметри ділових лісоматеріалів без кори для класів якості А, В, С; мінімальні діаметри в верхньому відрізі в корі для дров. Ці вимоги («паспорти») розміщуються в порядку пріоритетності – від найбільш

цінного (клас якості А ділової деревини) до найнижчого за якістю (дров'яна деревина непромислового використання).

3. Розкрязування стовбура на лісоматеріали. Діаметр і висота стовбура використовуються для побудови твірної стовбура в корі та без кори. Починаючи від відмітки висоти пня, алгоритм аналізує протяжність зон якості та можливість одержати в межах певної зони лісоматеріал відповідного класу якості, що в «паспорті» має найбільший пріоритет. Якщо протяжність зони коротша за встановлену максимальну довжину лісоматеріалу, або серединний діаметр виявився меншим, ніж це передбачено в «паспорті», вимоги до лісоматеріалу понижуються, зокрема зменшується його довжина відповідно до заданого кроку. Цей процес проходить кілька ітерацій і, якщо не вдалося оптимізувати довжину лісоматеріалу, алгоритм переходить до аналізу наступного «паспорту» лісоматеріалу. Після випилювання першої колоди залишок зони долучається до наступної зони, зазвичай нижчої якості. Далі алгоритм використовує ту ж логіку для одержання лісоматеріалів кращої якості для цієї зони. Зазначимо, що відрізки стовбурів, які не відповідають вимогам ділових лісоматеріалів, розрізаються на дров'яні колоди.

4. Обчислення об'єму лісоматеріалів. Об'єм кожної колоди обчислюється за секційною формулою Ньютона (4.7), використовуючи секції протяжністю 1/100 довжини колоди. Для ділових лісоматеріалів вказується клас якості, довжина, серединний діаметр без кори, клас (підклас) товщини, об'єм без кори. Для дров'яних колод зазначається категорія дров промислового чи непромислового призначення, довжина, верхній діаметр та об'єм у корі.

5. Підготовка даних до моделювання. Результати розкрязування стовбурів використовуються для обчислення усереднених показників виходу лісоматеріалів різних класів якості та товщини залежно від діаметра стовбурів. У дисертації використано лише дані щодо класів товщини, оскільки прогнозування виходу лісоматеріалів різних класів якості для окремих дерев позбавлене сенсу.

Задля збільшення найцінніших лісоматеріалів, обмеження за максимальними довжиною та діаметром не використовувалися. Довжина лісоматеріалів була обмежена протяжністю відповідних якісних зон.

Варто також зазначити, що для певних розмірів дерев, що були відсутні в масиві дослідних даних, визначалася протяжність ділової частини стовбурів за розробленими регресійними рівняннями (4.12–4.13). Розподіл протяжності стовбурів виконувався в межах одержаної протяжності ділової деревини. Таким чином вдалося суттєво розширити діапазон мінливості діаметрів стовбурів берези від 16 до 100 см.

4.2.3. Розмірно-якісна структура об'єму стовбурів берези повислої

Під час розроблення більшості нормативів для матеріальної оцінки лісосік, в тому числі чинних, застосовувалася методика, яка передбачає дослідження закономірностей розмірно-якісної структури об'єму стовбурів дерев у відносних показниках. Зазначена методика запропонована К. Є. Нікітіним та А. З. Швиденком і тривалий час використовувалася науковцями кафедри таксації лісу та лісового менеджменту НУБіП України. Відповідно до цієї методики, розподіл об'єму стовбурів на ділову деревину, дрова, відходи, а також розподіл об'єму ділової деревини на грубу, середню та дрібну визначається в відсотковому співвідношенні від об'єму стовбура в корі. Відносні значення мають меншу мінливість порівняно з абсолютними, що значно спрощує пошук адекватних регресійних рівнянь. Залежність виходу категорій деревини прийнято розглядати залежно від діаметра стовбурів за розрядами висот.

Задля обґрунтування можливості моделювання показників розмірно-якісної структури деревини використано кореляційний аналіз. При цьому проаналізовано залежність виходу ділової деревини в абсолютних і відносних показниках залежно від діаметра, висоти та об'єму стовбурів у корі (табл. 4.7). Найбільш тісно з біометричними показниками корелює абсолютне значення

об'єму ділової деревини. При цьому спостерігається суттєво більший зв'язок цього показника з діаметром стовбура, ніж з висотою. Закономірним виявився зв'язок об'єму ділової деревини з об'ємом стовбура в корі.

Таблиця 4.7

**Залежність виходу ділової деревини від біометричних
показників стовбурів**

Біометричний показник	Коефіцієнт кореляції об'єму ділової деревини			
	ділові стовбури		напівділові стовбури	
	$V_{дiл.}, м^3$	$P_{дiл.}, \%$	$V_{дiл.}, м^3$	$P_{дiл.}, \%$
$d_{1,3}, см$	0,905	0,698	0,904	0,850
$h, м$	0,682	0,823	0,798	0,980
$V_{ук}, м^3$	0,898	0,601	0,990	0,710

Примітка. $V_{дiл.}$ – об'єм ділової деревини; $P_{дiл.}$ – відсоток ділової деревини від об'єму стовбура в корі; $V_{ук}$ – об'єм стовбура в корі.

Недоліком використання абсолютного значення об'єму ділової деревини в регресійних рівняннях є експоненціальний тип зв'язку, який може призвести до суттєвих помилок під час екстраполяції даних. Це має велике значення для дисертаційного дослідження, оскільки масив дослідних даних за діаметром був дещо розширений (до 100 см).

За даними табл. 4.7 відсоток ділової деревини теж тісно корелює з усіма біометричними показниками. Враховуючи досвід моделювання цього показника для дерев дуба [10] та точність розроблених моделей об'єму стовбурів берези повислої, в роботі вирішили використати моделі, що використовують об'єм стовбурів у корі як незалежну змінну.

$$V_{напівдiл.} = \begin{cases} 38568 \cdot V_{ук}^{6,21} \cdot \exp(-10,50 \cdot V_{ук}); & 0,15 \leq V_{ук} \leq 0,50 \\ 0,4963 \cdot V_{ук}^{2,321} + 0,1236 & 0,50 < V_{ук} \leq 15,0 \end{cases}; \quad (4.14)$$

$$V_{\text{діл.}} = \begin{cases} 5586 \cdot V_{\text{ук}}^{5,365} \cdot \exp(-18,52 \cdot V_{\text{ук}}); & 0,15 \leq V_{\text{ук}} \leq 0,50 \\ 0,4204 \cdot V_{\text{ук}}^{2,105} + 0,1126 & 0,50 < V_{\text{ук}} \leq 15,0 \end{cases} \quad (4.15)$$

Для оцінювання точності рівнянь (4.14–4.15) за формулами (4.1–4.4) обчислено відповідні статистики, що наведені в табл. 4.8.

Таблиця 4.8

Точність математичних моделей ділової деревини

Статистика	Значення статистик для категорій стовбурів	
	ділові	напівділові
$MBE, \text{ м}^3$	–0,003	0,015
$MPE, \%$	–0,11	0,08
$MAE, \text{ м}^3$	0,075	0,112
$RMSE, \text{ м}^3$	0,109	0,182
R^2	0,999	0,990
$R^2_{кр.}$	0,015	0,028

Систематичні (MBE) та відносні (MPE) помилки математичних моделей відсотка ділової деревини для ділових і напівділових стовбурів виявилися близькими до нуля. Значення абсолютної (MAE) та стандартної помилки ($RMSE$) були більшими для напівділових стовбурів. Для двох категорій технічної придатності стовбурів одержано високі коефіцієнти детермінації, що дозволяє зробити висновок про ефективність виконаного моделювання.

Моделювання відсотка виходу дров'яної деревини та відходів також ґрунтувалося на результатах кореляційного аналізу (табл. 4.9). Відхиляючи високі значення коефіцієнтів кореляції між абсолютними показниками виходу деревини, які складно спрогнозувати для екстремальних значень через експоненціальний тип залежності, також використано відсотки виходу дров та відходів. Щоб узгодити моделювання (див. рівняння (4.14–4.15)), вирішено одержати аналогічні моделі залежно від абсолютного об'єму ділової деревини. Встановлено, що високі коефіцієнти кореляції між об'ємом відходів і ділової деревини пояснюються тим, що більшу частину об'єму відходів становить об'єм кори з ділової деревини.

Залежність виходу дров'яної деревини та відходів від біометричних показників стовбурів

Біометричний показник	Коефіцієнт кореляції							
	ділові стовбури				напівділові стовбури			
	$V_{др.}, \text{ м}^3$	$P_{др.}, \%$	$V_{відх.}, \text{ м}^3$	$P_{відх.}, \%$	$V_{др.}, \text{ м}^3$	$P_{др.}, \%$	$V_{відх.}, \text{ м}^3$	$P_{відх.}, \%$
$d_{1,3}, \text{ см}$	0,993	−0,486	0,922	−0,285	0,977	−0,587	0,901	−0,075
$h, \text{ м}$	0,389	−0,522	0,659	0,122	0,544	−0,782	0,785	0,229
$V_{ук.}, \text{ м}^3$	0,901	−0,468	0,993	−0,281	0,932	−0,673	0,988	−0,034
$V_{діл.}, \text{ м}^3$	0,789	−0,485	0,991	−0,222	0,870	−0,651	0,991	0,002

Примітка. $V_{др.}$ – об'єм дров; $V_{відх.}$ – об'єм відходів; $P_{др.}$ – відсоток дров від об'єму стовбура в корі; $P_{відх.}$ – відсоток відходів від об'єму стовбура в корі.

Об'єм відходів змодельовано залежно від об'єму ділової деревини за допомогою рівняння (4.16) – для ділових стовбурів і рівняння (4.17) – для напівділових стовбурів.

$$V_{відх.} = 0,1456 \cdot V_{діл.}^{0,8896} \cdot \exp(10,22 \cdot 10^{-5} \cdot V_{діл.}), \quad 0,01 < V_{діл.} \leq 9,0. \quad (4.16)$$

$$V_{відх.} = 0,1687 \cdot V_{нділ.}^{0,7589} \cdot \exp(1,687 \cdot 10^{-2} \cdot V_{нділ.}), \quad 0,01 < V_{нділ.} \leq 8,0. \quad (4.17)$$

Об'єм дров'яної деревини обчислювався як різниця між об'ємами стовбурів у корі, ділової деревини та відходів:

$$V_{др.} = V_{ук.} - V_{діл.} - V_{відх.} \quad (4.18)$$

Для перевірки ефективності моделювання використано відповідні статистики оцінювання точності одержаних рівнянь (табл. 4.10).

Таблиця 4.10

Точність математичних моделей дров і відходів

Статистика	Значення статистик за категоріями стовбурів			
	ділові стовбури		напівділові стовбури	
	дрова	відходи	дрова	відходи
$MBE, \text{ м}^3$	-0,011	0,014	-0,020	-0,001
$MPE, \%$	1,8	2,9	2,6	1,6
$MAE, \text{ м}^3$	0,103	0,033	0,184	0,039
$RMSE, \text{ м}^3$	0,148	0,045	0,250	0,054
R^2	0,789	0,985	0,905	0,975
$R^2_{кр.}$	0,058	0,055	0,073	0,060

Подібно до моделювання ділової деревини, систематичні помилки наближуються до нуля. Відносні ж помилки дещо більші, але в межах допустимих для виробничих цілей значень. Для всіх моделей також одержано високі коефіцієнти детермінації, що близькі до одиниці.

4.3. Моделювання розподілу об'єму стовбурів берези повислої за класами товщини

Узагальнення розподілу об'єму стовбурів за класами товщини передусім виконано на основі графічного аналізу, який продемонстрував складний нелінійний зв'язок із діаметром стовбурів дерев берези повислої. В цьому випадку теж перевагу надано відсоткам виходу лісоматеріалів різних класів товщини. Проведений графічний аналіз дав змогу визначитися з формою взаємозв'язку та методикою моделювання. Враховуючи дзвоноподібні закономірності зміни відсотків лісоматеріалів для більшості класів товщини від діаметра, під час моделювання використовувалася методика «шматкової апроксимації» між вузловими точками. Вибір вузлових точок визначався на ділянках, де змінювався характер кривої (зростаючий тип функції перетворювався на спадний). Це допомогло уникнути складних математичних

залежностей під час моделювання. Однак, у нашому випадку кожна модель має свою область визначення і не може застосовуватися для екстраполяції.

У дисертації розроблено дві групи моделей – для ділових і напівділових стовбурів, параметри для яких наведено в табл. 4.11:

– ділові стовбури:

$$p_{15-19} = \begin{cases} 100, & 16 \leq d_{1,3} \leq 20 \\ c_0 \cdot \exp(c_1 \cdot d_{1,3}) + c_2, & 24 \leq d_{1,3} \leq 32 \end{cases}; \quad (4.19)$$

$$p_{20-29} = \begin{cases} 100 - p_{15-19}, & 24 \leq d_{1,3} \leq 28 \\ c_0 \cdot (d_{1,3} + c_1)^{c_2} \cdot \exp(c_3 \cdot d_{1,3}), & 32 \leq d_{1,3} \leq 56 \end{cases}; \quad (4.20)$$

$$p_{30-39} = \begin{cases} 100 - p_{15-19} - p_{20-29}, & 32 \leq d_{1,3} \leq 36 \\ c_0 \cdot (d_{1,3} + c_1)^{c_2} \cdot \exp(c_3 \cdot d_{1,3}), & 40 \leq d_{1,3} \leq 72 \end{cases}; \quad (4.21)$$

$$p_{40-49} = \begin{cases} 100 - p_{20-29} - p_{30-39} - p_{50-59}, & 40 \leq d_{1,3} \leq 44 \\ c_0 \cdot (d_{1,3} + c_1)^{c_2} \cdot \exp(c_3 \cdot d_{1,3}), & 48 \leq d_{1,3} \leq 52 \end{cases}; \quad (4.22)$$

$$p_{50-59} = \begin{cases} c_0 \cdot (d_{1,3} + c_1)^{c_2} \cdot \exp(c_3 \cdot d_{1,3}), & 52 \leq d_{1,3} \leq 72 \\ 100 - p_{40-49} - p_{\geq 60}, & 76 \leq d_{1,3} \leq 100 \end{cases}; \quad (4.23)$$

– напівділові стовбури:

$$p_{15-19} = a_0 \cdot d_{1,3}^{c_1} \cdot \exp(c_2 \cdot d_{1,3}), \quad 16 \leq d_{1,3} \leq 24; \quad (4.24)$$

$$p_{20-29} = \begin{cases} 100 - p_{15-19}, & 20 \leq d_{1,3} \leq 28 \\ c_0 \cdot (d_{1,3} + c_1)^{a_2} \cdot \exp(c_3 \cdot d_{1,3}), & 32 \leq d_{1,3} \leq 48 \end{cases}; \quad (4.25)$$

$$p_{30-39} = \begin{cases} 100 - p_{20-29}, & 32 \leq d_{1,3} \leq 36 \\ c_0 \cdot \exp(c_1 \cdot d_{1,3}) + c_2, & 40 \leq d_{1,3} \leq 48 \end{cases}; \quad (4.26)$$

$$p_{40-49} = \begin{cases} 100 - p_{20-29} - p_{30-39}, & 44 \leq d_{1,3} \leq 52 \\ c_0 \cdot \exp(c_1 \cdot d_{1,3}) + c_2, & 56 \leq d_{1,3} \leq 76 \end{cases}; \quad (4.27)$$

де p_{15-19} , p_{20-29} , p_{30-39} , p_{40-49} , p_{50-59} , $p_{\geq 60}$ — частка об'єму ділової деревини від загального об'єму ділової деревини стовбура за класами товщини лісоматеріалів.

Таблиця 4.11

**Параметри математичних моделей розподілу ділової деревини
за класами товщини**

Клас товщини	Значення параметрів рівнянь (4.19–4.29)			
	c_0	c_1	c_2	c_3
Ділові стовбури				
15–19 см	28953	–0,2545	–0,9568	–
20–29 см	$2,859 \cdot 10^{-4}$	–9,578	8,526	–0,4452
30–39 см	$2,986 \cdot 10^{-4}$	–10,459	5,236	–0,385
40–49 см	$12,025 \cdot 10^{-3}$	–8,758	3,649	–0,9158
50–59 см	18,85	–49,85	1,101	–0,02854
Напівділові стовбури				
15–19 см	$7,125 \cdot 10^{-3}$	15,85	–0,958	–
20–29 см	$2,285 \cdot 10^{-3}$	–5,245	16,75	–0,7854
30–39 см	1895	–0,0586	–25,03	–
40–49 см	2102	–0,0424	–24,32	–

На рис. 4.7–4.8 наведено графічну ілюстрацію розроблених моделей розподілу об'єму стовбурів берези повислої за класами товщини. При цьому спостерігаються суттєві відмінності в розподілі частки об'єму відповідного класу товщини для ділових і напівділових стовбурів. Ця особливість вказує на доцільність використання під час виробничої таксації лісосік двох окремих таблиць.

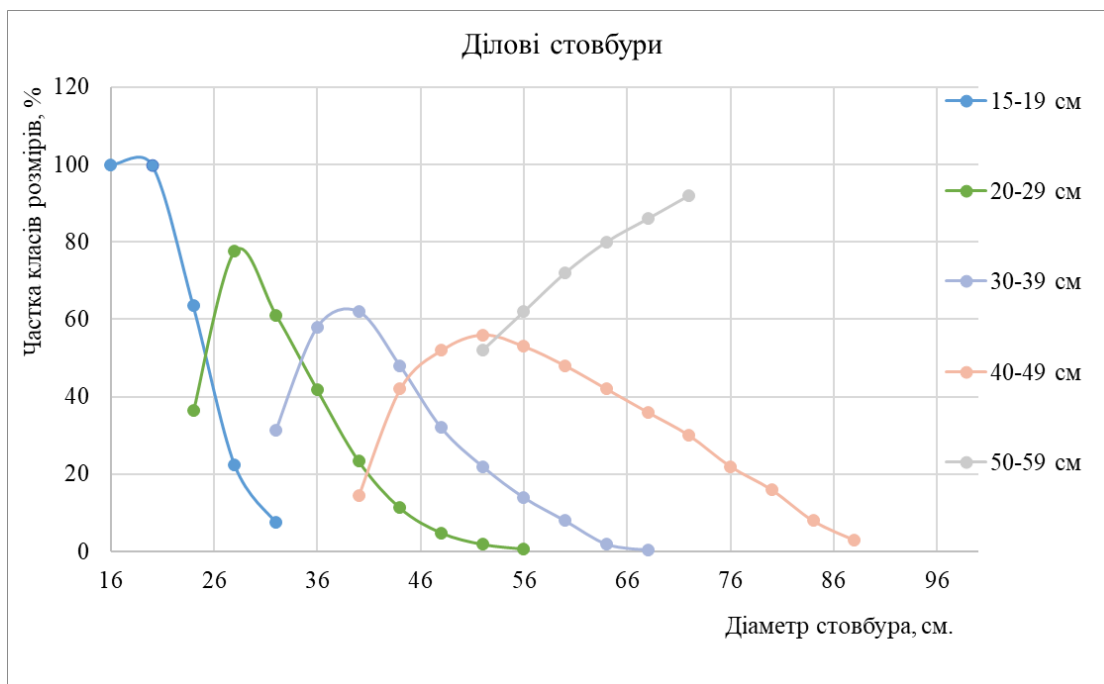


Рис. 4.7. Розподіл об'єму ділової деревини стовбурів берези за класами товщини для ділових стовбурів

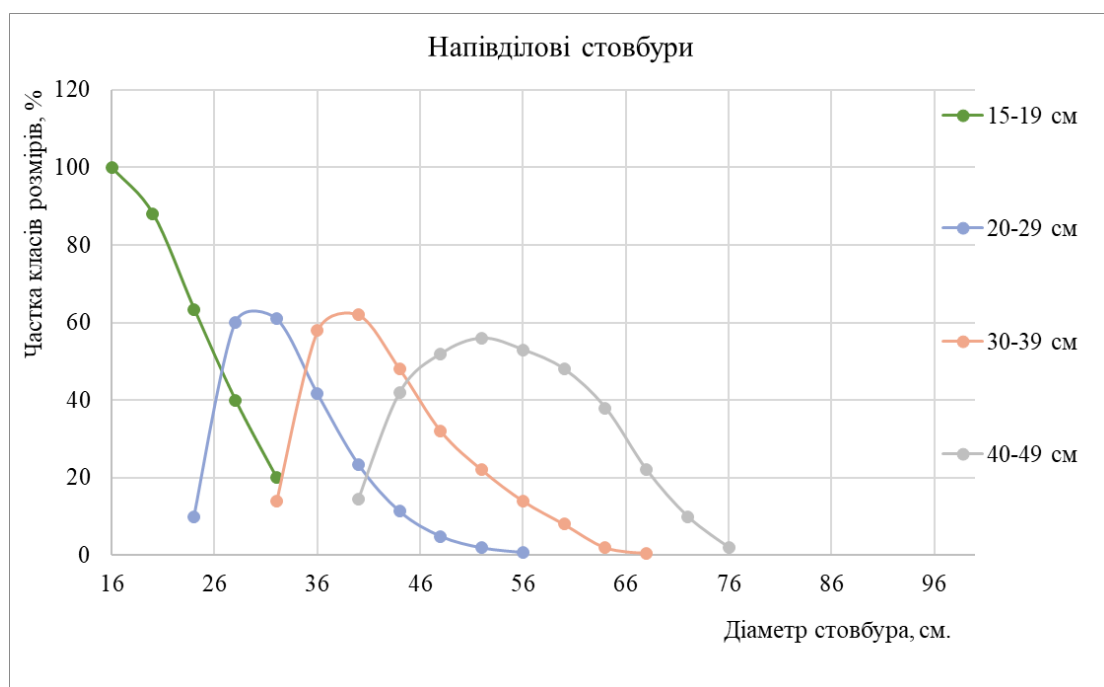


Рис. 4.8. Розподіл об'єму ділової деревини стовбурів берези за класами товщини для напівділових стовбурів

Показники точності математичних моделей (4.19–4.29), встановлені для класів товщини лісоматеріалів, наведено в табл. 4.12.

Таблиця 4.12

**Точність математичних моделей розподілу
ділової деревини за класами товщини**

Статистики	Значення статистик за класами товщини					
	15–19 см	20–29 см	30–39 см	40–49 см	50–59 см	≥ 60 см
Ділові стовбури						
$MBE, \text{ м}^3$	0,002	–0,015	0,022	–0,001	0,008	–0,013
$MPE, \%$	4,2	–6,5	8,2	–3,8	–0,2	–2,8
$MAE , \text{ м}^3$	0,001	0,017	0,038	0,025	0,036	0,049
$RMSE, \text{ м}^3$	0,002	0,018	0,042	0,031	0,074	0,091
R^2	0,691	0,789	0,822	0,794	0,801	0,911
$R^2_{кр.}$	0,101	0,087	0,074	0,082	0,075	0,088
Напівділові стовбури						
$MBE, \text{ м}^3$	0,002	0,001	0,032	–0,018	0,002	–0,010
$MPE, \%$	0,0	6,8	0,4	–4,2	6,2	–1,8
$MAE , \text{ м}^3$	0,001	0,018	0,055	0,048	0,092	0,074
$RMSE, \text{ м}^3$	0,003	0,029	0,121	0,101	0,168	0,139
R^2	0,498	0,689	0,701	0,698	0,548	0,998
$R^2_{кр.}$	0,322	0,187	0,219	0,128	0,098	0,075

Для ділових і напівділових стовбурів і всіх класів товщини одержано близькі до нуля систематичні помилки (MBE). Відносна помилка (MPE) виявилася більшою для лісоматеріалів завтовшки 20–29 см (D2), 30–39 см (D3), одержаних з ділових стовбурів і для лісоматеріалів завтовшки 20–29 см (D2), 50–59 см (D5) – одержаних з напівділових стовбурів. Характерним є те, що абсолютна (MAE) та середня квадратична ($RMSE$) помилки більші для лісоматеріалів більших класів товщини.

