

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



БИЧЕНКО ВОЛОДИМИР БОРИСОВИЧ

УДК 630*52:582.632.2(477.46)

**РОЗМІРНО-ЯКІСНА СТРУКТУРА ДУБОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ
ПРИДНІПРОВСЬКОГО ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ
ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ЇЇ ОЦІНКИ**

06.03.02 «Лісовпорядкування та лісова таксація»

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата сільськогосподарських наук

Київ – 2020

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Національному університеті біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник доктор сільськогосподарських наук,
професор, член-кореспондент НААН
Лакида Петро Іванович,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
директор Навчально-наукового інституту
лісового і садово-паркового господарства

Офіційні опоненти: доктор сільськогосподарських наук, професор
Миклуш Степан Іванович,
Державний вищий навчальний заклад
«Національний лісотехнічний університет України»,
директор Навчально-наукового інституту
лісового і садово-паркового господарства

кандидат сільськогосподарських наук
Любчич Микола Васильович,
Харківське обласне управління
лісового та мисливського господарства,
начальник відділу лісового господарства,
лісовідновлення, лісорозведення
та використання лісових ресурсів

Захист відбудеться «04» березня 2020 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.09 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, кімната 301

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Автореферат розіслано «03» лютого 2020 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

А. Г. Лащенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В умовах переходу лісового господарства України на ринкові умови управління на засадах сталого розвитку одним із найважливіших його завдань постає раціональне використання лісових ресурсів. Серед шляхів вирішення цього завдання виокремлюється необхідність підвищення точності матеріальної оцінки деревних ресурсів. При цьому інформація про розмірно-якісну структуру запасу насаджень, які відводяться в рубку, має чи не найбільш вагоме значення у плануванні діяльності лісогосподарського виробництва.

Упродовж останніх трьох десятиліть в Україні створено значну за обсягом базу лісової нормативно-довідкової інформації, яка широко використовується у виробничій діяльності лісогосподарських підприємств. Формуванню насаджень у кожному регіоні України притаманні певні особливості, що позначається на їх будові та основних біометричних показниках. З цієї причини застосування чинних нормативів в окремих випадках не забезпечує достатньої точності обліку стовбурового запасу лісових насаджень. Виділення локальних районів з однорідними умовами росту та формування лісостанів і розроблення для них нормативів значно підвищить точність матеріальної оцінки деревини. Одним із таких районів виступає Придніпровський правобережний Лісостеп, в якому розташовується регіон дослідження. Загальна площа регіону становить 217,6 тис. га, лісистість – близько 27,7 %. На дубові ліси тут припадає 40,4 тис. га, або 67,1 % площі ділянок, вкритих лісовою рослинністю.

Поступова інтеграція економіки України в європейський ринок зумовила логічний перехід на європейську систему обліку лісоматеріалів. Із 01.01.2019 р. в Україні втратила чинність низка стандартів, а саме: ГОСТ 9462-88, ГОСТ 2708-75, ГОСТ 3243-88, ТУУ 56.196–95. Чинними сьогодні є ДСТУ 4020-2-2001, ДСТУ EN 1315-1-2001, ТУУ-00994207-001:2018, ТУУ-00994207-002:2018, ТУУ-00994207-003:2018, ТУУ-00994207-004:2018, ТУУ-00994207-005:2018, які регламентують обмір, визначення об'ємів, класифікацію за розмірами круглих лісоматеріалів за серединним діаметром, а також встановлюють для ділової деревини класи якості. За таких умов таблиці розподілу об'єму стовбурів за розмірно-якісними категоріями, сортиментні й товарні таблиці, які розроблені на основі відмінених стандартів, містять неактуальну інформацію про структуру запасу за європейською класифікацією.

Розвиток технічного прогресу, а саме комп'ютерної техніки, забезпеченість нею наукових установ та підприємств галузі дає можливість застосовувати досконаліші методи таксації. Так, моделювання об'єму стовбура та лісоматеріалів на основі рівняння твірної може значно підвищити точність відповідних нормативів. Актуальність визначається необхідністю пошуку шляхів підвищення точності нормативів розмірно-якісної структури дубових деревостанів, зокрема розробленням регіональних нормативів і застосуванням складніших методів таксації, потребою нагального оновлення лісонормативної бази за вимогами нових європейських стандартів на круглі лісоматеріали.

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

Дисертаційне дослідження виконано в межах науково-технічної тематики «Розроблення нормативного забезпечення таксації виходу круглих лісових матеріалів за класами товщини» (номер державної реєстрації 0119U102967), до виконання якої здобувач залучений як виконавець окремих розділів.

Мета та завдання дослідження. Мета дисертаційного дослідження полягала в узагальненні особливостей форми стовбурів дуба звичайного Придніпровського правобережного Лісостепу України та в розробленні нормативів об'єму та його розмірно-якісної структури за вимогами європейських стандартів на круглі лісоматеріали. Для досягнення поставленої мети передбачалося вирішити наступні завдання:

- проаналізувати лісівничо-таксаційну характеристику дубових деревостанів регіону дослідження з метою забезпечення репрезентативності дослідного матеріалу;

- дослідити взаємозв'язок біометричних показників стовбурів дуба та оцінити їхній вплив на формування твірної;

- опрацювати математичні моделі збігу стовбурів дуба і на їх основі розробити об'ємні таблиці;

- обґрунтувати алгоритм умовного розкряжування стовбурів та визначити розмірно-якісну структуру дослідного матеріалу за новими стандартами на круглі лісоматеріали;

- розробити математичні моделі розмірно-якісної структури ділових та напівділових стовбурів і скласти відповідні нормативи для пристиглих, стиглих та перестиглих дубових деревостанів Придніпровського правобережного Лісостепу України;

- оцінити точність розроблених нормативів об'єму та розмірно-якісної структури для можливості їх практичного застосування на виробництві.