На основі опрацьованих математичних моделей твірної стовбурів берези повислої та розмірно-якісної структури їхнього об'єму (4.14–4.29) розроблено проект нормативів розмірно-якісної структури дерев берези для двох категорій технічної придатності стовбурів. Для застосування результатів дисертаційного дослідження на практиці не потрібно розподіляти кількість напівділових стовбурів між діловими та дров'яними, а виконувати розрахунки для них за різними таблицями. Для таксації об'єму ділових і напівділових стовбурів пропонуються нормативи за розрядами висот, що розміщені в додатку Б (табл. Б.1 і табл. Б.2). В усьому іншому методика матеріальної оцінки деревини повторює чинну.

4.4. Нормативне забезпечення для таксації об'єму та розмірно-якісної структури стовбурів дерев берези повислої

Опрацьовані математичні моделі об'єму та розмірно-якісної структури деревини використано для розроблення нормативів об'єму стовбурів берези повислої (табл. 4.13), а також нормативів розподілу об'єму ділових та напівділових стовбурів за класами та підкласами товщини (табл. 4.14–4.15). Для визначення розмірно-якісної структури об'єму стовбурів берези повислої потрібно поєднувати обидва норматив.

Нормативи розподілу об'єму стовбурів за класами та підкласами товщини опрацьовано на основі алгоритму умовного розкряжування реальних стовбурів стовбурів. Передусім алгоритм визначає порядок пониження пріоритетності за якістю $A \rightarrow B \rightarrow C$ та націлений на заготівлю лісоматеріалів максимально допустимої довжини. За необхідності можна також розглядати умову максимального середнього діаметра за мінімально дозволеної довжини лісоматеріалу. Таким чином реалізована методика дозволяє виконати інший прогноз розмірно-якісної структури об'єму стовбурів, орієнтований на вирішення конкретної оптимізаційної задачі.

Таблиця 4.13

Об'єм стовбурів берези в корі, м³

Діаметр стовбура, см	Висота, м														
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
8	0,020	0,023	0,026	0,028	0,031	0,035	0,038								
12	—	—	0,053	0,059	0,064	0,070	0,076	0,082	0,087	0,093	0,100	0,106			
16	—	—	—	0,098	0,107	0,116	0,126	0,135	0,145	0,155	0,165	0,175	0,185	0,194	0,203
20	—	—	—	—	0,157	0,172	0,186	0,200	0,213	0,234	0,244	0,254	0,274	0,284	0,305
24	—	—	—	—	—	0,234	0,254	0,274	0,295	0,315	0,335	0,356	0,376	0,396	0,417
28	—	—	—	—	—	—	0,335	0,366	0,386	0,417	0,437	0,467	0,498	0,518	0,549
32	—	—	—	—	—	—	—	0,457	0,488	0,528	0,559	0,589	0,620	0,660	0,691
36	—	—	—	—	—	—	—	—	0,599	0,640	0,681	0,721	0,762	0,813	0,853
40	—	—	—	—	—	—	—	—	0,721	0,772	0,823	0,874	0,925	0,975	1,016
44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,914	0,975	1,036	1,087	1,148	1,209
48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,067	1,138	1,199	1,270	1,341	1,402
52	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,300	1,382	1,463	1,544	1,615
56	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,483	1,575	1,666	1,758	1,839
60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,778	1,880	1,981	2,083
64	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,991	2,103	2,215	2,327
68	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,215	2,337	2,469	2,591

Продовження таблиці 4.13

Діаметр стовбура, см	Висота, м										
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
20	0,315	0,335	—	—	—	—	—	—	—	—	—
24	0,437	0,457	0,478	0,498	—	—	—	—	—	—	—
28	0,569	0,599	0,630	0,650	0,681	0,711	—	—	—	—	—
32	0,721	0,762	0,792	0,823	0,864	0,894	0,925	—	—	—	—
36	0,894	0,935	0,975	1,016	1,057	1,097	1,138	1,179	—	—	—
40	1,067	1,118	1,168	1,219	1,270	1,321	1,372	1,422	1,473	—	—
44	1,270	1,321	1,382	1,443	1,504	1,565	1,626	1,687	1,748	—	—
48	1,473	1,544	1,615	1,687	1,748	1,819	1,890	1,961	2,032	2,103	—
52	1,697	1,778	1,859	1,941	2,012	2,093	2,174	2,256	2,337	2,418	—
56	1,930	2,022	2,113	2,205	2,296	2,388	2,479	2,570	2,662	2,753	—
60	2,184	2,286	2,388	2,489	2,591	2,692	2,794	2,906	3,007	3,109	3,211
64	2,438	2,560	2,672	2,784	2,906	3,018	3,129	3,251	3,363	3,485	3,597
68	2,713	2,845	2,977	3,099	3,231	3,353	3,485	3,617	3,739	3,871	4,003

Таблиця 4.14

Розподіл об'єму ділових стовбурів берези за класами і підкласами товщини, %

Діаметр стовбура, см	Класи та підкласи товщини							Ділова	Дрова	Відходи	Усього
	D1b	D2a	D2b	D3a	D3b	D4	D5				
16	20,8	–	–	–	–	–	–	20,8	75,2	4,0	100
20	41,6	5,7	–	–	–	–	–	47,2	39,9	12,9	100
24	36,8	25,3	1,1	–	–	–	–	63,1	22,1	14,8	100
28	23,3	36,8	13,3	–	–	–	–	73,4	15,0	11,6	100
32	11,7	30,0	28,9	4,1	–	–	–	74,7	12,3	13,0	100
36	5,7	18,2	30,1	18,8	1,0	–	–	73,8	11,4	14,8	100
40	4,1	11,0	24,7	27,2	10,0	–	–	77,0	11,5	11,5	100
44	1,9	7,3	16,5	26,7	19,1	4,7	–	76,0	11,1	12,9	100
48	0,8	3,7	11,3	21,1	23,7	15,4	–	76,0	11,1	13,0	100
52	0,6	2,2	7,0	14,5	21,6	28,8	0,6	75,2	11,0	13,8	100
56	0,6	1,9	4,4	9,9	16,1	37,2	4,8	74,9	11,0	14,1	100
60	0,4	1,0	2,7	7,1	13,2	37,9	12,4	74,8	11,0	14,2	100
64	0,3	0,8	2,0	4,4	8,8	35,2	23,4	74,9	11,0	14,1	100
68	0,3	0,7	1,4	2,9	6,0	29,5	34,5	75,3	11,0	13,7	100

Таблиця 4.15

Розподіл об'єму напівділових стовбурів берези за класами і підкласами товщини, %

Діаметр стовбура, см	Класи та підкласи товщини							Ділова	Дрова	Відходи	Усього
	D1b	D2a	D2b	D3a	D3b	D4	D5				
16	17,0	—	—	—	—	—	—	17,0	79,0	4,0	100
20	33,9	4,4	—	—	—	—	—	38,3	48,7	13,0	100
24	30,0	19,4	1,0	—	—	—	—	50,3	37,2	12,5	100
28	19,0	28,1	12,2	—	—	—	—	59,4	25,7	14,9	100
32	9,5	23,0	26,6	2,7	—	—	—	61,8	26,3	11,9	100
36	4,6	14,0	27,6	12,5	0,6	—	—	59,3	28,8	11,9	100
40	3,4	8,4	22,7	18,1	5,6	—	—	58,1	30,0	11,9	100
44	1,5	5,6	15,1	17,7	10,7	2,4	—	53,0	34,6	12,4	100
48	0,6	3,1	11,2	15,1	14,3	8,5	—	52,9	34,7	12,4	100
52	0,6	2,0	7,4	11,0	13,9	16,9	0,2	52,0	35,6	12,4	100
56	0,6	1,7	5,0	8,0	10,9	23,1	2,4	51,8	35,8	12,4	100
60	0,4	1,0	3,2	6,0	9,5	24,9	6,5	51,5	36,1	12,4	100
64	0,3	0,8	2,4	3,9	6,7	24,3	13,0	51,4	36,2	12,4	100
68	0,3	0,7	1,8	2,8	4,7	21,0	19,6	51,0	36,6	12,4	100

4.5. Точність розроблених нормативів

Оцінювання розроблених нормативів здійснено для двох тимчасових пробних площ на основі модельних дерев та 10 виробничих переліків відведення насаджень у рубку табл. А.4 (додаток А). На думку вчених [145], нормативи об'єму стовбурів можуть бути задовільними, якщо їх середньоквадратична похибка за запасом не перевищує 7,0 %, а за виходом ділової деревини – 10,0 %. На основі цих даних у програмі ПЕРТА встановлено розмірно-якісну структуру стовбурового запасу деревини, яку прийнято за істину. Додатково виконано розрахунки за чинними [67] та розробленими нормативами табл. Б.1, Б.2 (додаток Б). Порівняння результатів наведено в табл. 4.16 і табл. 4.17.

Таблиця 4.16

Розмірно-якісна структура об'єму стовбурової деревини

Номер пробної площі	Об'єм стовбурової деревини, м ³						
	ділової				дров'яної	відходів	разом
	грубої	середньої	дрібної	разом			
За програмою ПЕРТА							
1	155	13	0	168	95	28	291
2	368	40	0	408	245	75	728
3	98	101	13	212	20	94	326
4	4	45	2	51	23	1	75
5	41	171	25	237	31	8	276
6	47	35	5	87	30	3	120
7	7	40	6	53	28	2	83
8	8	19	3	30	15	0	45
9	16	15	2	33	5	1	39
10	50	28	1	79	24	3	106
11	156	182	1	339	45	8	392
12	85	43	0	128	35	20	183
Разом	1035	732	58	1825	596	243	2664

Продовження таблиці 4.16

Номер пробної площі	Об'єм стовбурової деревини, м ³						
	ділової				дров'яної	відходів	разом
	грубої	середньої	дрібної	разом			
За чинними нормативами [66]							
1	124	10	0	134	103	36	273
2	294	32	0	326	396	102	824
3	100	114	15	229	16	97	342
4	5	42	1	48	22	1	71
5	42	166	26	234	33	10	277
6	45	36	4	85	32	3	120
7	6	38	5	49	12	2	63
8	7	20	3	30	13	1	44
9	16	14	2	32	5	1	38
10	50	26	0	76	23	2	101
11	158	171	1	330	34	9	373
12	86	43	0	129	36	19	184
Разом	933	712	57	1702	725	283	2710

Як видно з табл. 4.16–4.17 за програмою ПЕРТА загальний запас становить 2664 м³, в той час як за чинними нормативами 2710 м³. Це свідчить про незначне завищення об'єму чинними нормативами. За розробленими нормативами запас становить 2707 м³, що також свідчить про незначне завищення запасу на рівні 1,6 %.

Таблиця 4.17

**Розмірно-якісна структура об'єму стовбурової деревини,
встановлена за розробленими нормативами**

Номер пробної площі	Об'єм стовбурової деревини, м ³									
	ділової за середнім діаметром (см) без кори							дров'яної	відходів	разом
	≥ 60	50–59	40–49	30–39	20–29	15–19	разом			
1	3	11	62	58	27	1	162	85	23	270
2	1	21	95	198	170	6	491	221	65	777
3	3	1	8	26	58	98	194	5	71	270
4	—	—	—	—	21	20	41	10	1	52
5	—	—	4	8	145	55	212	21	10	243

Продовження таблиці 4.17

7Номер пробної площі	Об'єм стовбурової деревини, м ³									
	ділової за серединним діаметром (см) без кори							дров'я- ної	відхо- дів	разом
	≥ 60	50–59	40–49	30–39	20–29	15–19	разом			
6	–	–	3	9	29	65	106	21	3	130
7	–	–	1	4	17	45	67	49	2	118
8	–	–	2	5	10	12	29	14	1	44
9	–	–	4	10	8	19	41	4	1	46
10	–	–	3	9	23	34	69	29	2	100
11	–	–	28	118	78	128	352	115	52	519
12	–	6	12	43	26	29	116	14	8	138
Разом	7	39	222	488	612	512	1880	588	239	2707

Для порівняння результатів використано відносні значення показників розмірно-якісної структури відповідно до наведених таблиць. За істинне значення приймалися результати за програмою ПЕРТА, відхилення відображалися за допомогою оцінок систематичної помилки.

Виявлено, що розроблені нормативи забезпечують на 2,9 % вищий вихід ділової деревини та зменшення виходу дров (–1,3 %) і відходів (–1,6 %). Такий результат можна пояснити методикою використання нормативів. Зокрема, під час обчислення запасу ділової деревини за чинними сортиментними таблицями (і за програмою ПЕРТА) використовуються ділові та напівділові стовбури. За розробленими нормативами вихід ділової деревини визначається для них окремо, при цьому з усіх напівділових стовбурів передбачено вихід ділової деревини. Отже, результати дисертаційного дослідження можуть підвищити якість обліку та забезпечити більш раціональне використання ділової деревини.

Висновки до розділу 4

1. Показниково-степенева модель твірної А. Kozak (2004) забезпечує найвищу точність прогнозування збігу стовбурів берези повислої, що зумовлює доцільність її використання для опрацювання нормативів об'єму та розмірно-якісної структури деревини.

2. Модель твірної стовбурів дозволяє визначати об'єм стовбура в корі та без кори, а також об'єм круглих лісоматеріалів, що робить її універсальним інструментом під час розробки нормативів об'єму та розмірно-якісної структури деревини.

3. Ділові та напівділові стовбури берези повислої мають різну протяжність ділової частини деревини. Частка ділових лісоматеріалів більших діаметрів у напівділових стовбурів вища, ніж у ділових. Ця особливість зумовлює необхідність опрацювання окремих нормативів для різних категорій технічної придатності стовбурів.

4. Математичні моделі твірної та протяжності ділової частини стовбурів дозволяють використовувати умовне розкрязування стовбурів для визначення розмірно-якісної структури за новими європейськими стандартами щодо класифікації деревини та різними сценаріями розкрязування стовбурів.

5. Аналіз розроблених нормативів розмірно-якісної структури об'єму стовбурів берези засвідчив їхню високу точність для оцінки загального запасу стовбурової деревини. При цьому вони дозволяють виявити певні резерви ділової деревини (у межах 2,9 %) за рахунок використання окремих таблиць для ділових і напівділових стовбурів.

Матеріали розділу опубліковані в одній науковій праці [10].

ВИСНОВКИ

1. Основна площа березових лісів зосереджена в центральному Поліссі України, а лісистість цього регіону досягає 27,7 %. Чисті за складом березняки в Українському Поліссі становлять 17,9 % загальної площі березових насаджень. Особливості поширення лісових насаджень берези повислої на території досліджень потрібно враховувати під час збору дослідних даних, щоб забезпечити їхню репрезентативність та достовірність розроблених нормативів.

2. Встановлено, що форма стовбурів є важливою характеристикою, яку потрібно враховувати під час моделювання об'єму стовбурів. Статистичний аналіз дослідного матеріалу довів необхідність моделювання збігу стовбурів берези повислої для чотирьох груп діаметрів: ≤ 19 см, 20–29 см, 30–39 см та ≥ 40 см.

3. Серед апробованих рівнянь твірної стовбурів оптимальною для берези повислої виявилася модель А. Kozak (2004), яку використано для розробки об'ємних таблиць. Опрацьоване рівняння твірної А. Kozak дозволяє визначати діаметр стовбура на будь-якій висоті із середньоквадратичною помилкою 0,98 см.

4. Ділові стовбури берези повислої мають у середньому на 30 % більшу протяжність ділової частини порівняно з напівділовими, що зумовлює потребу розробки окремих нормативів об'єму стовбурів для зазначених категорій технічної придатності стовбурів.

5. Різна протяжність ділової частини, а також розподіл окремих зон ділової деревини вздовж стовбура впливає на точність прогнозування виходу лісоматеріалів. Звідси з'являються підстави до перегляду в майбутньому вимог щодо таких категорій технічної придатності, як ділові, напівділові та дров'яні стовбури, оскільки подібна класифікація неспроможна забезпечити високу точність прогнозування виходу лісоматеріалів за класами товщини для окремих стовбурів.

6. Опрацьовані моделі характеризуються високою точністю оцінювання загального запасу деревини під час таксації лісосік та дозволяють виявляти певні резерви ділової деревини за рахунок використання різних моделей розмірно-якісної структури об'єму ділових і напівділових стовбурів.

7. Практичним результатом дисертації стали таблиці розмірно-якісної структури для таксації березових деревостанів Полісся України. Розроблені нормативи не тільки уточнюють об'єми стовбурів берези, а й містять інформацію про розподіл їхнього об'єму за європейськими стандартами.

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. Результати дисертаційного дослідження рекомендується використовувати у виробничій діяльності для матеріальної оцінки лісосік, які відводяться в рубку в пристиглих, стиглих та перестиглих березових деревостанах.

2. Моделі розмірно-якісної структури ділових та напівділових дерев берези повислої можуть тимчасово застосовуватися в лісовій галузі для розподілу запасу ділової деревини за класами товщини до розробки та затвердження в установленому порядку загальнодержавних нормативів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андриенко Т. Л., Шеляг-Сосонко Ю. Р. Растительный мир Украинского Полесья в аспекте его охраны. Киев : Наук. думка, 1983. 216 с.
2. Анучин Н. П. Лесная таксация. Москва : Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.
3. Атаманчук Р. В. Особливості росту та прогнозу продуктивності модальних деревостанів берези повислої Українського Полісся : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук : 06.03.02. К., 2012. 21 с.
4. Байрак О. М. Фіторізноманіття Полісся: досвід вивчення та збереження. Український ботанічний журнал. 2014. Т. 71, № 6. С. 757–759.
5. Белоус А. М. Особенности структуры мягколиственных лесов Украинского Полесья. Dezvoltarea durabila a sectorului forestier – noi obiective si prioritati: simpozion international. Chisinau, 2011. С. 175–177.
6. Белоус А. М. Оценка фитомассы мягколиственных древостоев Украинского Полесья. Miskininkyste. 2014. № 1 (75). С. 40–60.
7. Биченко В. Б., Биченко В. В., Миронюк В. В. Моделювання об'єму ділових сортиментів дуба звичайного з використанням рівнянь твірної деревних стовбурів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2018. Вип. 288. С. 6–17.
8. Биченко В. В., Тищенко О. М. Особливості збігу стовбурів дерев берези повислої Полісся України. 74-а Всеукраїнська студентська науково-практична конференція «Науковий пошук молоді для сталого розвитку лісового комплексу та садово-паркового господарства», м. Київ, 22 вересня 2020 року: тези доповідей. К., 2020, С. 19–20.
9. Биченко В. В., Тищенко О. М. Закономірності збігу стовбурів дерев берези повислої у штучних насадженнях Українського Полісся. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science, 11 (1), 4-12, 2020.
10. Биченко В. Б. Розмірно-якісна структура дубових деревостанів Придніпровського правобережного Лісостепу України та вдосконалення її

оцінки : дис. канд. с.-г. наук : 06.03.02. К., 2019. 218 с.

11. Білоус А. М. Біопродуктивність та екосистемні функції м'яколистяних лісів Українського Полісся : дис. док. с.-г. наук : 06.03.02, 06.03.03. К., 2016. 321 с.

12. Білоус А. М. Надземна фітомаса та депонований вуглець осикових деревостанів Східного Полісся України : дис. канд. с.-г. наук : 06.03.02. К., 2009. 188 с.

13. Білоус А. М., Ковбаса Я. В. Методичні особливості дослідження мортмаси березових лісів Полісся України. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Лісівництво та декоративне садівництво». 2014. Вип. 198. Ч. 2. С. 31–37.

14. Бузиль М. А., Білоус А. М., Голяка Д. М. Особливості диференціації дерев та формування відпаду у молодняках берези повислої. Науковий вісник НЛТУ України. 2015. № 25.8. С. 63–65.

15. Величко В. А. Ґрунтовий покрив Українського Полісся як зонально обумовлений природний комплекс, його діагностика та класифікація : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук : 06.01.03. Харків, 1999. 20 с.

16. Генсірук С. А. Комплексное лесохозяйственное районирование Украины и Молдавии : монография. Киев : Наук. думка, 1981. 360 с.

17. Генсірук С. А. Ліси України. Львів : Наук. тов. ім. Шевченка, УкрДЛТУ, 2002. 496 с.

18. Генсірук С. А. Регіональне природокористування : навч. посібник. Львів : Світ, 1992. 336 с.

19. Генсірук С. А., Бондар В. С. Лісові ресурси України, їх охорона і використання. К. : Наук. думка, 1973. 508 с.

20. Географічна енциклопедія України: у 3-х т. / редкол. Маринич О. М. та ін. Київ : «Українська енциклопедія» ім. М. П. Бажана, 1989–1993. Т. 1. 414 с.

21. Географічна енциклопедія України: у 3-х т. / редкол. Маринич О. М. та ін. Київ : «Українська енциклопедія» ім. М. П. Бажана, 1989–1993.

Т. 2. 480 с.

22. Географічна енциклопедія України: у 3-х т. / редкол. Маринич О. М. та ін. Київ : «Українська енциклопедія» ім. М. П. Бажана, 1989–1993. Т. 3. 480 с.

23. Гирс А. А. Товарность березовых и осиновых древостоев СССР : автореф. дис. канд. с.-х. наук : спец. 06.03.02. К., 1987. 22 с.

24. Гирс А. А., Лищук М. Е. Многомерные модели полнодревесности стволов березы в Украинском Полесье. Закономерности роста и производительность древостоев : тез. докл. науч. конф. Каунас, 1985. С. 36–37.

25. Гірс О. А. Стиглість деревостанів та використання деревних ресурсів у лісах різного функціонального призначення : монографія. Корсунь-Шевченківський : ФОП Майдаченко І. С., 2011. 316 с.

26. Горошко М. П. Миклуш С. І., Хомюк П. Г. Біометрія : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Львів : Камула, 2004. 235 с.

27. Горошко М. П., Король М. М. Видове число і його зв'язок з іншими об'ємоутворюючими показниками. Наук. вісн. НАУ. 2000. № 25. С. 351–356.

28. Горский П. В. Руководство по составлению таблиц. Москва : Гослесбумиздат, 1962. 94 с.

29. ГОСТ 9462–88. Лесоматериалы круглые лиственных пород. Москва : Изд-во стандартов, 1988. 38 с.

30. Гродзінський А. М. Лікарські рослини : енциклопедичний довідник. Київ : Головна редакція Української радянської енциклопедії ім. М. П. Бажана, 1989. С. 56–59.

31. Джонстон Дж. Эконометрические методы. Москва : Статистика, 1980. 444 с.

32. Довідник лісового фонду України (за матеріалами державного обліку лісів України станом на 01.01.2011 р.). Ірпінь : Державний комітет лісового господарства України, 2012. 130 с.

33. ДСТУ 4020-2-2001. Лісоматеріали круглі та пиляні. Методи обмірювання та визначення об'ємів. Ч. 2. Лісоматеріали круглі (pr EN 1309-2:1998). Київ : Держстандарт України, 2001. 70 с.

34. Жежкун А. М. Березові деревостани Східного Полісся : формування, стан, продуктивність. Лісівництво і агролісомеліорація. 2016. Вип. 129. С. 18–26.

35. Жежкун А. М., Тищенко О. М., Особливості товарної та сортиментної структури березових деревостанів Чернігівського Полісся. «Наукові читання імені В.М. Виноградова» : Матеріали першої відкритої регіональної науково-практичної Інтернет-конференції присвяченої 5-річчю заснування кафедри лісового та садово-паркового господарства ДВНЗ «ХДАУ». 23–24 травня 2019 року. Херсон : 2019. С. 32–34.

36. Жежкун А. М. Досвід рубок формування березово-ялинових лісостанів. Лісівництво і агролісомеліорація. 2009. Вип. 114. С. 56–62.

37. Жежкун А. Н. Повреждение березовых насаждений навалами снега. Известия вузов. Лесной журнал. 2003. № 5. С. 36–43.

38. Завада М. М. Лісова ентомологія : підруч. для студ. вищ. навч. закладів. Київ : КВІЦ, 2007. 172 с.

39. Заключительный отчет кафедры лесной таксации УСХА по теме: «Разработка математических моделей и составление по ним объемных, сортиментных и товарных таблиц для основных лесообразующих древесных пород с использованием их при материальной оценке лесного и лесосечного фондов на ЭВМ в процессе производства лесоустроительных работ» / научн. рук., проф. К. Е. Никитин. Киев : УСХА, 1980. 407 с.

40. Заставний Ф. Д. Фізична географія України : підручник для 8 кл. серед. загальноосвіт. шк. Київ : Форум, 2004. 239 с.

41. Захаров В. К. Лесная таксация. Москва: Лесн. пром-сть, 1967. 408 с.

42. Захаров В. К. Новое в технике лесной таксации. Москва: Лесн. пром-сть, 1966. 102 с.

43. Захаров В. К. Форма древесных стволов и методы ее исследования. Сб. Белорус. лесотехн. ин-т. С. М. Кирова. Минск, 1957. Вып. 10. С. 77–91.
44. Заячук В. Я. Дендрологія. Підручник. Львів : Апріорі, 2008. 656 с.
45. Карпюк З. К. Рослинність. Природа Західного Полісся, прилеглого до Хотиславського кар'єру Білорусі : монографія / за ред. Ф. В. Зузука. Луцьк : ПП Іванюк В. П., 2014. 246 с.
46. Каталог річок України. Київ : Вид-во АН УРСР, 1957. С. 30–35.
47. Кашпор С. Н. Система нормативно-справочных данных для таксации древостоев твердолиственных пород лесостепи УССР : дис. ... канд. с.-х. наук. Укр. с.-х. акад. Київ, 1987. 217 с.
48. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бібіченко. Київ : Вид-во Раєвського, 2003. 344 с.
49. Ковбаса Я. В. Лісівничо–таксаційні особливості березових лісів Чернігівщини. Лісівнича наука в контексті сталого розвитку : матер. наук.-практ. конф. Харків, 2015. С. 36–38.
50. Колосова А. Е., Мурахтанов Е. С. Лесная таксация. Ленинград : ВЗЛТИ, 1960. 292 с.
51. Кофман Г. Б. Рост и форма деревьев. Новосибирск : Наука, 1986. 210 с.
52. Кравченко Н. О. Рекреаційне господарство Полісся : сучасний стан та перспективи розвитку. Ніжин : Міланік, 2007. 172 с.
53. Краснов В. П., Шелест З. М., Давидова І. В. Фітоекологія з основами лісівництва. Київ : Університетська книга, 2011. 415 с.
54. Кулешис А., Гудас К. Изучение формы и моделирование видовых чисел стволов осины. Лесоведение. 1989. № 4. С. 42–50.
55. Кулешис А.А., Кенставичюс И.И. Математическое моделирование видовых чисел. Лесоведение. 1976. № 3. С. 85–91.
56. Лакида П. І., Смолін В. О., Тищенко О. М., Ярошук М. О. Стан та продуктивність м'яколистяних деревостанів Українського Полісся. Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми лісового господарства та

екології: шляхи вирішення» (Факультету лісового господарства та екології – 20 років) м. Житомир, 7–8 жовтня 2021 року : тези доповідей. Житомир, 2021. С. 108.

57. Лакида П. І., Білоус А. М., Матушевич Л. М., Слущик І. С., Сорока М. Г. Особливості формування продукції стовбурової деревини у березових деревостанах Чернігівського Полісся. Лісовий журнал. 2011. Вип. 1. С. 36–38.

58. Лакида П. І., Дибалюк О. А., Матушевич Л. М. Головні лісоутворювальні породи України та їх вплив на інтенсивність депонування вуглецю. Науковий вісник НАУ : зб. наукових праць. Вип. 10. Київ, 1998. С. 251–255.

59. Лакида П. І., Атаманчук Р. В. Прогноз росту та продуктивності модальних деревостанів берези повислої в Українському Поліссі : монографія. Корсунь-Шевченківський : ФОП Гаврищенко, 2014. 135 с.

60. Лакида П. І., Білоус А. М., Василишин Р. Д., Матушевич Л. М., Макарчук Я. І. Біопродуктивність та енергетичний потенціал м'яколистяних деревостанів Українського Полісся : монографія. Корсунь-Шевченківський, ФОП Гаврищенко В.М., 2012. 454 с.

61. Лакида П. І., Білоус А. М., Василишин Р. Д., Матушевич Л. М. Оцінка запасів енергії м'яких листяних деревостанів Українського Полісся. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2011. Вип. 21.6. С. 8–15.

62. Лакида П. І., Білоус А. М., Василишин Р. Д., Гірс О. А. Біотична та енергетична продуктивність м'яколистяних лісів Полісся України. Біоресурси і природокористування. 2011. Т. 3, № 1–2. С. 122–133.

63. Лакида П. І., Матушевич Л. М. Фітомаса березових лісостанів Українського Полісся : монографія. Київ : ННЦ ІАЕ, 2006. 228 с.

64. Литвак П. В., Ткачук В. І. Берези карельська і українська в Україні. Житомир : Волинь. 1998. 144 с.

65. Лищук М. Е. Рост и продуктивность насаждений мягколиственных

пород Українського Полісся : дис. канд. с.-х. наук : 06.03.02. Харків, 1988. 206 с.

66. Лісотаксаційний довідник / за наук. ред. С.М.Кашпора, А. А. Строчинського. Київ : Видавничий дім «Вініченко», 2013. 496 с.

67. Лісотаксаційний довідник / уклад. А.М. Білоус, С.М. Кашпор, В.В. Миронюк, В.А. Свинчук, О.М. Леснік. Київ : Видавничий дім «Вініченко», 2021. 424 с.

68. Любич М. В. Порядок визначення сортиментно-гатункової структури деревостанів методом пробних площ. Лісівництво і агролісомеліорація. 2010. Вип. 117. С. 199–204.

69. Любич М. В., Букша І. Ф., Пастернак В. П. Обґрунтування принципів відбору модельних дерев для встановлення сортиментно-гатункової структури деревостанів. Лісівництво і агролісомеліорація. 2008. Вип. 114. С. 74–79.

70. Маринич О. М. Українське Полісся. Київ : Радянська школа, 1962. С. 8–46.

71. Матушевич Л.М. Перспективи енергетичного використання березових лісів Полісся України. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2009. Вип С. 231–237.

72. Матушевич Л. М. Продуктивність та надземна фітомаса берези в насадженнях Українського Полісся : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук : 06.03.02. К., 2004. 19 с.

73. Методичні вказівки з відведення і таксації лісосік, видачі лісорубних квитків та огляду місць заготівлі деревини в лісах Державного агентства лісових ресурсів України. Затверджені наказом державного агентства лісових ресурсів України від 21.01.2013 № 9.

74. Миронюк В. В. Повнодеревність стовбурів тополі пірамідальної в умовах забудованої частини м. Києва. Аграрна наука і освіта, 2006. Т. 7, № 1–2. С. 82–86.

75. Миронюк В. В., Свинчук В. А., Білоус А. М., Васишин Р. Д. Лісова таксація: навчальний посібник. Київ : НУБіП України, 2019. 220 с.

76. Миронюк В. В., Поліщук В. В. Порівняльний аналіз різних підходів до моделювання твірної берези повислої. Лісове і садово-паркове господарство. 2016. № 9. ULR: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Lis/article/view/9003>

77. Мошкалев А. Г., Давидов Г. М. Моделирование сортиментных и товарных таблиц. Моделирование и контроль производительности древостоев : сб. науч. тр. ЛитСХА, 1983. С. 58–59.

78. Никитин К. Е. Теория определения объемов древесных стволов : разработка для студентов и аспирантов лесохозяйственного факультета. Киев, 1979. 51 с.

79. Никитин К. Е., Швиденко А. З. Методы и техника обработки лесоводственной информации. Москва : Лесная пром-сть, 1978. 272 с.

80. Никитин К. Е., Швиденко А. З. Таксация лесосек на ЭВМ. Киев : Урожай, 1972. 200 с.

81. Никитин К. Е. О логарифмическом уравнении образующей древесного ствола. Научные труды Украинской сельскохозяйственной академии. 1978. Вып. 213. С. 4–9.

82. Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии / под. ред. А. З. Швиденко и др. – Киев. : Урожай, 1987. 560 с.

83. Озолиньш Р. К. Определение параметров формы древесных стволов методом пертурбации относительных диаметров. Тр. Лит. с.-х. акад. Елгава, 1982. Вып. 194: Лесн. хоз-во. С. 65–69.

84. Орлов М. М. Лесная таксация. Ленинград : Издательство Ленинградского лесн. ин-та, 1925. 510 с.

85. Папіш І, Позняк С, Іванюк Г. Грунтово-географічне районування Українського Полісся. Фізична географія. Наукові записки. 2016. № 6. С. 31–34.

86. Пастернак В. П., Слиш О. А., Назаренко В. В. Розмірно-якісна структура стовбурів *Quercus robur* L. у деревостанах вегетативного походження Лівобережного Лісостепу України. Наукові праці Лісівничої академії наук України, 2021. Вип. 22. С. 165–172. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/412114>

87. Пастернак П. С., Кисилевский Р. Г. Федец И. Ф., Медведев Л. А.

Лесохозяйственное районирование Украинской ССР. Лесоводство и агролесомелиорация. К. : Урожай, 1980. Вып. 56. С. 3–16.

88. Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання: СОУ 02.02-37476: 2006. [Чинний від 2007]. Київ : Мінагрополітики України, 2006. 32 с.

89. Поварницин В. О. Ліси Українського Полісся : монографія. Київ : УАСГН, 1959. 209 с.

90. Податковий кодекс України : Закон України від 19.05.2011 р. № 3393-VI. Відомості Верховної Ради України. 2011. № 48–49. Ст. 256.

91. Поляков М. О., Поляков О. В. Адаптивний алгоритм промислової сортиментації лісосічного фонду: практичні рекомендації. Науковий вісник Національного аграрного університету. 1999. Вип. 17. С. 345–348.

92. Поляков О. В., Поляков М. О. Адаптивна промислова сортиментація лісосічного фонду: алгоритми імітаційного моделювання. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2009. Вип. 135. С. 201–205.

93. Поляков О. В., Поляков М. О. Адаптивна промислова сортиментація лісосічного фонду: нормативно-довідкові дані. Науковий вісник Національного аграрного університету. 2008. Вип. 122. С. 153–158.

94. Полякова Л. В. Особливості росту та продуктивність березово-соснових насаджень Полісся України : дис. канд. с.-х. наук : 06.00.19. Київ, 1995. 194 с.

95. Порицкий Г. А. Ход роста, строение и сортиментная структура насаждений березы Полесья УССР : автореф. дис. канд. с.-х. наук : 06.03.02. Киев, 1962. 15 с.

96. Практикум з інтегрального числення. Ч. II. Визначений інтеграл / уклад. Р. М. Дідковський, В. В. Сисоєнко, В. О. Щерба. Черкаси : ЧДТУ, 2005. 66 с.

97. Природні ресурси України : навч. посібник / за ред. П. С. Гнатів, П. Р. Хірівський, О. Д. Зинюк, Ю. Я. Корінець, Н. Є. Панас. Львів : Камула, 2012. 216 с.

98. Пятницкий С. С. Курс дендрологии : учебн. пособ. Харьков : Изд-во ХГУ, 1960. 410 с.

99. Разработать комплекс алгоритмов и программ обработки лесоводственных данных на ЭВМ серии ЕС путем модернизации существующих программ и создания новых : науч. отчет (промежуточн.). УСХА. Киев, 1984. № 14/22. 128 с.

100. Рябчук В. П. Недеревна продукція лісу. Львів : Світ, 1996. 312 с.

101. Рябчук В. П. Соки лиственных деревьев: получение и использование. Львов, 1988. 152 с.

102. Свинчук В. А., Кашпор С. М., Миронюк В. А. Математичні моделі об'єму деревних стовбурів основних лісоутворювальних порід України. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України, 2014. № 198/2. Ч. 2. С. 58–64.

103. Свинчук В. А. Особливості розмірно-якісної структури стовбурів сосни звичайної в штучних деревостанах Західного і центрального Полісся України. Аграр. наука і освіта, 2005. № 3–4. С. 115–119.

104. Свинчук В. А. Особливості форми та повнодеревності стовбурів сосни звичайної в штучних деревостанах Полісся України. Наук, вісн. НАУ, 2005. Вип. 83: Захист лісу. С. 182–188.

105. Свириденко В. Є., Бабіч О. Г., Киричок Л. С. Лісівництво : Підручник / за ред. В. Є. Свириденка. Київ : Арістей, 2005.

106. Свириденко В. Є., Швиденко А. Й. Лісівництво : підручник. Київ : Сільгоспосвіта, 1995. 363 с.

107. Слиш О. А., Пастернак В. П. Нормативи для визначення запасу і розмірно-якісної структури стиглих і перестійних порослевих дубових деревостанів. Лісівництво і агролісомеліорація, 2018. Вип. 132. С. 41–47. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.132.2018.41>

108. Сортиментные таблицы для таксации леса на корню : справочник / под ред. К. Е. Никитина. Киев : Урожай, 1984. 629 с.

109. Сортиментные таблицы для таксации молодняков и средневозрастных древостоев : справочник / сост. Строчинский А. А., Лакида П. И., Кашпор С. Н. и др. Киев : УСХА, 1993. 464 с.

110. СОУ 02.02.-37-476:2006. Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання. Київ : Мінагрополітики України, 2006. 32 с.

111. Строчинский А. А., Швиденко А. З. Исследование формы и полнодревесности стволов ели в Украинских Карпатах. Закономерности взаимосвязи как основа нормативной лесоучетной информации. Лесн. журн. Изв. ВУЗов. 1977. № 1. С. 10–16.

112. Строчинський А. А., Лакида П. І. Нормативи для визначення запасу і сортиментної структури штучних соснових древостанів. Лісове госп-во, лісова, паперова і деревооброб. пром-сть, 1990. № 1. С. 16–19.

113. Строчинський А. А., Миронюк В. В., Свинчук В. А., Гірс О. А. Нові нормативи для матеріальної оцінки перестиглих соснових древостанів лісів населених пунктів і зелених зон. Аграрна наука і освіта, 2008. Т. 9. № 1–2. С. 73–78.

114. Тищенко О. М. Вікова структура древостанів берези повислої Чернігівського Полісся. Ліс, наука, молодь : матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, магістрів, аспірантів і молодих учених присвячена 15-річчю факультету лісового господарства, 23 листопада 2016 р. – Житомир : ЖНАЕУ, 2016 – 147 с.

115. Тищенко О. М., Биченко В. В., Вплив повноти древостану на форму стовбурів дерев берези повислої Полісся України, Аспекти сталого розвитку лісового, сільського, водного та енергетичного господарств зони Полісся України, м. Житомир, 8 квітня 2021 року. Житомир : ЖАТК, 2021. С. 131–133.

116. Тищенко О.М. Аналіз древостанів Чернігівського Полісся за часткою берези у складі. Ліс, наука, молодь : матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, магістрів, аспірантів і молодих учених, 23 листопада 2017 р. Житомир : ЖНАЕУ, 2017. С. 108.

117. Тищенко О. М. Лісівничо-таксаційна характеристика березових

деревостанів Чернігівського Полісся. Науковий вісник НЛТУ України. 2018, Т. 28, № 10. С. 49–52. <https://doi.org/10.15421/40281010>

118. Третьяков Н. В. Методика составления массовых таблиц сбега и объёмов для древостоев ценных пород Северного Кавказа. Вопросы лесной таксации : сб. тр. Ленинград : Гослестехиздат, 1937. С. 83–133.

119. ТУУ 16.1–00994207–001:2018 : Лісоматеріали круглі та пиляні. Візуальні характеристики. Класифікація, терміни та визначення, способи вимірювання. Введ. 01.01.2019. К. : Держстандарт України, 2019. 132 с.

120. ТУУ 16.1–00994207–002:2018 : Лісоматеріали круглі листяних порід. Класифікація за якістю. Введ. 01.01.2019. К. : Держстандарт України, 2019. 28 с.

121. ТУУ 16.1–00994207–005:2018 : Деревина дров'яна. Класифікація, облік, технічні вимоги. Введ. 01.01.2019. К. : Держстандарт України, 2019. 16 с.

122. ТУУ 56.196–95. Деревина дров'яна для технологічних потреб. Київ : Стандарти, 1995. 6 с.

123. Тюрин А. В. Таксация леса. Москва: Гослесбумиздат, 1945. 376 с.

124. Тябера А.П. Моделирование сортиментно-сортной и товарной структуры древостоев. Лесн. хоз-во, 1981. № 12. С. 39–43.

125. Українська енциклопедія лісівництва / за ред. С. А. Генсірука. Львів : Українські технології. 1999. Т. 1. 463 с.

126. Физико-географическое районирование Украинской ССР / под ред. В. П. Попова, А. И. Маринича, А. И. Ланько. Киев : Изд-во Киев. ун-та, 1968. 683 с.

127. Цилюрик А. В., Шевченко С. В. Грибы лесных биоценозов. Атлас. Киев : Вища школа, 1989. С. 24–26.

128. Черній А. М. Поліське село : соціологічний та духовний виміри. Київ : Міленіум, 2007. 241 с.

129. Щепотьев Ф. Л. Дендрология : учеб. пособие. Киев : Вища школа, 1990. 287 с.

130. Юдицкий Я. А. Описание сортной структуры деревьев с помощью случайного процесса. Закономерности роста и производительности древостоев: науч. конф., г. Каунас, 6–17 апреля 1985 г. Каунас : тез. докл. 1985. С. 297–299.

131. Adekunle V. A. J., Nair K. N., Srivastava A. K., Singh N. K. Models and form factors for stand volume estimation in natural forest ecosystems: a case study of Katarniaghat Wildlife Sanctuary (KGWS), Bahraich District, India. *Journal of Forestry Research*. 2013. Vol. 24, Iss. 2. P. 217–226. <https://doi.org/10.1007/s11676-013-0347-8>

132. Arias-Rodil M., Castedo-Dorado F., Cámara-Obregón A., Diéguez-Aranda U. Fitting and Calibrating a Multilevel Mixed-Effects Stem Taper Model for Maritime Pine in NW Spain. *PLOS ONE*. 2015. Vol. 10(12). article ID e0143521. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143521>

133. Banzhaf G. M., Matney T. G., Schultz E. B., Meadows J. S., Jeffreys J. P., Booth W. C., Li G., Ezell A. W., Leininger T. D. Log-Grade Volume Distribution Prediction Models for Tree Species in Red Oak-Sweetgum Stands on US Mid-South Minor Stream Bottoms. *Forest Science*. 2016. Vol. 62, Iss. 6. P. 671–678. <http://dx.doi.org/10.5849/forsci.15-138>

134. Bédard S., Duchesne I., Guillemette F., DeBlois J. Predicting volume distributions of hardwood sawn products by tree grade in eastern Canada. *Forestry: An International Journal of Forest Research*. 2018. Vol. 91, Iss. 3. P. 341–353. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpx043>

135. Bilous A., Myroniuk V., Svynchuk V., Kashpor S., Lesnik O. Tree stem volumes by height classes in premature, mature, and overmature stands of main forest species of Ukraine. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*. 2022. Vol. 13(3). P. 7-12. [https://doi.org/10.31548/forest.13\(3\).2022.7-12](https://doi.org/10.31548/forest.13(3).2022.7-12)

136. Bilous, A., Myroniuk, V., Svynchuk, V., Soshenskyi, O., Lesnik, O., & Kovbasa, Y. Semi-empirical estimation of log taper using stem profile equations. *Journal of Forest Science*. 2021. Vol. 67(No. 7). P. 318–327. <https://doi.org/10.17221/209/2020-JFS>

137. Brunig E. Die Sauerstofflieferung aus den Wäldern der Erde und ihre

Bedeutung für die Reinerhaltung der Luft. Forstarchiv, 1971, Vol. 2. P. 42.

138. Burkhart H. E. Cubic-Foot Volume of Loblolly Pine to Any Merchantable Top Limit. Southern Journal of Applied Forestry. 1977. Vol. 1, Iss. 2. P. 7–9.

139. Burkhart H. E., Tomé M. Modeling Forest Trees and Stands. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012. P. 472.

140. Bychenko V., Myroniuk V., Lakyda P., Burianchuk M. Modelling the qualitative structure of Scots pine trunks using a random process. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science, 2021. Vol. 12(3). P. 6-20. <https://doi.org/10.31548/forest2021.03.001>.

141. Byrne J. C., Reed D. D. Complex compatible taper and volume estimation systems for red and loblolly pine. Forest Science. 1986. Vol. 32, Iss. 2. P. 423–443.

142. Clark A., Souter R. A. Stem Cubic-Foot Volume Tables for Tree Species in the Appalachian Area. Asheville, NC:U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, 1996. 127 p.

143. Clark III A., Souter R. A., Schlaegel B. E. Stem profile equations for southern tree species. USDA Forest Service Research Paper SE-282. 1991. 113 p.

144. Czaplewski R. L., Brown A. S., Guenther D. G. Estimating merchantable tree volume in Oregon and Washington using stem profile models. Ft. Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, 1989. 19 p.

145. David H. C., Miranda R. O. V., Welker J. et al. Strategies for stem measurement sampling: a statistical approach of modelling individual tree volume. CERNE. 2016. Vol. 22, Iss. 3. P. 249–260.

146. Demaerschalk J. P. Converting Volume Equations to Compatible Taper Equations. Forest Science. 1972. Vol. 18, Iss. 3. P. 241–245.

147. Duan A., Zhang S., Zhang X., Zhang J. Development of a stem taper equation and modelling the effect of stand density on taper for Chinese fir plantations in Southern China. PeerJ. 2016. Vol. 4. article ID. e1929.

148. Fang Z. Compatible Volume-Taper Models for Loblolly and Slash Pine Based on a System with Segmented-Stem Form Factors. Forest Science. 2000. Vol.

46, Iss. 1. article ID 12. <https://doi.org/10.1093/forestsience/46.1.1>

149. Fonweban J., Gardiner B., Auty D. Variable-top merchantable volume equations for Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in Northern Britain. *Forestry*. 2012. Vol. 85, Iss.2. P. 237–253. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpr069>

150. Fonweban J., Gardiner B., Macdonald E., Auty D. Taper functions for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in Northern Britain. *Forestry*. 2011. Vol. 84, № 1. P. 49–60. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpr069>

151. Fortin M., Guillemette F., Bédard S. Predicting volumes by log grades in standing sugar maple and yellow birch trees in southern Quebec, Canada. *Canadian Journal of Forest Research*. 2009. Vol. 39, Iss. 10. P. 1928–1938. <https://doi.org/10.1139/X09-108>

152. Gómez-García E., Crecente-Campo F., Diéguez-Aranda U. Selection of mixed-effects parameters in a variable–exponent taper equation for birch trees in northwestern Spain. *Annals of Forest Science*. 2013. Vol. 70, Iss. 7. P. 707–715. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0313-9>

153. Heger, L. M. A trial of Hohenedl's method of stem form and stem volume estimation. *Forestry Chronicle*. 1965. Vol. 41(4). P. 466–475.

154. Hurzhii R.V., Yavorovskyi P.P., Sydorenko S.H., Levchenko V.B., Tyshchenko O.M., Tertyshnyi A.P., Yakubenko B.Y., Trends in forest fuel accumulation in pine forests of Kyiv Polissya in Ukraine, *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 2021, Vol. 63 (2), P. 116–124. <https://doi.org/10.2478/ffp-2021-0013>

155. Kershaw J. A., Ducey M. J., Beers T., Hush B. *Forest Mensuration*, 5th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley-Blackwell: 2016. 630 p.