Об'єкт дослідження – закономірності взаємозв'язку біометричних показників дерев дуба звичайного та їхній вплив на розмірно-якісну структуру об'єму деревини дуба звичайного Придніпровського правобережного Лісостепу України.

Предмет дослідження – об'єм та розмірно-якісна структура стовбурів дерев дуба звичайного Придніпровського правобережного Лісостепу України.

Методи дослідження. Теоретичні та емпіричні дослідження виконано з використанням загальнонаукових і спеціальних методів. Під час збору дослідного матеріалу застосовувалися загальнонаукові методи, зокрема спостереження, порівняння, вимірювання; для пошуку та узагальнення взаємозв'язків біометричних показників стовбурів, розроблення математичних моделей використано методи кореляційного аналізу та математичного моделювання; оцінювання точності регресійних рівнянь виконано за допомогою дисперсійного аналізу. Пошук параметрів математичних моделей під час первинної обробки дослідного матеріалу за програмою ПЕРТА здійснено методом зональної апроксимації твірної деревних стовбурів. Для підбору параметрів математичних моделей твірних у статистичній системі R використано метод Ньютона нелінійної мінімізації суми квадратів відхилень.

Для знаходження параметрів математичних моделей взаємозв'язку біометричних показників стовбурів дерев дуба додатково використовувався метод Франка-Вульфа (градієнтний метод наближеного знаходження розв'язку задач нелінійного програмування). Серед спеціальних застосовувалися лісівничі, таксаційні, біометричні методи – для визначення розміщення тимчасових пробних площ, кількості та структури дослідного матеріалу.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

уперше:

- на засадах системного підходу з використанням репрезентативного експериментального матеріалу, зібраного за адаптованою лісотаксаційною методикою з використанням математико-статистичного інструментарію, досліджено особливості форми та розроблено математичні моделі твірної, на основі яких складено таблиці об'єму стовбурів дуба;

- встановлено закономірності розподілу об'єму ділових та напівділових стовбурів дуба за розмірно-якісними категоріями відповідно до європейських стандартів;

обґрунтовано:

- методика узагальнення форми стовбурів дерев дуба за групами діаметрів для подальшого моделювання їхнього збігу;

- алгоритм умовного розкрязування стовбурів для визначення розмірно-якісної структури їхнього об'єму;

- доцільність і методичні принципи окремої таксації ділових та напівділових стовбурів;

набули подальшого розвитку теоретичні й практичні методи розроблення нормативів об'єму та розмірно-якісної структури запасу насаджень на основі математичної моделі твірної.

Практичне значення одержаних результатів. Для застосування у наукових цілях та на виробництві пропонуються: математичні моделі твірної стовбурів дуба; таблиці об'єму стовбурів дуба; математичні моделі розподілу об'єму ділових і напівділових стовбурів дуба за розмірно-якісними категоріями; таблиці розмірно-якісної структури ділових і напівділових дерев дуба для таксації пристиглих, стиглих та перестиглих деревостанів Придніпровського правобережного Лісостепу України.

До розроблення загальнодержавних нормативів опрацьовані таблиці можуть тимчасово використовуватися на підприємствах лісової галузі для таксації запасу дубових деревостанів та його розмірно-якісної структури за новими європейськими стандартами.

Результати дисертаційного дослідження впроваджено у виробничу діяльність підприємств Черкаського обласного управління лісового та мисливського господарства Державного агентства лісових ресурсів України. Окремі положення і висновки дисертації використовуються у навчальному процесі під час викладання дисциплін «Лісова таксація» та «Моделювання продуктивності лісів» для підготовки фахівців освітніх ступенів «Бакалавр» і «Магістр» у Національному університеті біоресурсів і природокористування України.

Особистий внесок здобувача. Дисертацію виконано на основі багаторічного практичного досвіду здобувача та проведеного ним наукового дослідження. Здобувачем особисто та за участі студентів кафедри таксації лісу та лісового менеджменту Національного університету біоресурсів і природокористування України, працівників державних лісогосподарських підприємств проведено збір дослідного матеріалу: обмір та оцінювання якості 171 модельного дерева дуба на 17 тимчасових пробних площах у лісах регіону дослідження. Здобувачем особисто проаналізовано та узагальнено досвід використання математичної моделі твірної для визначення об'єму деревного стовбура, розроблено алгоритми для обробки дослідного матеріалу, розроблено математичні моделі розмірно-якісної структури й обчислено їхні параметри, виконано розрахунки та проаналізовано точність математичних моделей і нормативів, здійснено узагальнення та висновки за результатами дослідження.

Визначення актуальності теми, постановка мети та завдань, обговорення результатів дослідження проведено разом з науковим керівником. Особистий внесок здобувача у спільних наукових розробках зазначено у списку опублікованих праць за темою дисертації, права співавторів не порушено.

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні положення та результати дисертації обговорювалися на: Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми лісового сектору та садово-паркового господарства» (м. Київ, 2016 р.); IV Всеукраїнській науково-практичній конференції «Ліс, наука, молодь» (м. Житомир, 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Здоров'я лісів, екосистемні послуги та лісові продукти для суспільства» (м. Київ, 2017 р.); 67-й науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів за підсумками наукової діяльності у 2016 році «Наукові основи підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем» (м. Львів, 2017 р.).

Публікації. За темою дисертаційного дослідження опубліковано 9 наукових праць, з яких 5 статей у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, 4 тези наукових доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація містить анотації, перелік умовних позначень, вступ, чотири розділи, висновки, пропозиції виробництву, список використаних джерел (127 найменувань) та додатки. Загальний обсяг дисертації становить 187 сторінок, її основна частина містить 39 таблиць і 25 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У розділі 1 «Характеристика регіону та об'єкта дослідження» проаналізовано фізико-географічні та природно-кліматичні умови Придніпровського правобережного Лісостепу України, узагальнено лісівничо-таксаційну характеристику дубових деревостанів регіону дослідження.

Придніпровський правобережний Лісостеп за районуванням С. А. Генсірука (2002) входить до 13-го Центрального лісостепового лісогосподарського району Придніпровської височини, IV Дністровсько-Дніпровського лісогосподарського округу та розташовується у Вінницькій, Київській і Черкаській областях. Лісові масиви на території Центрального лісостепового району Придніпровської височини розташовані нерівномірно. В західній його частині (Іллінці, Христинівка, Умань, Тальне, Лисянка, Звенигородка) та на півночі (Біла Церква, Богуслав) лісові ділянки фрагментарні та чергуються зі значними площами сільськогосподарських угідь. При наближенні до Дніпра, у східній частині, сконцентровані основні площі дубових лісів цього лісогосподарського району, що й зумовило вибір регіону дослідження. Загальна лісистість Дністровсько-Дніпровського лісостепового округу становить 11 %, тоді як лісистість регіону дослідження наближена до оптимальної для Лісостепу (18–20 %) та оцінюється на рівні 27,7 % (Генсірук С. А., 1980).

Регіон дослідження розташовується на території чотирьох адміністративних районів Черкаської області: Городищенського, Смілянського, Кам'янського та Чигиринського. Його східна межа збігається з межею Центрального лісостепового району Придніпровської височини від Чигирини по р. Тясмин – Ірдинь до Деренківця. Західна межа проходить по лінії Деренківець – Городище – Цвітково – Ротмистрівка – Вербівка – Бандурово. Південна межа також збігається з межею Центрального лісостепового району Придніпровської височини. Загальна площа регіону дослідження становить близько 217,6 тис. га, у тому числі 60,2 тис. га лісів.

Для аналізу лісового фонду регіону дослідження використано повидільну базу даних ВО «Укрдержліспроект» таксаційної характеристики лісів лісового фонду України станом на 01.01.2011 р. та матеріали обліку лісів України 2010 р. За результатами аналізу виявлено, що головним лісотвірним деревним видом виступає дуб звичайний, насадження з його домінуванням зростають на площі 40,4 тис. га (67,1 %). Крім дубових, значні площі охоплюють ліси: акацієві – 5,6 тис. га (9,4 %), соснові – 5,0 тис. га (8,4 %) та ясеневі – 3,4 тис. га (5,6 %). Основним типом лісу, який формує дуб звичайний, виступає свіжа грабова діброва (D₂ГД), яка поширена на площі 38,1 тис. га (94,3 %). Під свіжою грабово-сосною судібновою (С₂ГСД) знаходиться 2,7 % площі, а під сухою грабовою дібновою (D₁ГД) – 1,9 %.

За віковою структурою в дубняках молодняки становлять 9,1 %, середньовікові – 63,0 %, пристиглі – 22,9 %, стиглі та перестиглі – 5,0 % площі. Значна частка, порівняно із загальнодержавним показником, площі пристиглих, стиглих та перестиглих деревостанів (27,9 %) свідчить про невиснажливі в минулі роки обсяги лісокористування в регіоні. Позитивну динаміку вікової структури в дубових насадженнях також підтверджує їхній середній вік, який вищий за половину віку рубок головного користування та досягає 73 років (по Україні – 68 років).

Частка дубових лісостанів регіону з класом бонітету II і вище становить 93,6 %, із середнім значенням I,5. Про високу продуктивність дубових

насаджень також свідчить середній запас, який становить $263 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ (по Україні – $224 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$). Дубові ліси регіону характеризуються високими повнотами. Так, під насадженнями з повнотою 0,7 і вище знаходиться 93,6 % площі, з середнім значенням – 0,76, що, з точки зору лісівництва, відповідає оптимальній повноті (Свириденко В. Є., Швиденко А. Й., 1995). За походженням, 97,6 % насаджень у регіоні насінневі, а середня частка участі дуба в запасі деревостанів становить 5,7. Відповідно до завдань дисертації матеріали розділу було використано для планування розміщення тимчасових пробних площ та збору дослідного матеріалу.