156. Kozak A. My last words on taper equations. *Forest Chronicle*. 2004. Vol. 80(4). P. 507–515.

157. Kozak A. A Variable-exponent taper equations. *Canadian Journal of Forest Research*. 1988. Vol. 18. P. 1363–1368.

158. Larsen D. R. Simple taper: taper equations for the field forester. Proceedings of the 20th Central Hardwood Forest Conference. 2017. P. 265–278.
159. Lee W.-K., Seo J.-H., Son Y.-M., Lee K.-H., Gadow K. von. Modeling stem profiles for *Pinus densiflora* in Korea. Forest Ecology and Management. 2003. Vol. 172, Iss. 1. P. 69–77. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00139-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00139-1)
160. Leites L. P., Robinson A. P. Improving Taper Equations of Loblolly Pine with Crown Dimensions in a Mixed-Effects Modeling Framework. Forest Science. 2004. Vol. 50, Iss. 2. P. 204–212. <https://doi.org/10.1093/forestscience/50.2.204>
161. Li R., Weiskittel A. R. Comparison of model forms for estimating stem taper and volume in the primary conifer species of the North American Acadian Region. Annals of Forest Science. 2010. Vol. 67, Iss. 3. P. 302–302. <https://doi.org/10.1051/forest/2009109>
162. Li R., Weiskittel A., Dick A. R., Kershaw J. A., Seymour R. S. Regional Stem Taper Equations for Eleven Conifer Species in the Acadian Region of North America: Development and Assessment. Northern Journal of Applied Forestry. 2012. Vol. 29, Iss. 1. P. 5–14. <https://doi.org/10.5849/njaf.10-037>
163. Liang R., Sun Y., Zhou L., Wang Y., Qiu S., Sun Z. Analysis of various crown variables on stem form for *Cunninghamia lanceolata* based on ANN and taper function. Forest Ecology and Management. 2022. Vol. 507. Article No: 119973. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119973>
164. Mäkinen H., Isomäki A. Thinning intensity and long-term changes in increment and stem form of Scots pine trees. Forest Ecology and Management. 2004. Vol. 203, Iss. 1–3. P. 21–34. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.07.028>
165. Mäkinen H., Isomäki A. Thinning intensity and long-term changes in increment and stem form of Norway spruce trees. Forest Ecology and Management. 2004. Vol. 201, Iss. 2–3. P. 295–309. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.07.017>
166. Max T. A., Burkhard H. E. Segmented polynomial regression applied to taper equations. Forest Science. 1976. Vol. 22. P. 283–289.
167. McClure J. P., Czaplewski R. L. Compatible taper equation for loblolly pine. Canadian Journal of Forest Research. 1986. Vol. 16, Iss. 6. P. 1272–1277.

168. McTague J. P., Weiskittel A. Evolution, history, and use of stem taper equations: a review of their development, application, and implementation. *Canadian Journal of Forest Research*. 2021. Vol. 51, № 2. P. 210–235. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0326>
169. Myroniuk V., Bilous A., Lakyda P. et al. Taper equations for eight major forest tree species in flat land Ukraine. *Forestry: An International Journal of Forest Research*. 2023. cpac052. <https://doi.org/10.1093/forestsience/50.2.204>
170. Myroniuk V., Svyinchuk V., Bilous A., Kashpor S., Lesnik O. Height-diameter relationships and stem volume equations in young and middle-aged forest stands of Ukraine. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*. 2022. Vol. 13(4). P. 74-83. [https://doi.org/10.31548/forest.13\(4\).2022.74-83](https://doi.org/10.31548/forest.13(4).2022.74-83)
171. Newnham R. M. Variable-form taper functions for four Alberta tree species. *Canadian Journal of Forest Research*. 1992. Vol. 22. P. 210–223.
172. Ojansuu R., Mäkinen H., Heinonen J. Including variation in branch and tree properties improves timber grade estimates in Scots pine stands. *Canadian Journal of Forest Research*. 2018. Vol. 48, Iss. 5. P. 542–553. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2017-0435>
173. ÖzçeliK R., Bal C. Effects of adding crown variables in stem taper and volume predictions for black pine. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2013. Vol. 37. P. 231-242. <https://doi.org/10.3906/tar-1206-2>
174. Özçelik R., Brooks J. R. Compatible volume and taper models for economically important tree species of Turkey. *Annals of Forest Science*. 2012. Vol. 69, Iss. 1. P. 105–118. <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0137-4>
175. Poudel K. P., Temesgen H., Gray A. N. Estimating upper stem diameters and volume of Douglas-fir and Western hemlock trees in the Pacific Northwest. *Forest Ecosystems*. 2018. Vol. 5, Iss. 1. article ID 16. <https://doi.org/10.1186/s40663-018-0134-2>
176. Pukkala T. Stem taper and bark functions for Norway spruce in Norway. *Silva Fennica*. 2019. Vol. 53, № 3. Article Id: 10187. <https://doi.org/10.14214/sf.10187>

177. R Core Team (2018): A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. URL: <https://www.r-project.org>. (дата звернення: 25.02.2025).

178. Salekin S., Catalán C. H., Boczniewicz D., Phiri D., Morgenroth J., Meason D. F., Mason E. G. Global Tree Taper Modelling: A Review of Applications, Methods, Functions, and Their Parameters. *Forests*. 2021. Vol. 12, Iss. 7. article ID 913. <https://doi.org/10.3390/f12070913>

179. Sharma M. Total and Merchantable Volume Equations for 25 Commercial Tree Species Grown in Canada and the Northeastern United States. *Forests*. 2021. Vol. 12, Iss. 9. article ID. 1270. <https://doi.org/10.3390/f12091270>

180. Sharma M., Parton J. Modeling Stand Density Effects on Taper for Jack Pine and Black Spruce Plantations Using Dimensional Analysis. *Forest Science*. 2009. Vol. 55, Iss. 3. P. 268–282. <https://doi.org/10.1093/forestscience/55.3.268>

181. Socha J., Kulej M. Variation of the tree form factor and taper in European larch of Polish provenances tested under conditions of the Beskid Sądecki mountain range (southern Poland). *Journal of Forest Science*. 2007. Vol. 53, Iss. 12. P. 538–547.

182. Tenzin J., Wangchuk T., Hasenauer H. Form factor functions for nine commercial tree species in Bhutan. *Forestry*. 2016. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpw044>

183. Tian N., Gan J., Pelkki M. Stem profile of red oaks in a bottomland hardwood restoration plantation forest in the Arkansas Delta (USA). *iForest - Biogeosciences and Forestry*. 2022. Vol. 15, Iss. 3. P. 179–186. <https://doi.org/10.3832/ifor4057-015>

ДОДАТКИ

Додаток А. Характеристика дослідних даних

Таблиця А.1

Лісівничо-таксаційна характеристика пробних площ

№	Шифр пробної площі	Кількість модельних дерев	Склад насадження	Діаметр, см	Висота, м	Вік, років	Повнота		Запас стовб. деревини, м ³ ·га ⁻¹	Бонітет	ТЛУ	Походження	Адм. область
							абс., м ² ·га ⁻¹	відн.					
1	111801	11	8Бп2Сз	26	24,8	57	14,8	0,89	72	I ^a	B2ДС	Насіннєве	Сумська
2	110805	3	7Бп3Сз+Дз	25,7	23,5	57	19,4	0,68	167	I	B2ДС	Насіннєве	Сумська
3	119601	5	10Бп+Дз	29,9	25,3	59	12,9	0,85	120	1	B2ДС	Насіннєве	Сумська
4	119602	1	10Бп+Дч	25,6	21,1	66	24,6	0,7	178	I	B2ДС	Насіннєве	Волинська
5	119305	9	7Бп3Сз	29,2	25,8	67	18,9	0,6	132	I ^a	B2ДС	Насіннєве	Чернігівська
6	119306	5	10Бп	29,2	18,9	62	9,4	0,5	72	I ^b	B2ДС	Насіннєве	Чернігівська
7	119307	6	9Бп1Влч	29,5	21,5	53	22,9	0,81	202	I	B2ДС	Насіннєве	Чернігівська
8	119701	5	7Сз2Бп1Гз	25,7	22	65	24,2	0,94	201	I ^a	B3ДС	Насіннєве	Чернігівська
9	119702	7	8Сз2Бп+Дз	30,6	25	58	7,9	0,7	81	I	C2ГДС	Насіннєве	Чернігівська
10	119705	5	8Сз2Бп+Дч	27,5	23,3	56	4,2	0,7	29	I	B2ДС	Насіннєве	Чернігівська
11	119706	5	3Бп4Ос3Гз	26,6	21,4	54	3,9	0,7	29	I	B2ДС	Насіннєве	Чернігівська
12	119707	3	7Бп3Гз+Дз	26,1	26,5	52	10,4	0,7	124	I	C3ГДС	Насіннєве	Чернігівська
13	119709	3	3Сз4Бп2Дз1Гз	25,6	27,8	51	16,5	0,6	170	I	C2ГДС	Насіннєве	Чернігівська
14	110402	1	10Бп	27,3	26,5	60	7,5	0,95	62	I ^b	B3ДС	Насіннєве	Чернігівська
15	110406	1	9Бп1Сз	23,3	25,7	53	31,8	1,04	371	I ^b	B2ДС	Насіннєве	Рівненська
16	110504	3	8Бп2Сз	25	25	54	27,3	0,87	275	I ^a	B2ДС	Насіннєве	Рівненська
17	112001	211	7Бп3Ос	34,4	29	74	21,4	0,63	280	I	B2ДС	Веgetативне	Чернігівська
18	112002	20	5Бп3Ос1Дз1Гз	28,6	27	64	26,1	0,81	300	I	C3ГДС	Веgetативне	Чернігівська
19	111801	13	9Бп1Акб	27,6	25,7	71	29,05	0,87	345	I	C2ГДС	Веgetативне	Чернігівська
20	111802	11	8Бп2Сз	29,2	25,8	67	14,83	0,89	270	I ^a	B2ДС	Насіннєве	Чернігівська
21	111803	12	8Бп2Влч	29,2	18,9	62	14,83	0,91	280	I ^a	C3ГДС	Насіннєве	Чернігівська
22	111804	7	5Бп3Сз1Дз1Ос	26,2	21,6	79	11,15	0,6	320	II	C3ГДС	Насіннєве	Чернігівська

Продовження таблиці А.1

№	Шифр пробної площі	Кількість модельних дерев	Склад насадження	Діаметр, см	Висота, м	Вік, років	Повнота		Запас стовб. деревини, м ³ ·га ⁻¹	Бонітет	ТЛУ	Походження	Адм. область
							абс., м ² ·га ⁻¹	відн.					
23	111805	8	6Бп1Сз1Дз1Ос1Влч	32	27,5	72	19,8	0,75	275	I	ВЗДС	Насіннєве	Чернігівська
24	111806	6	8Бп2Сз+ДЗ	26,1	22	70	21	0,7	230	II	ВЗДС	Вегетативне	Чернігівська
25	111807	5	8Бп1Влч1Сз	28,2	23	65	17,5	0,7	250	II	СЗГДС	Вегетативне	Чернігівська
26	111808	3	7Бп3Ос+Лпд	27,8	24	65	21,2	0,7	250	I	С2ГДС	Вегетативне	Чернігівська

Таблиця А.2

Таксаційна характеристика модельних дерев

№	$d_{1.3}$, см	h , м	τ , см	B_{ik} , років	$V_{y.k}$	$V_{b.k}$	$f_{y.k}$	$f_{b.k}$	f_H	q_1	q_2	q_3	$q_{0.25}$	$q_{0.5}$	$q_{0.75}$
1	24,9	26,1	4,0	61	0,589	0,463	0,463	0,517	0,560	0,815	0,665	0,376	0,896	0,732	0,414
2	23,5	25,2	3,2	68	0,459	0,346	0,420	0,425	0,627	0,758	0,624	0,347	0,926	0,762	0,424
3	21,6	25,0	3,0	55	0,416	0,328	0,454	0,483	0,594	0,796	0,705	0,374	0,911	0,806	0,428
4	22,1	24,9	2,4	60	0,420	0,434	0,440	0,452	0,531	0,815	0,604	0,362	0,896	0,664	0,398
5	22,5	25,0	2,4	67	0,435	0,352	0,437	0,444	0,562	0,802	0,611	0,405	0,909	0,693	0,459
6	27,3	25,1	3,0	70	0,674	0,541	0,458	0,465	0,549	0,819	0,641	0,336	0,897	0,701	0,367
7	26,1	24,1	3,0	64	0,502	0,396	0,379	0,392	0,533	0,754	0,596	0,340	0,882	0,697	0,398
8	24,0	25,3	4,0	65	0,474	0,371	0,414	0,466	0,520	0,791	0,646	0,312	0,886	0,724	0,349
9	25,3	25,1	3,8	60	0,522	0,419	0,414	0,460	0,516	0,784	0,624	0,323	0,875	0,697	0,361
10	27,4	24,3	6,0	70	0,572	0,520	0,400	0,480	0,499	0,761	0,608	0,343	0,851	0,680	0,383
11	23,9	25,3	4,0	51	0,458	0,351	0,403	0,446	0,496	0,766	0,635	0,264	0,849	0,704	0,293
12	25,9	25,2	2,8	64	0,524	0,429	0,394	0,406	0,527	0,761	0,565	0,388	0,880	0,654	0,448
13	24,6	25,4	2,6	53	0,494	0,408	0,409	0,423	0,496	0,754	0,596	0,438	0,830	0,657	0,482
14	24,6	22,8	2,0	68	0,482	0,385	0,444	0,421	0,588	0,801	0,655	0,312	0,921	0,754	0,359
15	25,1	24,4	2,8	60	0,526	0,432	0,436	0,453	0,562	0,788	0,718	0,336	0,895	0,816	0,381
16	19,4	23,3	1,8	54	0,291	0,224	0,422	0,395	0,534	0,795	0,587	0,386	0,893	0,660	0,434
17	34,7	22,6	3,6	66	0,792	0,634	0,359	0,358	0,476	0,714	0,560	0,292	0,822	0,644	0,034
18	30,2	23,2	3,9	66	0,700	0,536	0,421	0,425	0,439	0,764	0,614	0,325	0,780	0,627	0,332
19	21,1	19,1	2,0	66	0,305	0,266	0,456	0,485	0,491	0,817	0,623	0,367	0,847	0,646	0,381
20	24,7	22,8	1,5	52	0,421	0,386	0,386	0,400	0,444	0,775	0,580	0,224	0,832	0,622	0,240
21	34,4	23,6	1,2	72	0,968	0,899	0,441	0,440	0,502	0,799	0,669	0,245	0,853	0,714	0,261
22	26,1	23,2	0,9	63	0,594	0,545	0,478	0,471	0,602	0,839	0,669	0,472	0,942	0,751	0,530
23	23,5	21,3	1,8	65	0,396	0,355	0,428	0,450	0,465	0,780	0,609	0,323	0,813	0,634	0,336
24	24,6	22,4	3,4	54	0,412	0,342	0,387	0,432	0,538	0,749	0,604	0,346	0,883	0,712	0,408
25	24,4	23,5	1,1	54	0,461	0,413	0,419	0,413	0,572	0,764	0,633	0,385	0,892	0,739	0,449
26	22,3	25,5	1,0	54	0,477	0,431	0,479	0,474	0,563	0,839	0,660	0,486	0,910	0,715	0,527
27	27,2	26,7	1,8	53	0,701	0,632	0,452	0,467	0,538	0,790	0,646	0,425	0,862	0,705	0,454
28	22,8	25,6	1,2	53	0,467	0,414	0,447	0,442	0,553	0,789	0,645	0,453	0,878	0,718	0,504

Продовження таблиці А.2

№	$d_{1.3}$, см	h , м	τ , см	B_{ik} , років	$V_{y.k}$	$V_{\bar{o}.k}$	$f_{y.k}$	$f_{\bar{o}.k}$	f_H	q_1	q_2	q_3	$q_{0.25}$	$q_{0.5}$	$q_{0.75}$
29	20,1	24,7	1,0	53	0,391	0,353	0,499	0,498	0,581	0,849	0,702	0,443	0,916	0,757	0,478
30	16,3	24,5	1,0	53	0,232	0,201	0,454	0,445	0,520	0,821	0,639	0,399	0,879	0,684	0,427
31	12,2	19,1	0,8	53	0,106	0,091	0,437	0,467	0,537	0,812	0,654	0,430	0,865	0,696	0,458
32	30,5	25,6	5,6	60	0,715	0,557	0,382	0,447	0,496	0,802	0,533	0,262	0,913	0,607	0,299
33	20,0	22,4	2,2	60	0,327	0,268	0,465	0,480	0,516	0,833	0,673	0,283	0,877	0,709	0,298
34	12,0	12,5	1,2	60	0,076	0,062	0,538	0,544	0,440	0,830	0,660	0,404	0,750	0,597	0,365
35	44,0	29,5	2,6	64	1,416	1,218	0,316	0,307	0,491	0,704	0,534	0,215	0,890	0,675	0,272
36	33,6	29,2	4,8	53	1,032	0,851	0,399	0,447	0,505	0,838	0,684	0,309	0,890	0,727	0,328
37	31,7	29,6	4,0	54	0,917	0,767	0,393	0,430	0,567	0,822	0,655	0,403	0,944	0,753	0,463
38	27,8	29,6	2,4	52	0,824	0,711	0,459	0,474	0,526	0,850	0,728	0,445	0,896	0,768	0,469
39	27,8	26,1	3,4	51	0,614	0,484	0,388	0,397	0,526	0,799	0,614	0,309	0,921	0,707	0,356
40	26,8	28,8	2,6	53	0,737	0,644	0,454	0,486	0,524	0,881	0,719	0,329	0,915	0,747	0,342
41	23,8	27,7	1,6	51	0,533	0,463	0,433	0,432	0,520	0,798	0,617	0,434	0,876	0,677	0,477
42	37,1	28,0	5,6	59	1,290	1,003	0,426	0,460	0,564	0,865	0,637	0,413	0,958	0,706	0,457
43	35,0	29,4	5,0	58	1,162	0,918	0,411	0,442	0,565	0,861	0,670	0,374	0,974	0,757	0,423
44	33,4	28,5	3,4	52	0,948	0,801	0,380	0,397	0,534	0,792	0,666	0,324	0,917	0,772	0,375
45	33,2	27,5	2,0	56	0,980	0,845	0,412	0,402	0,541	0,783	0,624	0,285	0,908	0,724	0,331
46	29,5	25,4	2,8	57	0,863	0,732	0,497	0,515	0,594	0,865	0,758	0,398	0,929	0,815	0,428
47	26,4	25,5	3,0	55	0,767	0,663	0,549	0,604	0,594	0,958	0,797	0,488	0,950	0,790	0,484
48	35,5	21,3	3,2	66	0,889	0,756	0,422	0,433	0,535	0,815	0,663	0,227	0,906	0,737	0,253
49	34,1	23,0	3,2	62	0,703	0,598	0,335	0,347	0,467	0,705	0,548	0,253	0,818	0,637	0,294
50	33,1	22,8	3,6	58	0,760	0,597	0,388	0,383	0,490	0,800	0,468	0,194	0,905	0,529	0,219
51	31,1	21,2	4,0	59	0,598	0,467	0,372	0,382	0,506	0,773	0,564	0,236	0,889	0,649	0,271
52	34,1	22,7	3,2	57	0,836	0,711	0,403	0,417	0,524	0,787	0,673	0,258	0,882	0,755	0,289
53	28,7	23,3	2,0	52	0,539	0,457	0,358	0,350	0,520	0,737	0,514	0,315	0,898	0,626	0,384
54	28,5	22,3	2,8	59	0,479	0,405	0,337	0,358	0,449	0,724	0,562	0,231	0,820	0,637	0,261
55	27,3	21,3	2,6	53	0,538	0,436	0,432	0,427	0,530	0,781	0,582	0,281	0,870	0,648	0,312
56	24,2	21,3	1,2	56	0,454	0,399	0,463	0,450	0,523	0,831	0,676	0,316	0,896	0,728	0,340
57	43,2	25,4	2,8	67	0,391	0,353	0,499	0,498	0,581	0,849	0,702	0,443	0,916	0,757	0,478

Продовження таблиці А.2

№	$d_{1.3}$, см	h , м	τ , см	Вік, років	$V_{y.k}$	$V_{б.к}$	$f_{y.k}$	$f_{б.к}$	f_H	q_1	q_2	q_3	$q_{0,25}$	$q_{0,5}$	$q_{0,75}$
58	38,2	25,1	3,8	67	1,130	0,947	0,393	0,406	0,471	0,840	0,592	0,217	0,904	0,637	0,234
59	35,6	26,8	4,0	67	0,990	0,819	0,371	0,390	0,558	0,787	0,644	0,254	0,942	0,770	0,303
60	34,0	24,4	5,0	53	0,908	0,730	0,410	0,453	0,553	0,784	0,672	0,341	0,866	0,743	0,376
61	33,3	27,6	3,8	61	0,992	0,831	0,413	0,440	0,544	0,859	0,672	0,242	0,955	0,747	0,269
62	29,3	20,7	2,8	51	0,579	0,465	0,415	0,407	0,475	0,758	0,689	0,161	0,819	0,744	0,173
63	29,2	23,2	2,2	56	0,676	0,596	0,435	0,449	0,530	0,823	0,701	0,242	0,894	0,762	0,263
64	27,5	23,0	3,8	55	0,460	0,383	0,337	0,377	0,420	0,723	0,565	0,268	0,763	0,597	0,283
65	24,0	21,2	2,6	55	0,405	0,333	0,422	0,437	0,542	0,812	0,673	0,350	0,904	0,749	0,389
66	20,7	23,2	1,8	51	0,368	0,317	0,471	0,486	0,575	0,864	0,676	0,403	0,940	0,735	0,439
67	44,4	28,8	4,4	76	1,734	1,476	0,389	0,408	0,494	0,865	0,503	0,281	0,952	0,553	0,310
68	39,5	29,0	3,0	58	1,404	1,206	0,395	0,397	0,515	0,792	0,602	0,253	0,902	0,686	0,288
69	37,0	27,1	4,0	53	1,077	0,906	0,370	0,391	0,510	0,761	0,602	0,338	0,870	0,688	0,387
70	35,0	24,9	4,8	56	1,029	0,873	0,430	0,490	0,585	0,841	0,752	0,443	0,919	0,821	0,484
71	33,5	25,0	4,8	59	1,132	0,963	0,514	0,595	0,605	0,950	0,785	0,545	0,957	0,791	0,549
72	32,5	22,2	3,0	59	0,775	0,666	0,421	0,439	0,548	0,852	0,594	0,411	0,952	0,664	0,459
73	31,0	25,0	5,0	51	0,637	0,491	0,337	0,370	0,510	0,720	0,588	0,350	0,846	0,691	0,411
74	30,0	22,8	2,4	51	0,627	0,543	0,389	0,398	0,554	0,803	0,648	0,234	0,947	0,765	0,276
75	29,9	27,0	3,0	54	0,831	0,705	0,438	0,460	0,556	0,846	0,689	0,338	0,931	0,758	0,372
76	29,8	21,7	2,4	58	0,535	0,456	0,353	0,356	0,442	0,769	0,521	0,202	0,858	0,581	0,225
77	29,6	27,3	5,2	53	0,667	0,543	0,355	0,425	0,511	0,790	0,606	0,402	0,865	0,665	0,440
78	24,1	25,0	3,0	55	0,452	0,380	0,397	0,435	0,579	0,810	0,661	0,382	0,934	0,762	0,440
79	24,1	21,2	2,2	52	0,367	0,315	0,379	0,395	0,495	0,778	0,614	0,228	0,870	0,687	0,255
80	19,7	23,0	1,4	61	0,310	0,271	0,442	0,449	0,511	0,847	0,599	0,330	0,905	0,640	0,352
81	48,7	27,3	3,8	90	2,017	1,756	0,397	0,406	0,591	0,771	0,614	0,303	0,930	0,741	0,365
82	42,1	23,1	4,4	71	1,191	0,998	0,370	0,387	0,507	0,763	0,570	0,222	0,730	0,653	0,255
83	36,5	22,3	3,4	71	0,849	0,715	0,364	0,373	0,513	0,786	0,478	0,215	0,922	0,560	0,253
84	32,0	24,2	2,6	72	0,832	0,701	0,427	0,427	0,571	0,780	0,657	0,336	0,902	0,760	0,389
85	30,7	22,5	2,8	65	0,705	0,587	0,423	0,427	0,585	0,736	0,652	0,406	0,861	0,762	0,457
86	30,1	22,9	3,2	53	1,130	0,947	0,393	0,406	0,471	0,840	0,592	0,217	0,904	0,637	0,234