У розділі 2 «Сучасний стан дослідження розмірно-якісної структури деревостанів» висвітлено історичні аспекти розвитку методів таксації запасу деревостанів, проаналізовано теоретичні засади моделювання об'єму деревного стовбура та розмірно-якісної структури деревостанів.

Вважається, що розвиток методів таксації запасу деревостанів бере початок у ХІХ ст. із публікацією праць німецьких вчених: у 1812 р. J. W. Hossfeld «Niedere und höhere praktische Stereometrie, nebst eine gründliche Anweisung zum Taxation des Holz gehalts einzelner Bäume und Bestände und ganzer Wälder» та в 1813 р. G. König «Anleitung zur Holztaxation». Подальший розвиток таксації закордонних вчених цього періоду втілено у працях U. Müller «Lehrbuch der Holzmesskunde», W. Tishchendorf «Lehrbuch der Holzmassenermittlung», G. Hüffel «Dendrometrie» і «Economie forestiere», R. Roulleau «Cubage des bois», W. Schlich «Forest Mansuration», H. Graves «Forest Mansuration».

На теренах колишньої Російської імперії першими стали підручник В. С. Семенова «Таксация лесов», опублікований у 1843 р., та результати лісотаксаційних досліджень Варгаса-де-Бадемара «Исследования о запасе и приросте лесов в Тульской Губернии...» (1844). Згодом побачили світ наступні роботи вчених: Н. М. Зобов «Лесная таксация» (1873), Баур «Лесная таксация», Кунце «Учебник древоизмерения» (1878), А. Ф. Рудзький «Лесная таксация: пособие для лесничих, лесовладельцев и лесопромышленников» (1890), М. К. Турський «Таблицы для таксации леса» (1872).

Радянський період розвитку лісової таксації характеризується активним розробленням теоретичних положень у тісному взаємозв'язку з вимогами виробництва. Особливо варто відзначити внесок у розвиток лісотаксаційної науки класика лісової таксації та лісовпорядкування М. М. Орлова, який підготував 148 статей та книг. Не менш важливі й дослідження М. П. Анучина, які пов'язані з розрахунком обсягів лісокористування, товаришацією і сортиментацією запасу деревостанів. У цей період опубліковано також праці В. К. Захарова (1955, 1966, 1967), М. Є. Ткаченка (1952), Д. І. Товстоліса (1931), М. В. Третьякова (1934, 1937, 1940), М. К. Турського (1927), О. В. Тюріна (1931, 1938). Подальший розвиток лісової таксації у колишньому СРСР пов'язаний з іменами А. А. Антанайтіса (1976), О. О. Атрощенко (1989), В. Ф. Багінського (1984), І. І. Гусєва (1975), В. В. Загреєва (1974, 1992), Г. Б. Кофмана (1986), А. А. Кулешіса (1976, 1983), О. Г. Мошкальова (1969,

1983), К. Є. Нікітіна (1968, 1978), С. М. Свалова (1982, 1984), А. З. Швиденка (1971, 1979, 1981) та ін.

У сучасних умовах лісова таксація знаходиться на новому якісному етапі історії свого розвитку. Ключова роль тут належить вибірково-статистичним і дистанційним методам. У новітній історії України найбільш значущими в лісовій таксації стали роботи вчених: О. А. Гірса (1999, 2000, 2004), М. М. Грома (2010), С. М. Кашпора (1999, 2007, 2013), П. І. Лакиди (1993, 1997), А. А. Строчинського (2004, 2007), Є. І. Цурика (2008) та ін.

Визначення об'єму деревного стовбура є однією з головних задач лісової таксації. Одними з перших були масові таблиці, опубліковані німецьким лісівником Гартігом у 1804 р. У 1846 р. видано баварські масові таблиці, а в 1886 р. – російські тимчасові таблиці. Значні за обсягом дослідження виконано на початку ХХ ст. під керівництвом А. Крюденера та М. Орлова, зокрема довідник «Лесная вспомогательная книжка для таксации и технических расчетов». У 30-х роках ХХ ст. було розроблено масові таблиці Союзліспрому, які широко застосовувалися в Україні до опублікування в 1987 р. видання «Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии». Згодом на кафедрі лісової таксації та лісовпорядкування Національного університету біоресурсів і природокористування України було проведено низку наукових досліджень, що сприяло опублікуванню в 2013 році нормативно-інформаційного видання «Лісотаксаційний довідник».

На початку другої половини ХІХ ст., як відзначав Г. Б. Кофман (1986), науковці розділилися на дві окремі гілки стосовно застосування методів визначення об'єму стовбура. Одні наполягали на використанні показників форми, інші – на дослідженні твірної деревного стовбура.

Метод визначення об'єму стовбура за показниками форми досить добре розвинений, обґрунтований ученими і набув широкого застосування в Україні. Багаторічний досвід використання на виробництві нормативів, побудованих на основі цього методу, засвідчив їх зручність та прийнятну точність.

Узагальнюючи багаторічний досвід дослідників з питання моделювання твірної, можна виділити два основні напрями: апроксимація збігу по всій довжині за допомогою однієї функції та розділення стовбура на декілька зон, котрі в подальшому описуються порівняно простими залежностями.

Одним із перших, хто намагався описати твірну деревного стовбура рівнянням кубічної параболи, був Д. І. Менделєєв. Поліноми також використовували В. Г. Нестеров (1971), А. М. Федосімов (1968), О. Г. Мошкальов (1973). Швиденко А. З. (1981) застосував монотонно спадну показникову функцію, а описати твірну рядом Фур'є за непарними багаточленами Чебишева першого роду запропонував О. В. Поляков (2008). За кордоном різні вчені розробили математичні моделі на основі поєднання окремих функцій, серед яких праці J. C. Byrne and D. D. Reed (1986), А. Kozak (1988, 2004), R. M. Newnham (1992), J. Fonwebean (2011).

Основоположником методу зональної апроксимації твірної стовбура в Україні став К. Є. Нікітін (1978). Вчений розбив стовбур дерева на чотири зони, а для апроксимації твірної використав рівняння параболи другого порядку.

Поліноми Ньютона для опису твірної з розподілом стовбура на три зони використовував А. З. Швиденко (1981). Метод зональної апроксимації активно досліджувався і за кордоном. Так, Т. А. Мах і Н. Е. Burkhard (1976) розробили подібну модель для північно-американського виду сосни *Pinus taeda* L. В дослідженнях А. Clark et al. (1991) на її основі розроблені складніші моделі, особливістю яких є наявність фіксованої відмітки 5,27 м. Загалом основна перевага застосування математичної моделі твірної над іншими зазначеними методами полягає в можливості визначення об'єму не тільки стовбура, а і його довільних частин.

Для визначення розмірно-якісної структури запасу відомо кілька методів: індивідуальна подеревна сортиментація (Захаров В. К., 1967; Анучин М. П., 1982), за модельними деревами (Анучин М. П., 1957, 1982), за пробними площами (Зарудний І. М., 1970; Анучин М. П., 1982), за сортиментними та товарними таблицями (Анучин М. П., 1982). Кожен із цих методів має свої особливості, але найширшого застосування на виробництві набув останній.

Узагальнення методики складання сортиментних таблиць здійснено К. Є. Нікітіним та А. З. Швиденком (1980): дослідження співвідношень висот і діаметрів дерев та побудову розрядної шкали; дослідження повнодеревності стовбурів та моделювання їхнього об'єму; встановлення закономірностей розподілу об'єму стовбурів за розмірно-якісними категоріями.

Досвід моделювання розрядної шкали засвідчив, що у молодшому віці криві висот деревостанів характеризуються, як правило, більш інтенсивним зростанням, на відміну від старших насаджень, криві яких більш пологі (Нікітін К. Є., 1980, 1987). Тому чинні сортиментні таблиці побудовані в межах деревної породи окремо для різних вікових груп деревостанів. Вирішення другого завдання має два основні шляхи: моделювання об'єму стовбура як функції показників форми та моделювання твірної деревного стовбура. При застосуванні показників форми для визначення об'єму методика моделювання розмірно-якісної структури базується на закономірностях розподілу об'єму у відносних величинах. Застосування математичної моделі твірної передбачає встановлення закономірностей розташування однорідних за якістю ділянок за довжиною стовбура. Зазначений метод був досліджений Я. А. Юдицьким (1985), О. В. Поляковим (1999, 2008, 2009) та застосований при розробленні таблиць 1.46–1.56 нормативу «Лісотаксаційний довідник» (2013).

За М. П. Анучиним (1982), точність визначення запасу та виходу сортиментів за сортиментними таблицями залежить від похибок при встановленні трьох таксаційних показників: висоти, видового числа та діаметра. Вчений розрахував, що при відносній похибці за висотою – 4,0 %, за видовим числом – 4,5 %, за діаметром – 0,5 % відносна похибка у визначенні запасу становитиме 6,0 %. Відносні похибки у визначенні об'ємів окремих категорій лісоматеріалів залежать від їхньої відповідної частки в запасі та коливаються від 6,0 до 14,1 %.

У розділі 3 «Методика збору, первинна обробка та характеристика дослідних даних» наведено методику збору дослідного матеріалу, здійснено його первинну обробку та аналіз.

Враховуючи поставлені у дисертації завдання, збір дослідної інформації передбачав: аналіз таксаційних описів та збір матеріалів виробничих переліків ділянок лісу, відведених у рубки головного користування та прохідні рубки; закладання тимчасових пробних площ у відібраних насадженнях з урахуванням вимог СОУ 02.02-37-479:2006; проведення підбору, рубання, обміру та оцінювання якості модельних дерев дуба.

Тимчасові пробні площі закладалися у пристиглих, стиглих та перестиглих дубових насадженнях насінневого походження (рис. 1). Для досягнення максимальної репрезентативності, враховуючи проведений аналіз даних лісового фонду, лісові ділянки підбиралися у найбільш поширеному типі лісорослинних умов – D_2 , I–III класів бонітету. Всього закладено 17 тимчасових пробних площ з рубкою модельних дерев у 10 лісництвах (табл. 1), на кожній з яких було зрубано та обміряно від 5 до 15 шт., загальною кількістю 171 шт. Кількість пробних площ та модельних дерев визначалася наближено пропорційно площі пристиглих, стиглих та перестиглих дубових насаджень окремого лісництва.