Продовження таблиці А.2

№	$d_{1.3}$, см	h , м	τ , см	B_{ik} , років	$V_{y.k}$	$V_{b.k}$	$f_{y.k}$	$f_{b.k}$	f_H	q_1	q_2	q_3	$q_{0,25}$	$q_{0,5}$	$q_{0,75}$
87	27,8	24,1	3,6	74	0,588	0,473	0,426	0,456	0,592	0,806	0,687	0,424	0,918	0,782	0,483
88	26,7	21,7	3,6	74	0,628	0,509	0,517	0,560	0,553	0,956	0,711	0,427	0,950	0,706	0,424
89	25,8	21,3	2,4	74	0,402	0,335	0,361	0,366	0,535	0,746	0,597	0,291	0,902	0,723	0,352
90	23,0	20,1	2,9	74	0,373	0,314	0,447	0,492	0,557	0,800	0,697	0,439	0,852	0,742	0,467
91	22,4	20,7	2,2	74	0,351	0,287	0,431	0,433	0,529	0,867	0,680	0,210	0,958	0,751	0,233
92	19,2	20,7	2,4	74	0,256	0,207	0,428	0,451	0,565	0,827	0,611	0,356	0,926	0,684	0,398
93	18,0	19,2	3,0	74	0,239	0,190	0,489	0,561	0,572	0,881	0,695	0,377	0,890	0,702	0,381
94	16,6	18,0	2,4	74	0,159	0,118	0,407	0,415	0,487	0,803	0,570	0,272	0,870	0,618	0,294
95	15,6	21,1	2,0	74	0,204	0,157	0,506	0,513	0,589	0,849	0,677	0,318	0,910	0,725	0,341
96	43,0	19,9	3,0	74	1,013	0,880	0,351	0,321	0,437	0,805	0,417	0,208	0,897	0,465	0,231
97	36,7	22,8	2,4	74	0,982	0,853	0,407	0,405	0,510	0,818	0,536	0,214	0,918	0,602	0,241
98	35,0	23,5	2,8	74	0,951	0,816	0,420	0,426	0,524	0,823	0,557	0,302	0,912	0,618	0,334
99	33,7	23,6	3,0	74	0,830	0,684	0,394	0,391	0,553	0,759	0,567	0,340	0,902	0,674	0,404
100	33,2	22,0	2,4	74	0,647	0,559	0,340	0,341	0,487	0,735	0,396	0,227	0,878	0,473	0,271
101	32,0	22,4	3,4	74	0,633	0,536	0,351	0,373	0,563	0,710	0,619	0,354	0,873	0,761	0,436
102	31,3	20,5	2,4	74	0,612	0,529	0,388	0,394	0,479	0,714	0,582	0,188	0,787	0,642	0,207
103	28,6	21,8	2,0	53	0,600	0,525	0,428	0,433	0,553	0,834	0,580	0,240	0,942	0,655	0,271
104	28,4	23,0	2,2	57	0,554	0,487	0,380	0,392	0,584	0,774	0,589	0,296	0,944	0,718	0,361
105	28,0	21,1	2,4	55	0,549	0,472	0,423	0,434	0,546	0,791	0,635	0,317	0,887	0,711	0,356
106	25,0	19,3	2,4	58	0,389	0,332	0,410	0,429	0,436	0,862	0,535	0,245	0,870	0,540	0,247
107	24,8	21,6	3,0	57	0,444	0,376	0,425	0,466	0,559	0,802	0,653	0,331	0,879	0,715	0,362
108	19,8	20,1	2,2	51	0,320	0,261	0,517	0,533	0,543	0,885	0,682	0,331	0,893	0,688	0,334
109	17,8	19,8	1,6	51	0,252	0,220	0,511	0,539	0,621	0,890	0,668	0,313	0,956	0,717	0,337
110	13,6	18,9	1,2	54	0,147	0,124	0,520	0,527	0,597	0,919	0,722	0,330	0,978	0,769	0,352
111	52,7	29,5	3,0	79	2,522	2,307	0,392	0,403	0,468	0,753	0,616	0,331	0,823	0,673	0,362
112	31,0	21,5	0,9	79	0,739	0,693	0,456	0,453	0,545	0,776	0,682	0,472	0,848	0,746	0,516
113	28,1	20,4	2,1	79	0,780	0,722	0,617	0,667	0,583	0,891	0,751	0,633	0,866	0,730	0,616
114	29,1	22,5	2,3	79	0,752	0,679	0,503	0,535	0,523	0,784	0,654	0,523	0,800	0,667	0,533
115	29,0	24,8	1,3	79	0,588	0,473	0,426	0,456	0,592	0,806	0,687	0,424	0,918	0,782	0,483

Продовження таблиці А.2

№	$d_{1.3}$, см	h , м	τ , см	Вік, років	$V_{y.k}$	$V_{б.к}$	$f_{y.k}$	$f_{б.к}$	f_H	q_1	q_2	q_3	$q_{0,25}$	$q_{0,5}$	$q_{0,75}$
116	29,5	24,5	2,2	79	0,742	0,675	0,443	0,471	0,561	0,813	0,625	0,391	0,916	0,704	0,441
117	31,0	25,2	2,1	79	0,753	0,669	0,396	0,404	0,411	0,772	0,598	0,262	0,786	0,609	0,267
118	22,0	14,8	0,5	74	0,340	0,323	0,604	0,602	0,667	0,879	0,726	0,644	0,923	0,762	0,676
119	23,1	18,4	0,6	74	0,427	0,400	0,554	0,547	0,614	0,848	0,699	0,575	0,892	0,736	0,606
120	17,4	18,4	0,6	74	0,268	0,252	0,612	0,597	0,630	0,951	0,750	0,540	0,964	0,760	0,548
121	27,0	19,6	0,9	74	0,638	0,602	0,569	0,574	0,563	0,864	0,723	0,610	0,861	0,720	0,607
122	23,0	18,7	0,5	74	0,367	0,345	0,473	0,485	0,586	0,793	0,694	0,396	0,883	0,773	0,441
123	22,0	15,5	0,5	74	0,330	0,311	0,561	0,552	0,549	0,868	0,676	0,586	0,859	0,668	0,580
124	18,0	17,2	0,5	74	0,256	0,242	0,585	0,585	0,643	0,901	0,739	0,672	0,944	0,774	0,705
125	25,0	19,3	0,6	74	0,543	0,518	0,573	0,574	0,648	0,883	0,775	0,546	0,939	0,824	0,581
126	16,9	18,8	0,5	74	0,220	0,208	0,521	0,522	0,566	0,795	0,696	0,537	0,828	0,725	0,559
127	16,1	17,3	0,4	74	0,217	0,206	0,615	0,616	0,641	0,909	0,762	0,591	0,928	0,777	0,603
128	19,1	18,4	0,4	74	0,310	0,293	0,588	0,579	0,589	0,956	0,737	0,542	0,957	0,737	0,543
129	31,5	20,4	0,7	74	0,680	0,649	0,428	0,427	0,549	0,795	0,655	0,452	0,901	0,742	0,513
130	34,0	25,0	3,1	74	0,806	0,738	0,355	0,394	0,442	0,697	0,545	0,300	0,778	0,609	0,335
131	34,2	24,5	2,1	67	0,895	0,826	0,398	0,416	0,478	0,767	0,584	0,379	0,841	0,640	0,415
132	28,2	24,5	1,2	67	0,623	0,587	0,407	0,425	0,468	0,821	0,608	0,284	0,880	0,652	0,305
133	30,2	27,5	2,8	67	0,662	0,604	0,336	0,373	0,503	0,752	0,517	0,242	0,920	0,633	0,296
134	22,1	24,5	1,1	67	0,365	0,337	0,389	0,397	0,464	0,787	0,576	0,330	0,860	0,629	0,361
135	30,1	25,9	1,8	67	0,779	0,724	0,423	0,444	0,522	0,783	0,640	0,355	0,870	0,711	0,394
136	23,1	27,1	0,9	67	0,481	0,451	0,424	0,430	0,544	0,823	0,633	0,370	0,933	0,717	0,420
137	29,1	26,4	0,9	67	0,823	0,778	0,468	0,472	0,487	0,810	0,682	0,370	0,826	0,696	0,377
138	35,2	28,1	1,5	67	1,175	1,121	0,430	0,447	0,574	0,829	0,667	0,345	0,958	0,771	0,399
139	27,0	25,8	0,8	67	0,681	0,644	0,461	0,463	0,508	0,787	0,675	0,465	0,826	0,708	0,488
140	25,5	24,0	0,8	67	0,607	0,568	0,496	0,494	0,530	0,836	0,659	0,438	0,865	0,682	0,453
141	25,0	23,5	2,2	51	0,462	0,384	0,400	0,400	0,539	0,794	0,599	0,338	0,921	0,695	0,392
142	20,0	21,0	1,4	59	0,249	0,221	0,377	0,388	0,433	0,788	0,525	0,232	0,844	0,562	0,249
143	22,6	23,1	1,7	57	0,390	0,348	0,421	0,440	0,500	0,796	0,692	0,251	0,867	0,753	0,273
144	28,0	25,0	1,3	57	0,742	0,675	0,443	0,471	0,561	0,813	0,625	0,391	0,916	0,704	0,441

Продовження таблиці А.2

№	$d_{1.3}$, см	h , м	τ , см	Вік, років	$V_{y.k}$	$V_{б.к}$	$f_{y.k}$	$f_{б.к}$	f_H	q_1	q_2	q_3	$q_{0,25}$	$q_{0,5}$	$q_{0,75}$
145	24,4	28,5	1,0	74	0,665	0,620	0,499	0,506	0,557	0,828	0,712	0,484	0,874	0,751	0,511
146	24,4	26,0	1,0	74	0,516	0,478	0,424	0,428	0,535	0,748	0,623	0,456	0,840	0,700	0,512
147	24,5	27,0	1,0	74	0,695	0,649	0,546	0,554	0,597	0,855	0,725	0,559	0,894	0,758	0,585
148	27,8	25,0	1,1	74	0,542	0,496	0,357	0,354	0,524	0,686	0,572	0,301	0,831	0,692	0,364
149	27,8	27,2	1,0	74	0,640	0,587	0,387	0,383	0,464	0,738	0,571	0,378	0,808	0,625	0,414
150	28,0	27,2	1,7	74	0,664	0,612	0,397	0,414	0,541	0,765	0,630	0,296	0,894	0,736	0,346
151	28,1	27,4	1,2	74	0,655	0,612	0,386	0,393	0,522	0,757	0,616	0,302	0,881	0,716	0,351
152	28,2	29,0	1,3	74	0,910	0,837	0,502	0,508	0,569	0,824	0,715	0,510	0,876	0,761	0,542
153	28,2	27,6	1,0	74	0,768	0,712	0,446	0,444	0,558	0,786	0,673	0,408	0,879	0,753	0,457
154	32,1	26,5	1,6	74	0,941	0,877	0,439	0,453	0,577	0,781	0,663	0,415	0,896	0,760	0,475
155	32,3	28,2	1,3	74	0,880	0,813	0,381	0,382	0,571	0,736	0,589	0,343	0,901	0,722	0,420
156	32,4	26,8	1,5	74	0,820	0,757	0,371	0,377	0,536	0,726	0,579	0,373	0,872	0,695	0,448
157	36,4	26,5	2,0	74	1,032	0,948	0,374	0,385	0,491	0,775	0,577	0,259	0,887	0,660	0,297
158	22,1	24,5	1,1	67	0,365	0,337	0,389	0,397	0,464	0,787	0,576	0,330	0,860	0,629	0,361
159	23,1	27,1	0,9	67	0,481	0,451	0,424	0,430	0,544	0,823	0,633	0,370	0,933	0,717	0,420
160	25,5	24,0	0,8	67	0,607	0,568	0,496	0,494	0,530	0,836	0,659	0,438	0,865	0,682	0,453
161	27,0	25,8	0,8	67	0,681	0,644	0,461	0,463	0,508	0,787	0,675	0,465	0,826	0,708	0,488
162	28,2	24,5	1,2	67	0,623	0,587	0,407	0,425	0,468	0,821	0,608	0,284	0,880	0,652	0,305
163	29,1	26,4	0,9	67	0,823	0,778	0,468	0,472	0,487	0,810	0,682	0,370	0,826	0,696	0,377
164	30,1	25,9	1,8	67	0,779	0,724	0,423	0,444	0,522	0,783	0,640	0,355	0,870	0,711	0,394
165	30,2	27,5	2,8	67	0,662	0,604	0,336	0,373	0,503	0,752	0,517	0,242	0,920	0,633	0,296
166	34,0	25,0	3,1	67	0,806	0,738	0,355	0,394	0,442	0,697	0,545	0,300	0,778	0,609	0,335
167	34,2	24,5	2,1	67	0,895	0,826	0,398	0,416	0,478	0,767	0,584	0,379	0,841	0,640	0,415
168	35,2	28,1	1,5	67	1,175	1,121	0,430	0,447	0,574	0,829	0,667	0,345	0,958	0,771	0,399
169	16,1	17,3	0,4	62	0,217	0,206	0,615	0,616	0,641	0,909	0,762	0,591	0,928	0,777	0,603
170	16,9	18,8	0,5	62	0,220	0,208	0,521	0,522	0,566	0,795	0,696	0,537	0,828	0,725	0,559
171	17,4	18,4	0,6	62	0,268	0,252	0,612	0,597	0,630	0,951	0,750	0,540	0,964	0,760	0,548
172	18,0	17,2	0,5	62	0,256	0,242	0,585	0,585	0,643	0,901	0,739	0,672	0,944	0,774	0,705
173	19,1	18,4	0,4	62	0,665	0,620	0,499	0,506	0,557	0,828	0,712	0,484	0,874	0,751	0,511

Продовження таблиці А.2

№	$d_{1.3}$, см	h , м	τ , см	Вік, років	$V_{y.k}$	$V_{б.k}$	$f_{y.k}$	$f_{б.k}$	f_H	q_1	q_2	q_3	$q_{0,25}$	$q_{0,5}$	$q_{0,75}$
174	22,0	15,5	0,5	62	0,330	0,311	0,561	0,552	0,549	0,868	0,676	0,586	0,859	0,668	0,580
175	22,0	14,8	0,5	62	0,340	0,323	0,604	0,602	0,667	0,879	0,726	0,644	0,923	0,762	0,676
176	23,0	18,7	0,5	62	0,367	0,345	0,473	0,485	0,586	0,793	0,694	0,396	0,883	0,773	0,441
177	23,1	18,4	0,6	62	0,427	0,400	0,554	0,547	0,614	0,848	0,699	0,575	0,892	0,736	0,606
178	25,0	19,3	0,6	62	0,543	0,518	0,573	0,574	0,648	0,883	0,775	0,546	0,939	0,824	0,581
179	27,0	19,6	0,9	62	0,638	0,602	0,569	0,574	0,563	0,864	0,723	0,610	0,861	0,720	0,607
180	31,5	20,4	0,7	62	0,680	0,649	0,428	0,427	0,549	0,795	0,655	0,452	0,901	0,742	0,513
181	28,1	20,4	2,1	79	0,780	0,722	0,617	0,667	0,583	0,891	0,751	0,633	0,866	0,730	0,616
182	29,0	24,8	1,3	79	0,856	0,797	0,522	0,533	0,604	0,847	0,705	0,532	0,911	0,758	0,572
183	29,1	22,5	2,3	79	0,752	0,679	0,503	0,535	0,523	0,784	0,654	0,523	0,800	0,667	0,533
184	29,5	24,5	2,2	79	0,742	0,675	0,443	0,471	0,561	0,813	0,625	0,391	0,916	0,704	0,441
185	31,0	25,2	2,1	79	0,753	0,669	0,396	0,404	0,411	0,772	0,598	0,262	0,786	0,609	0,267
186	31,0	21,5	0,9	79	0,739	0,693	0,456	0,453	0,545	0,776	0,682	0,472	0,848	0,746	0,516
187	52,7	29,5	3,0	79	2,522	2,307	0,392	0,403	0,468	0,753	0,616	0,331	0,823	0,673	0,362
188	24,6	25,8	2,2	57	0,472	0,377	0,381	0,371	0,549	0,713	0,579	0,306	0,855	0,695	0,367
189	25,5	26,3	2,8	72	0,644	0,537	0,479	0,504	0,558	0,849	0,669	0,372	0,915	0,722	0,402
190	26,1	26,9	1,4	67	0,690	0,589	0,479	0,457	0,626	0,833	0,702	0,350	0,952	0,802	0,401
191	28,7	25,5	3,0	72	0,681	0,574	0,413	0,434	0,492	0,766	0,591	0,348	0,847	0,645	0,380
192	29,2	25,0	4,5	71	0,686	0,532	0,410	0,444	0,546	0,767	0,596	0,321	0,880	0,688	0,370
193	31,5	24,5	4,2	65	0,708	0,577	0,371	0,402	0,524	0,722	0,578	0,381	0,857	0,687	0,453
194	21,0	24,8	3,0	74	0,416	0,331	0,485	0,525	0,561	0,830	0,672	0,315	0,894	0,723	0,340
195	24,7	24,5	4,0	74	0,499	0,401	0,425	0,486	0,531	0,812	0,634	0,238	0,907	0,708	0,266
196	26,0	24,2	4,0	74	0,394	0,321	0,307	0,348	0,446	0,687	0,423	0,184	0,828	0,510	0,222
197	27,5	23,9	6,8	74	0,568	0,410	0,400	0,510	0,497	0,727	0,578	0,370	0,810	0,644	0,412
198	30,5	25,2	3,0	74	0,847	0,692	0,460	0,462	0,577	0,824	0,707	0,380	0,923	0,792	0,425
199	24,6	25,4	2,6	74	0,494	0,408	0,409	0,423	0,496	0,754	0,596	0,438	0,830	0,657	0,482
200	27,0	26,9	2,7	74	0,696	0,603	0,452	0,483	0,584	0,801	0,678	0,339	0,910	0,770	0,385
201	28,0	26,0	4,8	74	0,597	0,468	0,373	0,426	0,578	0,731	0,589	0,323	0,910	0,733	0,402
202	33,0	25,5	5,0	74	0,330	0,311	0,561	0,552	0,549	0,868	0,676	0,586	0,859	0,668	0,580

Продовження таблиці А.2

№	$d_{1.3}$, см	h , м	τ , см	Вік, років	$V_{y.k}$	$V_{б.к}$	$f_{y.k}$	$f_{б.к}$	f_H	q_1	q_2	q_3	$q_{0,25}$	$q_{0,5}$	$q_{0,75}$
203	19,4	23,3	1,8	54	0,291	0,224	0,422	0,395	0,534	0,795	0,587	0,386	0,893	0,660	0,434
204	21,6	25,0	3,0	55	0,416	0,328	0,454	0,483	0,594	0,796	0,705	0,374	0,911	0,806	0,428
205	22,5	25,0	2,4	67	0,435	0,352	0,437	0,444	0,562	0,802	0,611	0,405	0,909	0,693	0,459
206	24,0	25,3	4,0	65	0,474	0,371	0,414	0,466	0,520	0,791	0,646	0,312	0,886	0,724	0,349
207	24,5	23,0	3,0	66	0,401	0,309	0,370	0,370	0,477	0,723	0,551	0,272	0,821	0,626	0,309
208	24,9	26,1	4,0	61	0,589	0,463	0,463	0,517	0,560	0,815	0,665	0,376	0,896	0,732	0,414
209	25,9	25,2	2,8	64	0,524	0,429	0,394	0,406	0,527	0,761	0,565	0,388	0,880	0,654	0,448
210	26,0	25,0	2,8	59	0,536	0,464	0,404	0,422	0,560	0,762	0,585	0,396	0,898	0,689	0,467
211	26,1	24,1	3,0	64	0,502	0,396	0,379	0,392	0,533	0,754	0,596	0,340	0,882	0,697	0,398
212	27,7	27,0	3,4	74	0,720	0,585	0,443	0,467	0,541	0,809	0,647	0,374	0,895	0,715	0,414
213	18,5	24,1	2,6	74	0,315	0,254	0,486	0,531	0,554	0,813	0,643	0,423	0,867	0,686	0,451
214	18,5	24,0	1,4	74	0,286	0,239	0,444	0,434	0,564	0,784	0,623	0,320	0,884	0,702	0,361
215	21,0	23,7	3,8	74	0,349	0,250	0,425	0,455	0,533	0,761	0,602	0,237	0,851	0,674	0,265
216	21,6	25,0	3,0	74	0,438	0,344	0,478	0,506	0,499	0,828	0,647	0,405	0,846	0,661	0,414
217	22,6	24,3	3,2	74	0,370	0,290	0,380	0,404	0,501	0,739	0,569	0,302	0,849	0,654	0,348
218	23,7	25,6	2,0	74	0,484	0,388	0,429	0,410	0,553	0,757	0,635	0,365	0,860	0,722	0,415
219	23,8	24,2	2,2	74	0,328	0,269	0,305	0,303	0,458	0,738	0,365	0,163	0,905	0,447	0,199
220	24,0	24,8	3,0	74	0,558	0,446	0,497	0,519	0,539	0,832	0,652	0,428	0,865	0,678	0,445
221	24,2	25,5	3,0	74	0,470	0,365	0,401	0,405	0,551	0,751	0,629	0,263	0,880	0,737	0,309
222	26,4	25,5	4,4	71	0,632	0,510	0,453	0,526	0,509	0,796	0,655	0,380	0,844	0,695	0,403
223	21,5	23	4,0	56	0,373	0,290	0,447	0,524	0,510	0,806	0,643	0,338	0,861	0,687	0,361
224	23,9	25,3	4,0	51	0,458	0,351	0,403	0,446	0,496	0,766	0,635	0,264	0,849	0,704	0,293
225	24,5	24,9	3,0	59	0,528	0,434	0,450	0,480	0,555	0,773	0,678	0,399	0,859	0,753	0,443
226	24,6	22,8	2,0	68	0,482	0,385	0,444	0,421	0,588	0,801	0,655	0,312	0,921	0,754	0,359
227	25,1	24,8	4,0	65	0,592	0,465	0,482	0,536	0,532	0,855	0,651	0,345	0,898	0,684	0,362
228	25,1	24,4	2,8	60	0,526	0,432	0,436	0,453	0,562	0,788	0,718	0,336	0,895	0,816	0,381
229	25,3	25,1	3,8	60	0,522	0,419	0,414	0,460	0,516	0,784	0,624	0,323	0,875	0,697	0,361
230	26,0	25,0	4,4	69	0,515	0,390	0,388	0,426	0,494	0,778	0,545	0,226	0,878	0,615	0,255
231	27,3	25,1	3,0	70	0,291	0,224	0,422	0,395	0,534	0,795	0,587	0,386	0,893	0,660	0,434

Продовження таблиці А.2

№	$d_{1.3}$, см	h , м	τ , см	Вік, років	$V_{y.k}$	$V_{б.к}$	$f_{y.k}$	$f_{б.к}$	f_H	q_1	q_2	q_3	$q_{0,25}$	$q_{0,5}$	$q_{0,75}$
232	20,3	24,7	3,0	70	0,342	0,264	0,427	0,454	0,527	0,776	0,606	0,327	0,862	0,673	0,364
233	22,0	25,6	2,0	62	0,450	0,370	0,463	0,460	0,556	0,838	0,642	0,383	0,918	0,704	0,420
234	24,1	20,2	4,8	58	0,427	0,326	0,463	0,552	0,425	0,819	0,615	0,290	0,784	0,590	0,278
235	24,1	25,2	4,4	73	0,510	0,394	0,444	0,513	0,547	0,825	0,617	0,411	0,917	0,685	0,456
236	26,0	25,0	4,4	67	0,444	0,335	0,335	0,365	0,487	0,709	0,542	0,220	0,855	0,654	0,266
237	26,7	25,5	3,0	65	0,552	0,404	0,387	0,359	0,525	0,758	0,574	0,359	0,883	0,669	0,418
238	29,4	25,0	4,8	73	0,647	0,521	0,381	0,439	0,534	0,719	0,567	0,321	0,851	0,671	0,380
239	31,0	26,0	4,2	79	0,901	0,719	0,459	0,490	0,546	0,834	0,661	0,358	0,910	0,722	0,391
240	35,0	26,0	6,0	74	0,783	0,582	0,313	0,339	0,465	0,641	0,469	0,301	0,782	0,571	0,366
241	35,5	25,7	6,0	78	1,077	0,845	0,423	0,481	0,521	0,798	0,655	0,281	0,885	0,727	0,312
242	19,6	24,0	3,6	51	0,324	0,258	0,447	0,534	0,535	0,769	0,590	0,405	0,841	0,646	0,444
243	22,5	24,5	1,8	60	0,447	0,350	0,459	0,424	0,581	0,816	0,657	0,392	0,918	0,739	0,442
244	24,5	26,0	4,0	63	0,561	0,454	0,457	0,529	0,561	0,815	0,657	0,382	0,902	0,728	0,423
245	25,5	25,3	4,8	66	0,513	0,398	0,397	0,468	0,440	0,741	0,556	0,358	0,781	0,585	0,377
246	28,0	24,5	4,8	74	0,616	0,496	0,409	0,479	0,528	0,731	0,602	0,383	0,831	0,684	0,435
247	29,0	25,5	2,2	74	0,653	0,547	0,388	0,380	0,514	0,735	0,540	0,361	0,782	0,583	0,293
248	22,0	24,3	2,0	74	0,417	0,340	0,452	0,445	0,538	0,816	0,653	0,377	0,891	0,713	0,411
249	22,1	24,9	2,4	74	0,420	0,434	0,440	0,452	0,531	0,815	0,604	0,362	0,896	0,664	0,398
250	23,1	24,5	3,2	74	0,502	0,419	0,489	0,549	0,535	0,861	0,682	0,354	0,900	0,713	0,370
251	23,5	25,2	3,2	74	0,459	0,346	0,420	0,425	0,627	0,758	0,624	0,347	0,926	0,762	0,424
252	26,1	25,0	2,0	74	0,709	0,619	0,530	0,542	0,542	0,890	0,720	0,405	0,901	0,728	0,410
253	26,6	25,0	5,0	74	0,512	0,379	0,369	0,414	0,491	0,746	0,539	0,344	0,860	0,621	0,397
254	27,4	24,3	6,0	74	0,572	0,520	0,400	0,480	0,499	0,761	0,608	0,343	0,851	0,680	0,383
255	27,4	24,5	3,2	51	0,567	0,429	0,393	0,391	0,543	0,753	0,616	0,335	0,885	0,724	0,393
256	17,2	23,1	2,0	52	0,274	0,211	0,510	0,503	0,517	0,892	0,595	0,301	0,898	0,599	0,303
257	18,6	25,5	2,4	62	0,354	0,258	0,511	0,548	0,529	0,825	0,672	0,317	0,839	0,683	0,323
258	19,2	22,3	2,0	56	0,242	0,193	0,375	0,372	0,472	0,777	0,473	0,200	0,871	0,531	0,224
259	20,5	25,3	1,6	71	0,398	0,331	0,476	0,467	0,527	0,786	0,641	0,393	0,827	0,674	0,413
260	21,5	25,0	1,6	57	0,342	0,264	0,427	0,454	0,527	0,776	0,606	0,327	0,862	0,673	0,364

Продовження таблиці А.2

№	$d_{1.3}$, см	h , м	τ , см	Вік, років	$V_{y.k}$	$V_{б.к}$	$f_{y.k}$	$f_{б.к}$	f_H	q_1	q_2	q_3	$q_{0,25}$	$q_{0,5}$	$q_{0,75}$
261	22	22,5	5,0	51	0,305	0,215	0,356	0,420	0,420	0,692	0,522	0,300	0,751	0,566	0,326
262	29,2	25,5	3,6	76	0,689	0,546	0,404	0,416	0,555	0,759	0,596	0,347	0,890	0,699	0,407
263	16,0	21,4	2,8	55	0,199	0,142	0,462	0,486	0,501	0,771	0,602	0,344	0,803	0,627	0,358
264	19,0	24,3	2,0	57	0,232	0,183	0,337	0,332	0,512	0,675	0,522	0,302	0,832	0,644	0,372
265	21,2	24,1	3,2	80	0,322	0,246	0,379	0,400	0,553	0,704	0,551	0,346	0,851	0,667	0,418
266	23,0	24,8	3,4	71	0,476	0,385	0,462	0,514	0,531	0,789	0,582	0,377	0,846	0,624	0,405
267	23,2	24,3	1,4	70	0,449	0,380	0,437	0,419	0,546	0,810	0,632	0,347	0,905	0,706	0,387
268	27,5	25,0	3,8	74	0,653	0,522	0,440	0,474	0,524	0,820	0,663	0,331	0,896	0,724	0,362
269	25,0	23,5	2,2	51	0,462	0,384	0,400	0,400	0,539	0,794	0,599	0,338	0,921	0,695	0,392
270	12,0	12,5	1,2	60	0,076	0,062	0,538	0,544	0,440	0,830	0,660	0,404	0,750	0,597	0,365
271	20,0	22,4	2,2	60	0,327	0,268	0,465	0,480	0,516	0,833	0,673	0,283	0,877	0,709	0,298
272	30,5	25,6	5,6	60	0,715	0,557	0,382	0,447	0,496	0,802	0,533	0,262	0,913	0,607	0,299
273	12,2	19,1	0,8	53	0,106	0,091	0,437	0,467	0,537	0,812	0,654	0,430	0,865	0,696	0,458
274	16,3	24,5	1,0	53	0,232	0,201	0,454	0,445	0,520	0,821	0,639	0,399	0,879	0,684	0,427
275	20,1	24,7	1,0	53	0,391	0,353	0,499	0,498	0,581	0,849	0,702	0,443	0,916	0,757	0,478
276	22,8	25,6	1,2	53	0,467	0,414	0,447	0,442	0,553	0,789	0,645	0,453	0,878	0,718	0,504
277	27,2	26,7	1,8	53	0,701	0,632	0,452	0,467	0,538	0,790	0,646	0,425	0,862	0,705	0,454
278	22,3	25,5	1,0	54	0,477	0,431	0,479	0,474	0,563	0,839	0,660	0,486	0,910	0,715	0,527
279	24,4	23,5	1,1	54	0,461	0,413	0,419	0,413	0,572	0,764	0,633	0,385	0,892	0,739	0,449
280	24,6	22,4	3,4	54	0,412	0,342	0,387	0,432	0,538	0,749	0,604	0,346	0,883	0,712	0,408
281	23,5	21,3	1,8	65	0,396	0,355	0,428	0,450	0,465	0,780	0,609	0,323	0,813	0,634	0,336
282	26,1	23,2	0,9	63	0,594	0,545	0,478	0,471	0,602	0,839	0,669	0,472	0,942	0,751	0,530
283	34,4	23,6	1,2	72	0,968	0,899	0,441	0,440	0,502	0,799	0,669	0,245	0,853	0,714	0,261
284	24,7	22,8	1,5	52	0,421	0,386	0,386	0,400	0,444	0,775	0,580	0,224	0,832	0,622	0,240
285	28,0	25,0	1,3	57	0,489	0,437	0,317	0,312	0,418	0,741	0,523	0,071	0,850	0,600	0,082
286	22,6	23,1	1,7	57	0,390	0,348	0,421	0,440	0,500	0,796	0,692	0,251	0,867	0,753	0,273
287	20,0	21,0	1,4	59	0,249	0,221	0,377	0,388	0,433	0,788	0,525	0,232	0,844	0,562	0,249
288	30,2	23,2	3,9	66	0,700	0,536	0,421	0,425	0,439	0,764	0,614	0,325	0,780	0,627	0,332
289	34,7	22,6	3,6	66	0,305	0,215	0,356	0,420	0,420	0,692	0,522	0,300	0,751	0,566	0,326

Продовження таблиці А.2

№	$d_{1.3}$, см	h , м	τ , см	B_{ik} , років	$V_{y.k}$	$V_{b.k}$	$f_{y.k}$	$f_{b.k}$	f_H	q_1	q_2	q_3	$q_{0,25}$	$q_{0,5}$	$q_{0,75}$
290	21,1	19,1	2,0	66	0,305	0,266	0,456	0,485	0,491	0,817	0,623	0,367	0,847	0,646	0,381
291	13,6	18,9	1,2	54	0,147	0,124	0,520	0,527	0,597	0,919	0,722	0,330	0,978	0,769	0,352
292	17,8	19,8	1,6	51	0,252	0,220	0,511	0,539	0,621	0,890	0,668	0,313	0,956	0,717	0,337
293	19,8	20,1	2,2	51	0,320	0,261	0,517	0,533	0,543	0,885	0,682	0,331	0,893	0,688	0,334
294	24,8	21,6	3,0	57	0,444	0,376	0,425	0,466	0,559	0,802	0,653	0,331	0,879	0,715	0,362
295	25,0	19,3	2,4	58	0,389	0,332	0,410	0,429	0,436	0,862	0,535	0,245	0,870	0,540	0,247
296	8,2	12,5	0,7	55	0,036	0,029	0,542	0,516	0,554	0,925	0,681	0,388	0,934	0,688	0,392
297	8,9	13,6	0,5	57	0,046	0,038	0,540	0,543	0,572	0,864	0,729	0,478	0,890	0,751	0,492
298	9,0	12,7	0,8	53	0,042	0,036	0,524	0,499	0,596	0,832	0,703	0,375	0,880	0,749	0,400
299	8,7	13,2	0,6	51	0,040	0,030	0,515	0,484	0,567	0,851	0,664	0,332	0,892	0,697	0,348
300	32,0	22,4	3,4	56	0,633	0,536	0,351	0,373	0,563	0,710	0,619	0,354	0,873	0,761	0,436
301	33,2	22,0	2,4	58	0,647	0,559	0,340	0,341	0,487	0,735	0,396	0,227	0,878	0,473	0,271
302	33,7	23,6	3,0	60	0,830	0,684	0,394	0,391	0,553	0,759	0,567	0,340	0,902	0,674	0,404
303	35,0	23,5	2,8	58	0,951	0,816	0,420	0,426	0,524	0,823	0,557	0,302	0,912	0,618	0,334
304	36,7	22,8	2,4	56	0,982	0,853	0,407	0,405	0,510	0,818	0,536	0,214	0,918	0,602	0,241
305	43,0	19,9	3,0	56	1,013	0,880	0,351	0,321	0,437	0,805	0,417	0,208	0,897	0,465	0,231
306	15,6	21,1	2,0	51	0,204	0,157	0,506	0,513	0,589	0,849	0,677	0,318	0,910	0,725	0,341
307	16,6	18,0	2,4	54	0,159	0,118	0,407	0,415	0,487	0,803	0,570	0,272	0,870	0,618	0,294
308	18,0	19,2	3,0	60	0,239	0,190	0,489	0,561	0,572	0,881	0,695	0,377	0,890	0,702	0,381
309	19,2	20,7	2,4	63	0,256	0,207	0,428	0,451	0,565	0,827	0,611	0,356	0,926	0,684	0,398
310	22,4	20,7	2,2	54	0,351	0,287	0,431	0,433	0,529	0,867	0,680	0,210	0,958	0,751	0,233
311	23,0	20,1	2,9	56	0,373	0,314	0,447	0,492	0,557	0,800	0,697	0,439	0,852	0,742	0,467
312	25,8	21,3	2,4	54	0,402	0,335	0,361	0,366	0,535	0,746	0,597	0,291	0,902	0,723	0,352
313	26,7	21,7	3,6	58	0,628	0,509	0,517	0,560	0,553	0,956	0,711	0,427	0,950	0,706	0,424
314	27,8	24,1	3,6	67	0,588	0,473	0,426	0,456	0,592	0,806	0,687	0,424	0,918	0,782	0,483
315	30,1	22,9	3,2	53	0,511	0,418	0,313	0,321	0,441	0,665	0,502	0,151	0,779	0,588	0,177
316	30,7	22,5	2,8	65	0,705	0,587	0,423	0,427	0,585	0,736	0,652	0,406	0,861	0,762	0,457
317	32,0	24,2	2,6	72	0,832	0,701	0,427	0,427	0,571	0,780	0,657	0,336	0,902	0,760	0,389
318	36,5	22,3	3,4	71	0,305	0,266	0,456	0,485	0,491	0,817	0,623	0,367	0,847	0,646	0,381

Продовження таблиці А.2

№	$d_{1.3}$, см	h , м	τ , см	Вік, років	$V_{y.k}$	$V_{б.к}$	$f_{y.k}$	$f_{б.к}$	f_H	q_1	q_2	q_3	$q_{0,25}$	$q_{0,5}$	$q_{0,75}$
319	42,1	23,1	4,4	74	1,191	0,998	0,370	0,387	0,507	0,763	0,570	0,222	0,730	0,653	0,255
320	48,7	27,3	3,8	74	2,017	1,756	0,397	0,406	0,591	0,771	0,614	0,303	0,930	0,741	0,365
321	19,7	23,0	1,4	74	0,310	0,271	0,442	0,449	0,511	0,847	0,599	0,330	0,905	0,640	0,352
322	24,1	21,2	2,2	74	0,367	0,315	0,379	0,395	0,495	0,778	0,614	0,228	0,870	0,687	0,255
323	24,1	25,0	3,0	74	0,452	0,380	0,397	0,435	0,579	0,810	0,661	0,382	0,934	0,762	0,440
324	29,6	27,3	5,2	74	0,667	0,543	0,355	0,425	0,511	0,790	0,606	0,402	0,865	0,665	0,440
325	29,8	21,7	2,4	74	0,535	0,456	0,353	0,356	0,442	0,769	0,521	0,202	0,858	0,581	0,225
326	29,9	27,0	3,0	74	0,831	0,705	0,438	0,460	0,556	0,846	0,689	0,338	0,931	0,758	0,372
327	30,0	22,8	2,4	74	0,627	0,543	0,389	0,398	0,554	0,803	0,648	0,234	0,947	0,765	0,276
328	31,0	25,0	5,0	74	0,637	0,491	0,337	0,370	0,510	0,720	0,588	0,350	0,846	0,691	0,411
329	32,5	22,2	3,0	74	0,775	0,666	0,421	0,439	0,548	0,852	0,594	0,411	0,952	0,664	0,459
330	33,5	25,0	4,8	74	1,132	0,963	0,514	0,595	0,605	0,950	0,785	0,545	0,957	0,791	0,549
331	35,0	24,9	4,8	74	1,029	0,873	0,430	0,490	0,585	0,841	0,752	0,443	0,919	0,821	0,484
332	37,0	27,1	4,0	74	1,077	0,906	0,370	0,391	0,510	0,761	0,602	0,338	0,870	0,688	0,387
333	39,5	29,0	3,0	74	1,404	1,206	0,395	0,397	0,515	0,792	0,602	0,253	0,902	0,686	0,288
334	44,4	28,8	4,4	76	1,734	1,476	0,389	0,408	0,494	0,865	0,503	0,281	0,952	0,553	0,310
335	20,7	23,2	1,8	51	0,368	0,317	0,471	0,486	0,575	0,864	0,676	0,403	0,940	0,735	0,439
336	24,0	21,2	2,6	55	0,405	0,333	0,422	0,437	0,542	0,812	0,673	0,350	0,904	0,749	0,389
337	27,5	23,0	3,8	55	0,460	0,383	0,337	0,377	0,420	0,723	0,565	0,268	0,763	0,597	0,283
338	29,2	23,2	2,2	56	0,676	0,596	0,435	0,449	0,530	0,823	0,701	0,242	0,894	0,762	0,263
339	29,3	20,7	2,8	51	0,579	0,465	0,415	0,407	0,475	0,758	0,689	0,161	0,819	0,744	0,173
340	33,3	27,6	3,8	61	0,992	0,831	0,413	0,440	0,544	0,859	0,672	0,242	0,955	0,747	0,269
341	34,0	24,4	5,0	53	0,908	0,730	0,410	0,453	0,553	0,784	0,672	0,341	0,866	0,743	0,376
342	35,6	26,8	4,0	67	0,990	0,819	0,371	0,390	0,558	0,787	0,644	0,254	0,942	0,770	0,303
343	38,2	25,1	3,8	67	1,130	0,947	0,393	0,406	0,471	0,840	0,592	0,217	0,904	0,637	0,234
344	43,2	25,4	2,8	67	1,445	1,256	0,388	0,386	0,552	0,770	0,600	0,328	0,921	0,718	0,392
345	24,2	21,3	1,2	56	0,454	0,399	0,463	0,450	0,523	0,831	0,676	0,316	0,896	0,728	0,340
346	27,3	21,3	2,6	53	0,538	0,436	0,432	0,427	0,530	0,781	0,582	0,281	0,870	0,648	0,312
347	28,5	22,3	2,8	59	1,191	0,998	0,370	0,387	0,507	0,763	0,570	0,222	0,730	0,653	0,255

Продовження таблиці А.2

№	$d_{1.3}$, см	h , м	τ , см	B_{ik} , років	$V_{y.k}$	$V_{b.k}$	$f_{y.k}$	$f_{b.k}$	f_H	q_1	q_2	q_3	$q_{0,25}$	$q_{0,5}$	$q_{0,75}$
348	28,7	23,3	2,0	52	0,539	0,457	0,358	0,350	0,520	0,737	0,514	0,315	0,898	0,626	0,384
349	31,1	21,2	4,0	59	0,598	0,467	0,372	0,382	0,506	0,773	0,564	0,236	0,889	0,649	0,271
350	33,1	22,8	3,6	58	0,760	0,597	0,388	0,383	0,490	0,800	0,468	0,194	0,905	0,529	0,219
351	34,1	22,7	3,2	57	0,836	0,711	0,403	0,417	0,524	0,787	0,673	0,258	0,882	0,755	0,289
352	34,1	23,0	3,2	62	0,703	0,598	0,335	0,347	0,467	0,705	0,548	0,253	0,818	0,637	0,294
353	35,5	21,3	3,2	66	0,889	0,756	0,422	0,433	0,535	0,815	0,663	0,227	0,906	0,737	0,253
354	26,4	25,5	3,0	55	0,767	0,663	0,549	0,604	0,594	0,958	0,797	0,488	0,950	0,790	0,484
355	29,5	25,4	2,8	57	0,863	0,732	0,497	0,515	0,594	0,865	0,758	0,398	0,929	0,815	0,428
356	33,2	27,5	2,0	56	0,980	0,845	0,412	0,402	0,541	0,783	0,624	0,285	0,908	0,724	0,331
357	33,4	28,5	3,4	52	0,948	0,801	0,380	0,397	0,534	0,792	0,666	0,324	0,917	0,772	0,375
358	35,0	29,4	5,0	58	1,162	0,918	0,411	0,442	0,565	0,861	0,670	0,374	0,974	0,757	0,423
359	37,1	28,0	5,6	59	1,290	1,003	0,426	0,460	0,564	0,865	0,637	0,413	0,958	0,706	0,457
360	23,8	27,7	1,6	51	0,533	0,463	0,433	0,432	0,520	0,798	0,617	0,434	0,876	0,677	0,477
361	26,8	28,8	2,6	53	0,737	0,644	0,454	0,486	0,524	0,881	0,719	0,329	0,915	0,747	0,342
362	27,8	26,1	3,4	51	0,614	0,484	0,388	0,397	0,526	0,799	0,614	0,309	0,921	0,707	0,356
363	27,8	29,6	2,4	52	0,824	0,711	0,459	0,474	0,526	0,850	0,728	0,445	0,896	0,768	0,469
364	31,7	29,6	4,0	54	0,917	0,767	0,393	0,430	0,567	0,822	0,655	0,403	0,944	0,753	0,463
365	33,6	29,2	4,8	53	1,032	0,851	0,399	0,447	0,505	0,838	0,684	0,309	0,890	0,727	0,328

Таблиця А.3

Розмірно-якісна структура об'єму ділових дерев берези

№	Діа-метр, см	Ви-сота, м	Об'єм стовбура у корі, м ³	Об'єм у стовбурі, м ³									дров	від-ходів
				ділової деревини за серединним діаметром без кори, см										
				15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-49	50-59	разом			
Ділові стовбури														
1	28	21,1	0,52	0,12	0,19	0,07	—	—	—	—	0,38	0,08	0,06	
2	48	27,3	1,77	0,01	0,07	0,20	0,37	0,42	0,27	—	1,34	0,20	0,23	
3	28	20,7	0,51	0,12	0,19	0,07	—	—	—	—	0,38	0,08	0,05	
4	28	29,6	0,73	0,17	0,27	0,10	—	—	—	—	0,54	0,11	0,08	
5	44	28,8	1,61	0,02	0,12	0,27	0,43	0,31	0,08	—	1,23	0,18	0,20	
6	32	27,0	0,86	0,10	0,26	0,25	0,04	—	—	—	0,65	0,11	0,10	
7	28	25,0	0,63	0,15	0,23	0,08	—	—	—	—	0,46	0,09	0,08	
8	28	26,4	0,66	0,16	0,24	0,09	—	—	—	—	0,49	0,10	0,07	
9	32	22,5	0,71	0,09	0,21	0,20	0,03	—	—	—	0,53	0,09	0,09	
10	36	24,5	0,96	0,05	0,17	0,29	0,18	0,01	—	—	0,70	0,11	0,15	
11	32	20,4	0,64	0,08	0,19	0,18	0,03	—	—	—	0,48	0,08	0,08	
12	32	24,2	0,77	0,09	0,23	0,22	0,03	—	—	—	0,57	0,09	0,11	
13	24	24,5	0,47	0,16	0,12	0,01	—	—	—	—	0,29	0,10	0,08	
14	32	22,0	0,69	0,08	0,21	0,20	0,03	—	—	—	0,52	0,08	0,09	
15	32	22,4	0,70	0,09	0,21	0,20	0,03	—	—	—	0,53	0,09	0,08	
16	36	25,0	0,98	0,06	0,18	0,29	0,18	0,01	—	—	0,72	0,11	0,15	
17	28	28,8	0,74	0,17	0,27	0,10	—	—	—	—	0,54	0,11	0,09	
18	24	23,5	0,45	0,17	0,11	—	—	—	—	—	0,28	0,10	0,07	
19	32	25,0	0,79	0,09	0,24	0,23	0,03	—	—	—	0,59	0,10	0,10	
20	36	27,6	1,08	0,06	0,20	0,33	0,20	0,01	—	—	0,80	0,12	0,16	
21	32	20,5	0,64	0,07	0,19	0,18	0,03	—	—	—	0,47	0,08	0,09	
22	36	27,5	1,08	0,06	0,20	0,32	0,20	0,01	—	—	0,79	0,12	0,17	
23	28	25,1	0,63	0,15	0,23	0,08	—	—	—	—	0,46	0,09	0,08	