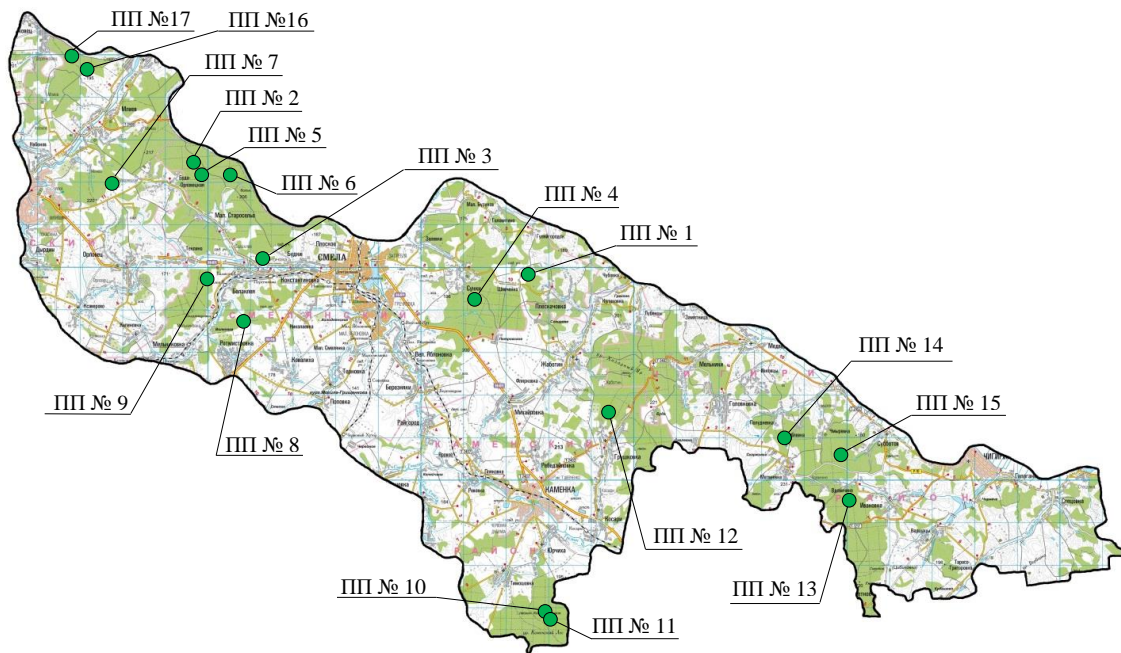


Рис. 1. Територіальне розміщення тимчасових пробних площ у регіоні дослідження

Як модельні обиралися ділові та напівділові дерева. Зважаючи на особливості класифікації лісоматеріалів категорії D, у дисертації обґрунтовано методику віднесення стовбурів до категорій технічної придатності. Так, за ділові дерева приймалися ті, з окоренкової частини стовбура яких можливо заготовити діловий сортимент категорій А, В, С довжиною 6,5 м і більше, за напівділові – з протяжністю ділової частини (категорій А, В, С) у нижній частині стовбура від 2,0 до 6,5 м. Така класифікація стовбурів дає змогу об'єктивно їх оцінити та диференціювати, а також уникнути необхідності перенавчати персонал лісгосподарських підприємств визначенню категорій технічної придатності стовбурів.

Розподіл кількості дослідного матеріалу

№ з/п	Підприємство	Лісництво	Кількість, шт.	
			пробних площ	модельних дерев
1	ДП «Кам'янський лісгосп»	Грушківське	1	8
2	ДП «Кам'янський лісгосп»	Тимошівське	2	23
3	ДП «Кам'янський лісгосп»	Креселецьке	–	–
4	ДП «Смілянський лісгосп»	Будянське	3	32
5	ДП «Смілянський лісгосп»	Володимирівське	2	23
6	ДП «Смілянський лісгосп»	Городищенське	1	14
7	ДП «Смілянський лісгосп»	Мліївське	2	10
8	ДП «Смілянський лісгосп»	Смілянське	1	12
9	ДП «Смілянський лісгосп»	Сунківське	2	17
10	ДП «Чигиринський лісгосп»	Матвіївське	2	20
11	ДП «Чигиринський лісгосп»	Яничанське	1	12
Разом			17	171

Для дослідження повнодеревності на зрубному дереві визначалися: довжина стовбура від пня, висота пня, відстань першої відмерлої та живої гілки від пня, діаметри у корі та товщина кори на окоренковому зрізі, висоті грудей і на серединах секцій. Для дослідження розмірно-якісної структури стовбурів фіксувалася відстань від окоренка до точки зміни класу якості лісоматеріалів. Класифікація ділової деревини за якістю проводилася за вимогами ТУУ-00994207-003:2018 (2019).

Для основних таксаційних показників модельних дерев ($d_{1,3}$ – діаметр у корі на висоті 1,3 м; h – висота; f – старе видове число; q_2 – коефіцієнт форми; $q_{0,5}$ – клас форми; $V_{ук}$ – об'єм стовбура у корі; $V_{діл.}$ – об'єм ділової деревини) обчислено статистики (max , min – максимальне та мінімальне значення, M – середнє арифметичне значення; σ – середньоквадратичне відхилення; m – помилка середнього; v – коефіцієнт варіації, %; As – асиметрія; Es – ексцес), які наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Таксаційні показники модельних дерев та їх статистики

Статистика	Таксаційний показник						
	$d_{1,3}$, см	h , м	F	q_2	$q_{0,5}$	$V_{ук}$, м ³	$V_{діл.}$, %
max	65,7	33,5	0,614	0,867	0,903	3,983	76,3
min	20,2	18,3	0,389	0,491	0,527	0,371	26,1
M	38,3	24,9	0,506	0,732	0,785	1,546	55,7
σ	10,2	2,5	0,043	0,061	0,061	0,816	10,1
m	0,781	0,190	0,003	0,005	0,005	0,062	0,771
v	26,7	10,0	8,5	8,4	7,8	52,8	18,1
As	0,330	0,131	-0,141	-1,308	-1,675	0,740	-0,293
Es	-0,604	0,508	0,059	2,419	3,563	-0,054	-0,448

Рівень варіативності форми стовбурів та доцільність пошуку ознак для їх групування перевірено за допомогою методу розробленого Д. Тьюки (1981),

який ґрунтується на міжквартильній відстані з побудовою діаграми розмаху. В роботі також перевірено припущення про відмінність форми стовбурів за висотою та діаметром. Перевірка проводилася за коефіцієнтами форми з застосуванням t -критерію Стюдента. В результаті виявлено значущу відмінність між формою модельних дерев різних груп діаметрів.

З метою визначення фактичного показника точності досліду (P) для середніх значень коефіцієнтів форми та видового числа було обраховано їх похибки (m) та коефіцієнти варіації (v) у межах груп діаметрів. Показник точності досліду визначався для довірчої імовірності 0,95 ($\alpha=0,05$). Результати розрахунків свідчать, що фактична кількість модельних дерев у групах більша, ніж обчислена, а загальна точність досліду (за видовим числом) становить близько 2,0 %, чим підтверджується достатня кількість дослідного матеріалу для моделювання твірної.

Установлено, що середні значення частки ділової деревини для дерев різних категорій технічної придатності значуще відрізняються (при $\alpha=0,05$). Тому пошук математичних моделей для цього показника необхідно проводити окремо для ділових та напівділових стовбурів. При цьому можливо забезпечити точність встановлення виходу ділової деревини на рівні 10,0 %, що свідчить про достатню кількість дослідного матеріалу для моделювання виходу якісних категорій лісоматеріалів.

У четвертому розділі «Об'єм та розмірно-якісна структура стовбурів дуба» проведено моделювання твірної стовбурів дуба та розроблення на їхній основі об'ємних таблиць, опрацьовано алгоритм для визначення розмірно-якісної структури дослідного матеріалу за європейськими стандартами, на основі знайдених математичних моделей розмірно-якісної структури об'єму стовбурів дуба розроблено відповідні нормативи, виконано їхню перевірку та порівняння.

Аналіз методів апроксимації твірної різними рівняннями свідчить про значний досвід закордонних вчених у їх розробленні та широкому застосуванні, саме тому було апробовано чотири математичні моделі цих авторів (табл. 3).

Таблиця 3

Математичні моделі твірної

Автор, рік	Математичний вираз моделі	№ рівняння
J. Leban, 2003	$d_i = a_4 \cdot d \cdot (1-z)^{(a_0+a_1 \cdot (1-z))} \cdot (1 + a_2 \cdot \exp(a_3 \cdot z));$ $z = h_i/h$	(1)
R. Newnham, 1992	$d_i = d \cdot X^{(a_0+a_1 \cdot (z-1)+a_2 \cdot \exp(a_3 \cdot z))};$ $X = (h-h_i)/(h-1.3); z = h_i/h$	(2)
A. Kozak, 2004	$d_i = a_0 \cdot d^{a_1} \cdot h^{a_2} \cdot X^{(b_1 \cdot g^4 + b_2 / \exp(d/h) + b_3 \cdot x^{0.1} + b_4/d + b_5 \cdot h^w + b_6 \cdot x)};$ $X = w/(1-1.3/h^{1/3}); w = 1-g^{1/3}; g = h_i/h$	(3)
A. Kozak, 1988	$d_i = a_0 \cdot d^{a_1} \cdot a_2^d \cdot X^{(b_1 \cdot z^2 + b_2 \cdot \ln(z+0.001) + b_3 \cdot \sqrt{z} + b_4 \cdot \exp(z) + b_5 \cdot (d/h))};$ $X = (1-\sqrt{(h_i/h)})/(1-\sqrt{0,1225}); z = h_i/h$	(4)

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

Обчислення параметрів для моделей (1–4) виконано у R за допомогою функції *nls*, яка застосовує метод Ньютона для послідовного, наближеного знаходження коренів системи нелінійних рівнянь. Параметри моделей розраховано за трьома групами діаметрів.

Для оцінки якості розроблених математичних моделей перевірено їх точність і адекватність. Точність рівнянь перевірялася за похибками: систематичною, відносною, абсолютною, стандартною похибкою моделювання та коефіцієнтом детермінації. Загалом, за обчисленими статистиками, усі моделі досить точно прогнозують зміну діаметра стовбура за висотою.