Продовження таблиці А.3

24	24	24,9	0,48	0,17	0,12	0,01	–	–	–	–	0,30	0,11	0,07
25	20	24,0	0,34	0,14	0,02	–	–	–	–	–	0,16	0,13	0,05
26	24	26,1	0,52	0,19	0,13	0,01	–	–	–	–	0,33	0,11	0,08
27	28	19,3	0,47	0,12	0,17	0,06	–	–	–	–	0,35	0,07	0,05
28	44	23,1	1,28	0,03	0,09	0,21	0,34	0,24	0,06	–	0,97	0,14	0,17
29	28	23,2	0,58	0,13	0,21	0,08	–	–	–	–	0,42	0,09	0,07
30	28	26,1	0,65	0,15	0,24	0,09	–	–	–	–	0,48	0,10	0,07
31	40	29,0	1,37	0,06	0,15	0,34	0,37	0,14	–	–	1,06	0,16	0,15
32	28	21,7	0,54	0,13	0,20	0,07	–	–	–	–	0,40	0,08	0,06
33	32	25,2	0,80	0,10	0,24	0,23	0,03	–	–	–	0,60	0,10	0,10
34	28	25,4	0,64	0,16	0,23	0,08	–	–	–	–	0,47	0,10	0,07
35	24	21,3	0,40	0,15	0,10	–	–	–	–	–	0,25	0,09	0,06
36	32	27,3	0,87	0,10	0,26	0,25	0,04	–	–	–	0,65	0,11	0,11
37	36	28,5	1,12	0,07	0,20	0,34	0,21	0,01	–	–	0,83	0,13	0,16
38	24	22,8	0,43	0,16	0,11	–	–	–	–	–	0,27	0,10	0,06
39	36	24,9	0,97	0,06	0,18	0,29	0,18	0,01	–	–	0,72	0,11	0,14
40	28	25,5	0,64	0,14	0,24	0,09	–	–	–	–	0,47	0,10	0,07
41	36	28,1	1,10	0,06	0,20	0,33	0,21	0,01	–	–	0,81	0,13	0,16
42	52	29,5	2,22	0,01	0,05	0,16	0,32	0,48	0,64	0,01	1,67	0,24	0,31
43	32	25,9	0,82	0,09	0,25	0,24	0,03	–	–	–	0,61	0,10	0,11
44	32	24,5	0,78	0,10	0,23	0,22	0,03	–	–	–	0,58	0,10	0,10
45	44	28,8	1,61	0,02	0,12	0,27	0,43	0,31	0,08	–	1,23	0,18	0,20
46	24	25,8	0,49	0,18	0,12	0,01	–	–	–	–	0,31	0,11	0,07
47	20	21,0	0,28	0,11	0,02	–	–	–	–	–	0,13	0,11	0,04
48	44	25,4	1,41	0,02	0,10	0,23	0,38	0,27	0,07	–	1,07	0,16	0,18
49	24	21,2	0,40	0,15	0,10	–	–	–	–	–	0,25	0,09	0,06
50	32	25,5	0,81	0,10	0,24	0,23	0,03	–	–	–	0,60	0,10	0,11
51	24	24,5	0,47	0,16	0,12	0,01	–	–	–	–	0,29	0,10	0,08
52	36	24,4	0,95	0,05	0,17	0,29	0,18	0,01	–	–	0,70	0,11	0,14
53	24	24,5	0,47	0,16	0,12	0,01	–	–	–	–	0,29	0,10	0,08

Продовження таблиці А.3

54	28	24,5	0,61	0,14	0,23	0,08	–	–	–	–	0,45	0,09	0,07
55	28	26,1	0,65	0,15	0,24	0,09	–	–	–	–	0,48	0,10	0,07
56	28	25,4	0,64	0,16	0,23	0,08	–	–	–	–	0,47	0,10	0,07
57	36	25,0	0,98	0,06	0,18	0,29	0,18	0,01	–	–	0,72	0,11	0,15
58	32	27,5	0,88	0,11	0,26	0,25	0,04	–	–	–	0,66	0,11	0,11
59	24	27,7	0,53	0,20	0,13	0,01	–	–	–	–	0,34	0,12	0,07
60	28	25,5	0,64	0,14	0,24	0,09	–	–	–	–	0,47	0,10	0,07
61	36	26,5	1,04	0,06	0,19	0,31	0,19	0,01	–	–	0,76	0,12	0,16
62	28	28,8	0,74	0,17	0,27	0,10	–	–	–	–	0,54	0,11	0,09
63	32	22,2	0,70	0,08	0,21	0,20	0,03	–	–	–	0,52	0,09	0,09
64	32	25,9	0,82	0,09	0,25	0,24	0,03	–	–	–	0,61	0,10	0,11
65	48	27,3	1,77	0,01	0,07	0,20	0,37	0,42	0,27	–	1,34	0,20	0,23
66	36	26,8	1,05	0,05	0,19	0,32	0,20	0,01	–	–	0,77	0,12	0,16
67	28	23,2	0,58	0,13	0,21	0,08	–	–	–	–	0,42	0,09	0,07
68	48	24,9	1,61	0,01	0,06	0,18	0,34	0,38	0,25	–	1,22	0,18	0,21
69	32	27,5	0,88	0,11	0,26	0,25	0,04	–	–	–	0,66	0,11	0,11
70	36	21,3	0,83	0,04	0,15	0,25	0,16	0,01	–	–	0,61	0,09	0,13
71	36	27,1	1,06	0,06	0,19	0,32	0,20	0,01	–	–	0,78	0,12	0,16
72	32	22,8	0,72	0,08	0,21	0,21	0,03	–	–	–	0,53	0,09	0,10
73	32	25,9	0,82	0,09	0,25	0,24	0,03	–	–	–	0,61	0,10	0,11
74	24	21,2	0,40	0,15	0,10	–	–	–	–	–	0,25	0,09	0,06
75	24	25,0	0,48	0,17	0,12	0,01	–	–	–	–	0,30	0,11	0,07
76	24	24,0	0,46	0,16	0,12	0,01	–	–	–	–	0,29	0,10	0,07
77	36	29,4	1,15	0,06	0,21	0,35	0,22	0,01	–	–	0,85	0,13	0,17
78	36	23,0	0,89	0,05	0,16	0,27	0,17	0,01	–	–	0,66	0,10	0,13
79	36	28,5	1,12	0,07	0,20	0,34	0,21	0,01	–	–	0,83	0,13	0,16
80	28	25,8	0,65	0,14	0,24	0,09	–	–	–	–	0,47	0,10	0,08
81	36	25,1	0,98	0,06	0,18	0,29	0,18	0,01	–	–	0,72	0,11	0,15
82	20	23,2	0,32	0,13	0,02	–	–	–	–	–	0,15	0,13	0,04
83	32	23,2	0,73	0,08	0,22	0,21	0,03	–	–	–	0,54	0,09	0,10

Продовження таблиці А.3

84	36	24,9	0,97	0,06	0,18	0,29	0,18	0,01	–	–	0,72	0,11	0,14
85	32	25,0	0,79	0,09	0,24	0,23	0,03	–	–	–	0,59	0,10	0,10
86	48	27,3	1,77	0,01	0,07	0,20	0,37	0,42	0,27	–	1,34	0,20	0,23
87	28	26,4	0,66	0,16	0,24	0,09	–	–	–	–	0,49	0,10	0,07
88	28	20,7	0,51	0,12	0,19	0,07	–	–	–	–	0,38	0,08	0,05
89	32	29,6	0,94	0,12	0,28	0,27	0,04	–	–	–	0,71	0,12	0,11
90	32	21,7	0,68	0,08	0,20	0,20	0,03	–	–	–	0,51	0,08	0,09
91	36	28,0	1,10	0,06	0,20	0,33	0,21	0,01	–	–	0,81	0,13	0,16
92	32	29,2	0,93	0,11	0,28	0,27	0,04	–	–	–	0,70	0,11	0,12
93	32	21,2	0,67	0,08	0,20	0,19	0,03	–	–	–	0,50	0,08	0,09
94	32	27,6	0,88	0,11	0,26	0,25	0,04	–	–	–	0,66	0,11	0,11
95	28	23,2	0,58	0,13	0,21	0,08	–	–	–	–	0,42	0,09	0,07
96	40	29,0	1,37	0,06	0,15	0,34	0,37	0,14	–	–	1,06	0,16	0,15
97	32	22,8	0,72	0,08	0,21	0,21	0,03	–	–	–	0,53	0,09	0,10
98	28	23,0	0,57	0,13	0,21	0,08	–	–	–	–	0,42	0,09	0,06
99	24	27,1	0,52	0,19	0,13	0,01	–	–	–	–	0,33	0,11	0,08
100	28	29,6	0,76	0,18	0,28	0,10	–	–	–	–	0,56	0,11	0,09
101	36	22,7	0,88	0,04	0,16	0,27	0,17	0,01	–	–	0,65	0,10	0,13
102	28	27,0	0,68	0,16	0,25	0,09	–	–	–	–	0,50	0,10	0,08
103	36	21,3	0,83	0,04	0,15	0,25	0,16	0,01	–	–	0,61	0,09	0,13
104	28	22,5	0,55	0,11	0,16	0,07	–	–	–	–	0,34	0,13	0,08
105	28	24,5	0,61	0,12	0,18	0,07	–	–	–	–	0,37	0,15	0,09
106	24	23,5	0,45	0,14	0,09	–	–	–	–	–	0,23	0,16	0,06
107	24	24,0	0,48	0,16	0,09	–	–	–	–	–	0,25	0,17	0,06
108	32	23,6	0,75	0,07	0,18	0,21	0,02	–	–	–	0,48	0,17	0,10
109	36	22,3	0,87	0,04	0,12	0,25	0,11	0,01	–	–	0,53	0,24	0,10
110	24	21,2	0,40	0,13	0,08	–	–	–	–	–	0,21	0,14	0,05
111	36	27,1	1,06	0,05	0,15	0,31	0,13	0,01	–	–	0,65	0,29	0,12
112	24	21,2	0,40	0,13	0,08	–	–	–	–	–	0,21	0,14	0,05
113	28	23,0	0,57	0,11	0,17	0,07	–	–	–	–	0,35	0,14	0,08

Продовження таблиці А.3

114	32	27,8	0,88	0,10	0,27	0,25	0,04	–	–	–	0,66	0,11	0,11
115	48	27,3	1,77	0,01	0,07	0,20	0,37	0,42	0,27	–	1,34	0,20	0,23
116	36	26,8	1,05	0,05	0,19	0,32	0,20	0,01	–	–	0,77	0,12	0,16
117	28	23,2	0,58	0,13	0,21	0,08	–	–	–	–	0,42	0,09	0,07
118	48	30,7	2,02	0,02	0,07	0,23	0,43	0,48	0,31	–	1,54	0,22	0,26
119	52	31,1	2,35	0,01	0,05	0,16	0,34	0,52	0,68	0,01	1,77	0,26	0,32
120	56	31,4	2,70	0,02	0,05	0,12	0,27	0,43	1,00	0,13	2,02	0,30	0,38
121	32	25,4	0,80	0,09	0,25	0,23	0,03	–	–	–	0,60	0,10	0,10
122	36	26,3	1,03	0,06	0,19	0,31	0,19	0,01	–	–	0,76	0,12	0,15
123	40	27,0	1,27	0,05	0,14	0,31	0,35	0,13	–	–	0,98	0,14	0,15
124	44	27,5	1,55	0,03	0,11	0,26	0,41	0,30	0,07	–	1,18	0,17	0,20
125	48	28,0	1,82	0,01	0,07	0,21	0,38	0,43	0,28	–	1,38	0,20	0,24
126	52	28,4	2,13	0,01	0,05	0,15	0,31	0,46	0,61	0,01	1,60	0,23	0,30
127	32	25,4	0,80	0,09	0,25	0,23	0,03	–	–	–	0,60	0,10	0,10
128	36	28,8	1,13	0,06	0,21	0,34	0,21	0,01	–	–	0,83	0,13	0,17
129	40	29,6	1,39	0,06	0,15	0,34	0,38	0,14	–	–	1,07	0,16	0,16
130	44	30,2	1,71	0,03	0,12	0,28	0,46	0,33	0,08	–	1,30	0,19	0,22
131	36	28,8	1,13	0,06	0,21	0,34	0,21	0,01	–	–	0,83	0,13	0,17
132	24	20,8	0,38	0,14	0,10	–	–	–	–	–	0,24	0,08	0,06
133	28	22,0	0,55	0,13	0,20	0,07	–	–	–	–	0,40	0,08	0,07
134	32	23,0	0,72	0,08	0,22	0,21	0,03	–	–	–	0,54	0,09	0,09
135	36	23,8	0,92	0,05	0,17	0,28	0,17	0,01	–	–	0,68	0,10	0,14
136	40	24,4	1,14	0,05	0,13	0,28	0,31	0,11	–	–	0,88	0,13	0,13
137	24	18,6	0,35	0,13	0,09	–	–	–	–	–	0,22	0,08	0,05
138	28	19,7	0,49	0,11	0,18	0,07	–	–	–	–	0,36	0,07	0,06
139	32	20,5	0,64	0,07	0,20	0,18	0,03	–	–	–	0,48	0,08	0,08
140	36	21,2	0,82	0,05	0,15	0,25	0,15	0,01	–	–	0,61	0,09	0,12
141	32	25,9	0,82	0,09	0,25	0,24	0,03	–	–	–	0,61	0,10	0,11
142	48	27,3	1,77	0,01	0,07	0,20	0,37	0,42	0,27	–	1,34	0,20	0,23

Продовження таблиці А.3

Напівділові стовбури													
143	20	21,0	0,28	0,10	0,01	—	—	—	—	—	0,11	0,13	0,04
144	28	24,5	0,62	0,11	0,18	0,08	—	—	—	—	0,37	0,15	0,10
145	44	19,9	1,08	0,01	0,06	0,16	0,21	0,12	0,03	—	0,59	0,36	0,13
146	24	27,7	0,53	0,17	0,10	0,01	—	—	—	—	0,28	0,19	0,06
147	24	22,4	0,43	0,14	0,08	—	—	—	—	—	0,22	0,15	0,06
148	28	24,1	0,60	0,12	0,18	0,07	—	—	—	—	0,37	0,15	0,08
149	28	22,3	0,56	0,10	0,17	0,07	—	—	—	—	0,34	0,14	0,08
150	24	25,5	0,47	0,15	0,09	—	—	—	—	—	0,24	0,17	0,06
151	28	26,0	0,65	0,13	0,19	0,08	—	—	—	—	0,40	0,16	0,09
152	28	24,2	0,61	0,12	0,18	0,07	—	—	—	—	0,37	0,15	0,09
153	28	22,5	0,55	0,11	0,16	0,07	—	—	—	—	0,34	0,13	0,08
154	28	24,5	0,61	0,12	0,18	0,07	—	—	—	—	0,37	0,15	0,09
155	24	23,5	0,45	0,14	0,09	—	—	—	—	—	0,23	0,16	0,06
156	24	24,0	0,48	0,16	0,09	—	—	—	—	—	0,25	0,17	0,06
157	32	23,6	0,75	0,07	0,18	0,21	0,02	—	—	—	0,48	0,17	0,10
158	36	22,3	0,87	0,04	0,12	0,25	0,11	0,01	—	—	0,53	0,24	0,10
159	24	21,2	0,40	0,13	0,08	—	—	—	—	—	0,21	0,14	0,05
160	36	27,1	1,06	0,05	0,15	0,31	0,13	0,01	—	—	0,65	0,29	0,12
161	24	21,2	0,40	0,13	0,08	—	—	—	—	—	0,21	0,14	0,05
162	28	23,0	0,57	0,11	0,17	0,07	—	—	—	—	0,35	0,14	0,08
163	36	24,4	0,95	0,04	0,13	0,28	0,12	0,01	—	—	0,58	0,26	0,11
164	20	25,6	0,37	0,13	0,02	—	—	—	—	—	0,15	0,17	0,05
165	24	21,3	0,40	0,13	0,08	—	—	—	—	—	0,21	0,14	0,05
166	24	25,5	0,49	0,16	0,09	—	—	—	—	—	0,25	0,17	0,07
167	24	25,2	0,48	0,16	0,09	—	—	—	—	—	0,25	0,17	0,06
168	20	23	0,32	0,12	0,01	—	—	—	—	—	0,13	0,15	0,04
169	36	22,6	0,88	0,03	0,12	0,26	0,11	0,01	—	—	0,53	0,24	0,11
170	24	22,4	0,43	0,14	0,08	—	—	—	—	—	0,22	0,15	0,06
171	28	23,3	0,56	0,10	0,17	0,07	—	—	—	—	0,34	0,14	0,08

Продовження таблиці А.3

172	28	26,9	0,68	0,13	0,20	0,08	–	–	–	–	0,41	0,16	0,11
173	28	24,8	0,62	0,12	0,18	0,08	–	–	–	–	0,38	0,15	0,09
174	24	23,1	0,44	0,14	0,09	–	–	–	–	–	0,23	0,16	0,05
175	24	25,4	0,49	0,16	0,09	–	–	–	–	–	0,25	0,17	0,07
176	24	21,2	0,40	0,13	0,08	–	–	–	–	–	0,21	0,14	0,05
177	36	27,1	1,06	0,05	0,15	0,31	0,13	0,01	–	–	0,65	0,29	0,12
178	24	21,2	0,40	0,13	0,08	–	–	–	–	–	0,21	0,14	0,05
179	28	23,0	0,57	0,11	0,17	0,07	–	–	–	–	0,35	0,14	0,08
180	36	24,4	0,95	0,04	0,13	0,28	0,12	0,01	–	–	0,58	0,26	0,11
181	24	26,3	0,50	0,15	0,10	0,01	–	–	–	–	0,26	0,18	0,06
182	32	27,5	0,88	0,08	0,22	0,25	0,02	–	–	–	0,57	0,20	0,11
183	28	25,8	0,65	0,12	0,19	0,08	–	–	–	–	0,39	0,16	0,10
184	36	22,8	0,89	0,04	0,12	0,26	0,11	0,01	–	–	0,54	0,24	0,11
185	24	27,1	0,52	0,16	0,10	0,01	–	–	–	–	0,27	0,19	0,06
186	36	28,0	1,10	0,05	0,15	0,32	0,14	0,01	–	–	0,67	0,30	0,13
187	24	23,5	0,45	0,14	0,09	–	–	–	–	–	0,23	0,16	0,06
188	28	21,8	0,54	0,10	0,16	0,07	–	–	–	–	0,33	0,13	0,08
189	28	23,2	0,58	0,11	0,17	0,07	–	–	–	–	0,35	0,14	0,09
190	28	23,0	0,57	0,11	0,17	0,07	–	–	–	–	0,35	0,14	0,08
191	36	23,5	0,92	0,04	0,13	0,27	0,11	0,01	–	–	0,56	0,25	0,11
192	20	23,0	0,32	0,12	0,01	–	–	–	–	–	0,13	0,15	0,04
193	24	25,0	0,48	0,16	0,09	–	–	–	–	–	0,25	0,17	0,06
194	20	23,2	0,32	0,12	0,01	–	–	–	–	–	0,13	0,15	0,04
195	28	25,5	0,64	0,12	0,19	0,08	–	–	–	–	0,39	0,16	0,09
196	36	29,4	1,15	0,05	0,16	0,34	0,14	0,01	–	–	0,70	0,32	0,13
197	24	21,3	0,40	0,13	0,08	–	–	–	–	–	0,21	0,14	0,05
198	32	25,0	0,79	0,08	0,19	0,22	0,02	–	–	–	0,51	0,18	0,10
199	44	23,1	1,22	0,02	0,07	0,18	0,23	0,13	0,03	–	0,66	0,40	0,16
200	28	25,0	0,63	0,11	0,19	0,08	–	–	–	–	0,38	0,15	0,10
201	32	25,2	0,77	0,07	0,19	0,22	0,02	–	–	–	0,50	0,18	0,09

Продовження таблиці А.3

202	20	24,8	0,35	0,12	0,02	–	–	–	–	–	0,14	0,17	0,04
203	28	26,9	0,68	0,13	0,20	0,08	–	–	–	–	0,41	0,16	0,11
204	32	21,5	0,68	0,06	0,17	0,19	0,02	–	–	–	0,44	0,16	0,08
205	28	20,4	0,51	0,10	0,15	0,06	–	–	–	–	0,31	0,12	0,08
206	28	23,0	0,57	0,11	0,17	0,07	–	–	–	–	0,35	0,14	0,08
207	36	23,5	0,92	0,04	0,13	0,27	0,11	0,01	–	–	0,56	0,25	0,11
208	20	23,0	0,32	0,12	0,01	–	–	–	–	–	0,13	0,15	0,04
209	24	25,0	0,48	0,16	0,09	–	–	–	–	–	0,25	0,17	0,06
210	20	23,2	0,32	0,12	0,01	–	–	–	–	–	0,13	0,15	0,04
211	28	25,5	0,64	0,12	0,19	0,08	–	–	–	–	0,39	0,16	0,09
212	28	23,0	0,57	0,11	0,17	0,07	–	–	–	–	0,35	0,14	0,08
213	36	23,5	0,92	0,04	0,13	0,27	0,11	0,01	–	–	0,56	0,25	0,11
214	40	27,0	1,27	0,04	0,11	0,31	0,23	0,07	–	–	0,76	0,36	0,15
215	32	23,6	0,75	0,07	0,18	0,21	0,02	–	–	–	0,48	0,17	0,10
216	36	22,3	0,87	0,04	0,12	0,25	0,11	0,01	–	–	0,53	0,24	0,10
217	24	21,2	0,40	0,13	0,08	–	–	–	–	–	0,21	0,14	0,05
218	56	28,7	2,45	0,01	0,04	0,12	0,20	0,27	0,60	0,06	1,30	0,85	0,30
219	28	23,0	0,57	0,11	0,17	0,07	–	–	–	–	0,35	0,14	0,08
220	36	24,4	0,95	0,04	0,13	0,28	0,12	0,01	–	–	0,58	0,26	0,11
221	24	26,3	0,50	0,15	0,10	0,01	–	–	–	–	0,26	0,18	0,06
222	32	27,5	0,88	0,08	0,22	0,25	0,02	–	–	–	0,57	0,20	0,11
223	44	27,5	1,55	0,02	0,09	0,23	0,30	0,17	0,04	–	0,85	0,51	0,19
224	48	28,0	1,82	0,01	0,06	0,20	0,30	0,26	0,15	–	0,98	0,61	0,23
225	52	28,4	2,13	0,01	0,04	0,16	0,23	0,31	0,39	–	1,14	0,73	0,26
226	24	18,6	0,35	0,11	0,07	–	–	–	–	–	0,18	0,12	0,05
227	28	19,7	0,49	0,09	0,15	0,06	–	–	–	–	0,30	0,12	0,07

Таблиця А.4

**Лісівничо-таксаційна характеристика деревостанів, відведених у рубку, що використовувалися
для оцінювання розроблених нормативів**

№	Шифр пробної площі	Кількість модельних дерев	Склад насадження	Діаметр, см	Висота, м	Вік, років	Повнота		Запас стовб. деревини, м ³ ·га ⁻¹	Бонітет	ТЛУ	Походження	Адм. область
							абс., м ² ·га ⁻¹	відн.					
1	111001	488	5Бп3Дз1Сз1Влч	31,6	25	81	4,2	0,84	218	I	С4ДС	Насінневе	Житомирська
2	111002	217	6Бп3Сз1Ос	20	19,3	75	1,26	0,7	153	I	В2ДС	Вегетативне	Житомирська
3	111003	820	6Бп3Ос1Сз	25,2	23	65	3,212	0,73	201	I	С3ГДС	Насінневе	Київська
4	111004	170	4Бп1Гз1Тк1Брс 1Яз1Яв1Клг	33,8	30	70	1,61	0,7	250	I ^a	Д2ГД	Насінневе	Рівненська
5	111005	194	4Бп3Сз1Дз1Ос 1Гз	24,6	23	75	1,2	0,75	290	I ^a	С2ГДС	Вегетативне	Рівненська
6	111006	149	10Бп+Чш	24,7	25	69	0,35	0,7	244	I	В3ДС	Насінневе	Волинська
7	111007	59	6Бп2Ос2Влч	34,5	28	72	0,448	0,64	275	I ^a	В2ДС	Вегетативне	Волинська
8	111008	130	4Бп2Сз2Дз1Клг 1Ос	32	22	77	1,4	0,7	265	I	С3ГДС	Насінневе	Сумська
9	111009	713	7Бп3Сз	32	24	61	0,93	0,3	235	I ^a	С2ГДС	Насінневе	Сумська
10	111010	245	6Бп3Сз1Влч	32	25	67	1,8	0,75	216	I ^a	В2ДС	Насінневе	Чернігівська

Додаток Б. Нормативи об'єму та розмірно-якісної структури об'єму стовбурів берези

Таблиця Б.1

Нормативи розмірно-якісної структура об'єму ділових дерев берези

Діа-метр, см	Ви-сота, м	Об'єм стов-бура у корі, м³	Об'єм у діловому стовбурі, м³										Ліквід із кро-ни, м³	Сучки, м³
			ділової деревини за серединним діаметром без кори, см								дров	від-ходів		
			15-19	20-24	25–29	30–34	35–39	40-49	50-59	разом				
Розряд висот I														
12	18,4	0,10	–	–	–	–	–	–	–	–	0,09	0,01	0,00	0,00
16	21,2	0,20	0,04	–	–	–	–	–	–	0,04	0,15	0,01	0,00	0,01
20	23,4	0,33	0,14	0,02	–	–	–	–	–	0,16	0,13	0,04	0,01	0,02
24	25,2	0,49	0,18	0,12	0,01	–	–	–	–	0,31	0,11	0,07	0,03	0,02
28	26,7	0,68	0,16	0,25	0,09	–	–	–	–	0,50	0,10	0,08	0,05	0,03
32	27,8	0,88	0,10	0,27	0,25	0,04	–	–	–	0,66	0,11	0,11	0,09	0,04
36	28,8	1,13	0,06	0,21	0,34	0,21	0,01	–	–	0,83	0,13	0,17	0,13	0,06
40	29,6	1,39	0,06	0,15	0,34	0,38	0,14	–	–	1,07	0,16	0,16	0,19	0,07
44	30,2	1,71	0,03	0,12	0,28	0,46	0,33	0,08	–	1,30	0,19	0,22	0,25	0,09
48	30,7	2,02	0,02	0,07	0,23	0,43	0,48	0,31	–	1,54	0,22	0,26	0,32	0,10
52	31,1	2,35	0,01	0,05	0,16	0,34	0,52	0,68	0,01	1,77	0,26	0,32	0,40	0,12
56	31,4	2,70	0,02	0,05	0,12	0,27	0,43	1,00	0,13	2,02	0,30	0,38	0,48	0,14
60	31,7	3,08	0,01	0,03	0,08	0,22	0,41	1,17	0,38	2,30	0,34	0,44	0,57	0,16
64	31,9	3,48	0,01	0,03	0,07	0,15	0,31	1,23	0,81	2,61	0,38	0,49	0,67	0,18
68	32,1	3,88	0,01	0,03	0,05	0,11	0,23	1,15	1,34	2,92	0,43	0,53	0,77	0,20
Розряд висот II														
8	13,7	0,037	–	–	–	–	–	–	–	–	0,032	0,005	0,000	0,000
12	16,8	0,095	–	–	–	–	–	–	–	–	0,080	0,015	0,000	0,003
16	19,3	0,18	0,04	–	–	–	–	–	–	0,04	0,12	0,02	0,00	0,01
20	21,4	0,29	0,12	0,02	–	–	–	–	–	0,14	0,11	0,04	0,01	0,01
24	23,0	0,44	0,16	0,11	0,01	–	–	–	–	0,28	0,10	0,06	0,03	0,02
28	24,3	0,61	0,14	0,23	0,08	–	–	–	–	0,45	0,09	0,07	0,05	0,03

Продовження таблиці Б.1

32	25,4	0,80	0,09	0,25	0,23	0,03	–	–	–	0,60	0,10	0,10	0,08	0,04
36	26,3	1,03	0,06	0,19	0,31	0,19	0,01	–	–	0,76	0,12	0,15	0,12	0,05
40	27,0	1,27	0,05	0,14	0,31	0,35	0,13	–	–	0,98	0,14	0,15	0,17	0,06
44	27,5	1,55	0,03	0,11	0,26	0,41	0,30	0,07	–	1,18	0,17	0,20	0,22	0,08
48	28,0	1,82	0,01	0,07	0,21	0,38	0,43	0,28	–	1,38	0,20	0,24	0,29	0,09
52	28,4	2,13	0,01	0,05	0,15	0,31	0,46	0,61	0,01	1,60	0,23	0,30	0,36	0,11
56	28,7	2,45	0,01	0,05	0,11	0,24	0,39	0,92	0,12	1,84	0,27	0,34	0,43	0,12
60	28,9	2,79	0,01	0,03	0,08	0,20	0,37	1,05	0,35	2,09	0,31	0,39	0,52	0,14
Розряд висот III														
8	12,4	0,033	–	–	–	–	–	–	–	–	0,029	0,004	0,000	0,000
12	15,2	0,083	–	–	–	–	–	–	–	–	0,068	0,015	0,000	0,000
16	17,5	0,16	0,03	–	–	–	–	–	–	0,03	0,12	0,01	0,00	0,01
20	19,3	0,26	0,11	0,01	–	–	–	–	–	0,12	0,10	0,04	0,01	0,01
24	20,8	0,38	0,14	0,10	0,00	–	–	–	–	0,24	0,08	0,06	0,02	0,02
28	22,0	0,55	0,13	0,20	0,07	–	–	–	–	0,40	0,08	0,07	0,04	0,03
32	23,0	0,72	0,08	0,22	0,21	0,03	–	–	–	0,54	0,09	0,09	0,07	0,04
36	23,8	0,92	0,05	0,17	0,28	0,17	0,01	–	–	0,68	0,10	0,14	0,11	0,05
40	24,4	1,14	0,05	0,13	0,28	0,31	0,11	–	–	0,88	0,13	0,13	0,15	0,06
44	24,9	1,37	0,03	0,10	0,22	0,37	0,26	0,06	–	1,04	0,15	0,18	0,20	0,07
48	25,3	1,63	0,01	0,06	0,19	0,34	0,39	0,25	–	1,24	0,18	0,21	0,26	0,08
52	25,7	1,92	0,01	0,04	0,13	0,29	0,41	0,55	0,01	1,44	0,21	0,27	0,32	0,10
Розряд висот IV														
8	11,1	0,029	–	–	–	–	–	–	–	–	0,019	0,010	0,000	0,000
12	13,6	0,075	–	–	–	–	–	–	–	–	0,055	0,020	0,000	0,000
16	15,6	0,14	0,03	–	–	–	–	–	–	0,03	0,10	0,01	0,00	0,01
20	17,3	0,23	0,10	0,01	–	–	–	–	–	0,11	0,09	0,03	0,01	0,01
24	18,6	0,35	0,13	0,09	0,00	–	–	–	–	0,22	0,08	0,05	0,02	0,02
28	19,7	0,49	0,11	0,18	0,07	–	–	–	–	0,36	0,07	0,06	0,04	0,02
32	20,5	0,64	0,07	0,20	0,18	0,03	–	–	–	0,48	0,08	0,08	0,06	0,03
36	21,2	0,82	0,05	0,15	0,25	0,15	0,01	–	–	0,61	0,09	0,12	0,09	0,04

Продовження таблиці Б.1

40	21,8	1,01	0,04	0,11	0,25	0,28	0,10	–	–	0,78	0,11	0,12	0,13	0,05
44	22,3	1,23	0,02	0,09	0,20	0,33	0,23	0,06	–	0,93	0,14	0,16	0,18	0,06
Розряд висот V														
8	9,8	0,025	–	–	–	–	–	–	–	–	0,020	0,005	0,000	0,000
12	12,0	0,064	–	–	–	–	–	–	–	–	0,049	0,015	0,000	0,020
16	13,8	0,12	0,02	–	–	–	–	–	–	0,02	0,08	0,02	0,00	0,01
20	15,2	0,21	0,09	0,01	–	–	–	–	–	0,10	0,08	0,03	0,01	0,01
24	16,4	0,31	0,11	0,08	0,03	–	–	–	–	0,22	0,04	0,05	0,02	0,02
28	17,3	0,43	0,10	0,16	0,06	–	–	–	–	0,32	0,06	0,05	0,03	0,02
32	18,1	0,57	0,07	0,18	0,16	0,02	–	–	–	0,43	0,07	0,07	0,06	0,03
36	18,7	0,71	0,04	0,13	0,21	0,13	0,01	–	–	0,52	0,08	0,11	0,08	0,04

Таблиця Б.2

Нормативи розмірно-якісної структури об'єму напівділових дерев берези

Діа-метр, см	Висота, м	Об'єм стовбура у корі, м³	Об'єм у напівділовому стовбурі, м³										Ліквід із кро-ни, м³	Сучки, м³
			ділової деревини за серединним діаметром без кори, см								дров	від-ходів		
			15-19	20-24	25–29	30–34	35–39	40-49	50-59	разом				
Розряд висот І														
12	18,4	0,10	–	–	–	–	–	–	–	–	0,04	0,06	0,00	0,00
16	21,2	0,20	0,03	–	–	–	–	–	–	0,03	0,16	0,01	0,00	0,01
20	23,4	0,33	0,12	0,01	–	–	–	–	–	0,13	0,16	0,04	0,01	0,02
24	25,2	0,49	0,15	0,10	0,00	–	–	–	–	0,25	0,17	0,07	0,03	0,02
28	26,7	0,68	0,13	0,20	0,08	–	–	–	–	0,41	0,17	0,10	0,05	0,03
32	27,8	0,88	0,08	0,22	0,25	0,02	–	–	–	0,57	0,21	0,10	0,09	0,04
36	28,8	1,13	0,05	0,16	0,33	0,14	0,01	–	–	0,69	0,31	0,13	0,13	0,06
40	29,6	1,39	0,05	0,12	0,34	0,24	0,08	–	–	0,83	0,39	0,17	0,19	0,07
44	30,2	1,71	0,03	0,10	0,25	0,34	0,17	0,04	–	0,93	0,57	0,21	0,25	0,09
48	30,7	2,02	0,01	0,06	0,23	0,34	0,29	0,17	–	1,10	0,67	0,25	0,32	0,10
52	31,1	2,35	0,01	0,05	0,17	0,26	0,33	0,44	–	1,26	0,80	0,29	0,40	0,12
56	31,4	2,70	0,02	0,05	0,14	0,22	0,29	0,66	0,06	1,44	0,93	0,33	0,48	0,14
60	31,7	3,08	0,01	0,03	0,10	0,18	0,30	0,81	0,20	1,63	1,07	0,38	0,57	0,16
64	31,9	3,48	0,01	0,03	0,08	0,14	0,23	0,90	0,45	1,84	1,21	0,43	0,67	0,18
68	32,1	3,88	0,01	0,03	0,07	0,11	0,18	0,87	0,76	2,03	1,37	0,48	0,77	0,20
Розряд висот ІІ														
8	13,7	0,037	–	–	–	–	–	–	–	–	0,032	0,005	0,000	0,000
12	16,8	0,095	–	–	–	–	–	–	–	–	0,080	0,015	0,000	0,003
16	19,3	0,18	0,03	–	–	–	–	–	–	0,03	0,14	0,01	0,00	0,01
20	21,4	0,29	0,10	0,01	–	–	–	–	–	0,11	0,14	0,04	0,01	0,01
24	23,0	0,44	0,14	0,09	–	–	–	–	–	0,23	0,15	0,06	0,03	0,02
28	24,3	0,61	0,12	0,18	0,07	–	–	–	–	0,37	0,15	0,09	0,05	0,03
32	25,4	0,80	0,08	0,20	0,22	0,02	–	–	–	0,52	0,18	0,10	0,08	0,04

Продовження таблиці Б.2

36	26,3	1,03	0,05	0,14	0,30	0,13	0,01	–	–	0,63	0,28	0,12	0,12	0,05
40	27,0	1,27	0,04	0,11	0,31	0,23	0,07	–	–	0,76	0,36	0,15	0,17	0,06
44	27,5	1,55	0,02	0,09	0,23	0,30	0,17	0,04	–	0,85	0,51	0,19	0,22	0,08
48	28,0	1,82	0,01	0,06	0,20	0,30	0,26	0,15	–	0,98	0,61	0,23	0,29	0,09
52	28,4	2,13	0,01	0,04	0,16	0,23	0,31	0,39	–	1,14	0,73	0,26	0,36	0,11
56	28,7	2,45	0,01	0,04	0,12	0,20	0,27	0,60	0,06	1,30	0,85	0,30	0,43	0,12
60	28,9	2,79	0,01	0,03	0,09	0,16	0,27	0,74	0,18	1,48	0,96	0,35	0,52	0,14
Розряд висот III														
8	12,4	0,033	–	–	–	–	–	–	–	–	0,028	0,005	0,000	0,000
12	15,2	0,083	–	–	–	–	–	–	–	–	0,069	0,014	0,000	0,002
16	17,5	0,16	0,03	–	–	–	–	–	–	0,03	0,12	0,01	0,00	0,01
20	19,3	0,26	0,09	0,01	–	–	–	–	–	0,10	0,13	0,03	0,01	0,01
24	20,8	0,38	0,12	0,07	–	–	–	–	–	0,19	0,14	0,05	0,02	0,02
28	22,0	0,55	0,10	0,16	0,07	–	–	–	–	0,33	0,14	0,08	0,04	0,03
32	23,0	0,72	0,07	0,18	0,20	0,02	–	–	–	0,47	0,16	0,09	0,07	0,04
36	23,8	0,92	0,04	0,13	0,27	0,11	0,01	–	–	0,56	0,25	0,11	0,11	0,05
40	24,4	1,14	0,04	0,10	0,28	0,21	0,05	–	–	0,68	0,32	0,14	0,15	0,06
44	24,9	1,37	0,02	0,08	0,21	0,26	0,15	0,03	–	0,75	0,45	0,17	0,20	0,07
48	25,3	1,63	0,01	0,05	0,19	0,27	0,23	0,14	–	0,89	0,54	0,20	0,26	0,08
52	25,7	1,92	0,01	0,04	0,14	0,21	0,28	0,35	–	1,03	0,65	0,24	0,20	0,07
Розряд висот IV														
8	11,1	0,029	–	–	–	–	–	–	–	–	0,024	0,005	0,000	0,000
12	13,6	0,075	–	–	–	–	–	–	–	–	0,062	0,013	0,000	0,002
16	15,6	0,14	0,02	–	–	–	–	–	–	0,02	0,11	0,01	0,00	0,01
20	17,3	0,23	0,08	0,01	–	–	–	–	–	0,09	0,11	0,03	0,01	0,01
24	18,6	0,35	0,11	0,07	–	–	–	–	–	0,18	0,12	0,05	0,02	0,02
28	19,7	0,49	0,09	0,15	0,06	–	–	–	–	0,30	0,12	0,07	0,04	0,02
32	20,5	0,64	0,06	0,16	0,17	0,02	–	–	–	0,41	0,15	0,08	0,06	0,03
36	21,2	0,82	0,04	0,11	0,24	0,10	0,01	–	–	0,50	0,22	0,10	0,09	0,04
40	21,8	1,01	0,03	0,08	0,25	0,18	0,06	–	–	0,60	0,29	0,12	0,13	0,05

Продовження таблиці Б.2

44	22,3	1,23	0,02	0,07	0,19	0,24	0,13	0,02	–	0,67	0,41	0,15	0,18	0,06
Розряд висот V														
8	9,8	0,025	–	–	–	–	–	–	–	–	0,020	0,005	0,000	0,000
12	12,0	0,064	–	–	–	–	–	–	–	–	0,053	0,011	0,000	0,002
16	13,8	0,12	0,02	–	–	–	–	–	–	0,02	0,08	0,02	0,00	0,01
20	15,2	0,21	0,07	0,01	–	–	–	–	–	0,08	0,10	0,03	0,01	0,01
24	16,4	0,31	0,10	0,06	–	–	–	–	–	0,16	0,11	0,04	0,02	0,02
28	17,3	0,43	0,08	0,13	0,05	–	–	–	–	0,26	0,11	0,06	0,03	0,02
32	18,1	0,57	0,05	0,14	0,16	0,02	–	–	–	0,37	0,13	0,07	0,06	0,03
36	18,7	0,71	0,03	0,10	0,21	0,09	–	–	–	0,43	0,20	0,08	0,08	0,04

Додаток В. Список опублікованих праць за темою дисертації

Статті у періодичних наукових виданнях, включених до категорії «А»

Переліку наукових фахових видань України та/або у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus

1. Bychenko V. V., **Tyshchenko O. M.** Regularities in form of birch trees in Ukrainian Polissia. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science. 2020. Vol. 11. No. 1. P. 4–12. *(Tyshchenko O. M. зібрано дослідний матеріал, виконано аналіз сучасних досліджень і публікацій за темою статті, обчислено помилки визначення об'єму стовбура за математичними моделями твірних, Bychenko V. V. зроблено аналіз отриманих результатів дослідження, проведено редагування тексту статті відповідно до вимог видання та підготовлено висновки).*

2. Hurzhii R. V., Yavorovskyi P. P., Sydorenko S. H., Levchenko V. B., **Tyshchenko O. M.**, Tertyshnyi A. P., Yakubenko B. Y. Trends in forest fuel accumulation in pine forests of Kyiv Polissya in Ukraine. Folia Forestalia Polonica. 2021. Vol. 63 (2). P. 116–124. *(Tyshchenko O. M. опрацьовано літературні джерела, проаналізовано дані польових досліджень, Hurzhii R. V. проведено закладання 32 тимчасових пробних площ у чистих соснових насадженнях різного віку в межах Київського Полісся, досліджено лісові горючі матеріали та встановлено їх варіативність за класами віку, Yavorovskyi P. P. визначено актуальність, сформульовано наукову новизну, практичне значення та мету проведених досліджень, Sydorenko S. H. проведено літературний науковий пошук, підготовлено первинний варіант статті, Levchenko V. B. проаналізовано запаси лісових горючих матеріалів у чистих сосняках, Tertyshnyi A. P. проведено літературний науковий пошук та проаналізовано наукові дослідження, Yakubenko B. Y. проведено аналітичний огляд літератури та визначено необхідні подальші гідрологічні дослідження).*

3. Myroniuk V., Bilous A., Lakyda P., Lesnik O., Burianchuk M., Svynchuk V., Bychenko V., **Tyshchenko O.**, Zadorozhniuk R., Soshenskyi O., Matushevych L., Diachuk P., Bala O., Smolin V., Yaroshchuk M., Hrytsenko O., Matsala M. Taper equations for eight major forest tree species in flat land Ukraine. *Forestry*. 2023. Vol. 96. P. 498–508. (*Tyshchenko O. проведено аналіз наукових літературних джерел, виконано збір польового експериментального матеріалу у березових деревостанах Українського Полісся, Myroniuk V. розроблено методичку дослідження, виконано моделювання, підготовлено висновки, Bilous A. забезпечено збір матеріалів дослідження авторами роботи, Lakyda P. сформульовано концепцію наукового дослідження, Lesnik O. проведено аналіз наукових літературних джерел, зроблено аналіз отриманих результатів дослідження, Burianchuk M. виконано збір польового експериментального матеріалу у соснових деревостанах регіону дослідження, Svynchuk V. виконано перевірку точності математичних моделей, Bychenko V. забезпечено збір даних для ясен звичайного, Zadorozhniuk R. проведено збір дослідного матеріалу та формування бази даних, Soshenskyi O. забезпечено збір даних для липи серцелистої, Matushevych L. забезпечено збір даних для берези повислої, Diachuk P. виконано перевірку точності моделей, Bala O. виконано формальний аналіз даних, Smolin V. забезпечено збір даних для вільхи клейкої, Yaroshchuk M. забезпечено збір даних для осики, Hrytsenko O. виконано польову перевірку результатів моделювання, Matsala M. виконано графічний аналіз даних*).

**Стаття у науковому виданні,
включеному до Переліку наукових фахових видань України**

4. Тищенко О. М. Лісівничо-таксаційна характеристика березових деревостанів Чернігівського Полісся. Науковий вісник НЛТУ України. 2018. Вип. 28. № 10. С. 49–52.

Тези наукових доповідей

5. Тищенко О. М. Вікова структура деревостанів берези повислої Чернігівського Полісся. Ліс, наука, молодь: IV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, магістрів, аспірантів і молодих учених, присвячена 15-річчю факультету лісового господарства, м. Житомир, 23 листопада 2016 року: тези доповідей. Житомир, 2016. С. 147.

6. Тищенко О. М. Аналіз деревостанів Чернігівського Полісся за часткою берези у складі. Ліс, наука, молодь: V Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, магістрів, аспірантів і молодих учених, м. Житомир, 23 листопада 2017 року: тези доповідей. Житомир, 2017. С. 108.

7. Жежкун А. М., **Тищенко О. М.** Особливості товарної та сортиментної структури березових деревостанів Чернігівського Полісся. Наукові читання імені В. М. Виноградова: Перша відкрита регіональна науково-практична інтернет-конференція присвячена 5-річчю заснування кафедри лісового та садово-паркового господарства, м. Херсон, 23–24 травня 2019 року: тези доповідей. Херсон, 2019. С. 32–34. *(Тищенком О. М. проведено аналіз літературних джерел, виконано збір польового експериментального матеріалу у березових деревостанах Українського Полісся, написано первинний текст тез доповідей, Жежкуном А. М. проведено аналіз отриманих результатів, скориговано кінцеві висновки).*

8. Биченко В. В., **Тищенко О. М.** Особливості збігу стовбурів дерев берези повислої Полісся України. Науковий пошук молоді для сталого розвитку лісового комплексу та садово-паркового господарства: 74-а Всеукраїнська студентська науково-практична конференція, м. Київ, 22 вересня 2020 року: тези доповідей. Київ, 2020. С. 19–20. *(Тищенком О. М. проведено аналіз літературних даних та зібрано дослідний матеріал, зроблено моделювання, написано первинний текст тез доповідей, Биченком В. В. проведено аналіз отриманих результатів дослідження, проведено редагування тексту статті відповідно до вимог видання та підготовлено висновки).*

9. **Тищенко О. М.**, Биченко В. В. Вплив повноти деревостану на форму стовбурів дерев берези повислої Полісся України. Аспекти сталого розвитку лісового, сільського, водного та енергетичного господарств зони Полісся України, м. Житомир, 8 квітня 2021 року: тези доповідей. Житомир, 2021. С. 131–133. *(Тищенко О. М. проведено аналіз літературних даних, зібрано дослідний матеріал, написано первинний текст тез доповідей, Биченком В. В. проведено аналіз отриманих результатів дослідження, проведено редагування тексту статті відповідно до вимог видання та підготовлено висновки).*

10. Лакида П. І., Смолін В. О., **Тищенко О. М.**, Ярощук М. О. Стан та продуктивність м'яколистяних деревостанів Українського Полісся. Сучасні проблеми лісового господарства та екології: шляхи вирішення: Міжнародна науково-практична конференція, м. Житомир, 7–8 жовтня 2021 року: тези доповідей. Житомир, 2021. С. 108. *(Тищенко О. М. проведено аналіз наукових літературних джерел, написано первинний текст тез доповідей, Лакидою П. І. розроблено методику проведення дослідження, проведено аналіз отриманих результатів, скориговано кінцеві висновки, Смоліним В. О. виконано збір польового експериментального матеріалу у вільхових деревостанах регіону дослідження, Ярощуком М. О. проведено аналіз отриманих результатів).*