Графічний аналіз залишків моделювання діаметра засвідчив, що вони розподілені рівномірно за абсолютним значенням, хоча за відносною висотою для усіх моделей простежується збільшення абсолютної величини залишків від окоренка до вершини, що, ймовірно, спричинено природною мінливістю діаметрів у вершині стовбура. Графічний аналіз також виявив можливу автокореляцію залишків. Для прикладу, на рис. 2 зображено розподіли залишків двох математичних моделей для групи діаметрів 32–40 см.

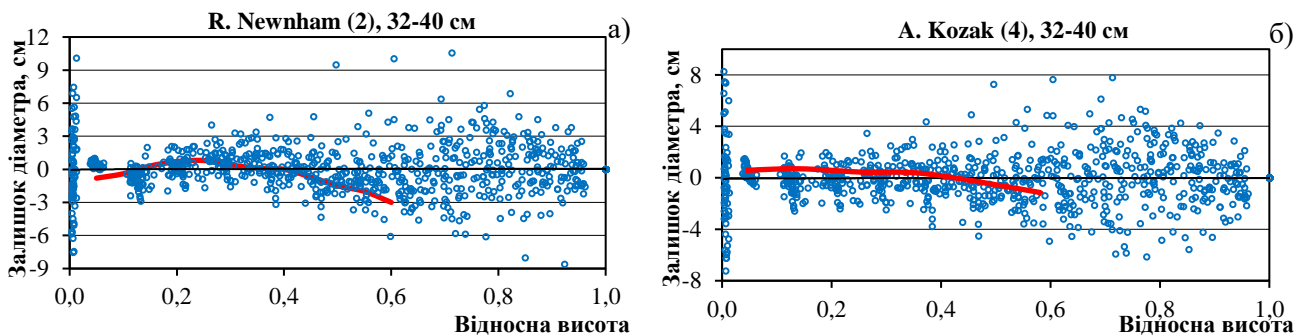


Рис. 2. Розподіл залишків діаметрів стовбурів за відносною висотою (червоною лінією позначено ймовірну автокореляцію): а) R. Newnham; б) A. Kozak

Перевірка на наявність автокореляції проводилася за допомогою *d*-критерію Дарбіна–Уотсона (Джонстон Дж., 1980). За результатами перевірки, з імовірністю 95 % підтвердилася гіпотеза про відсутність автокореляції лише у залишках моделей А. Kozak (3) та (4), тому рівняння J. Leban (1) та R. Newnham (2) надалі не розглядалися.

Форми розподілу відхилень фактичних значень діаметрів для рівнянь А. Kozak (3) та (4) аналізувалися за графіками. Проведений аналіз виявив, що розподіл залишків для моделі (4) найбільш близький до нормального. Порівняння розроблених математичних моделей твірної дубових стовбурів за точністю та адекватністю обґрунтовує застосування рівняння А. Kozak (4) для розроблення нормативів.

Зважаючи, що рівняння (4) описує збіг ростучого дерева, на підставі обмірів модельних дерев було обчислено параметри математичної моделі залежності висоти пня від діаметра стовбура на висоті грудей:

$$h_{\text{пня}} = 10,402 \cdot \exp(0,01030 \cdot d_{1,3}), \quad (5)$$

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

Знайдені параметри моделі А. Козак (4) охоплюють діапазон діаметрів на висоті грудей у діапазоні 20–64 см. Тому виникла необхідність знайти параметри рівняння (4) для груп діаметрів 8–16 та 68–100 см. Для узагальнення форми стовбурів у дисертації проведено дослідження характеру залежності коефіцієнтів форми модельних дерев (q_1, q_2, q_3), відносних діаметрів на висоті пня ($d_{0,01}/d_{1,3}$) та на висоті $0,1h$ ($d_{0,1}/d_{1,3}$) від їх діаметра на висоті грудей. Залежність відносних діаметрів на відносних висотах за діаметром стовбура досить вдало описує рівняння виду:

$$\tilde{q}_i = \frac{d_i}{d_{1,3}} = a \cdot \exp(b \cdot d_{1,3}), \quad (6)$$

де \tilde{q}_i – змодельований відносний діаметр на i -тій відносній висоті; d_i – діаметр на i -тій відносній висоті; $d_{1,3}$ – діаметр на висоті 1,3 м; a та b – параметри рівняння (табл. 4).

Таблиця 4

Параметри рівняння (6) за різних відносних висот

Параметр	Значення параметру для відносної висоти стовбура				
	0,01	0,10	0,25	0,50	0,75
a	1,331	0,9734	0,9188	0,8150	0,6089
b	$-9,537 \cdot 10^{-5}$	$-1,140 \cdot 10^{-3}$	$-1,680 \cdot 10^{-3}$	$-2,819 \cdot 10^{-3}$	$-8,593 \cdot 10^{-3}$

Для прогнозування форми стовбура на основі конкретного модельного дерева з урахуванням мінливості припускаємо, що залишок змодельованого за рівнянням (6) відносного діаметра дорівнює фактичному залишку конкретного модельного. Для подальших обчислень, випадковим чином, для 43 модельних дерев із групи діаметрів 20–28 см та 63 – із групи 44–64 см визначено конкретні діаметри та висоти прогнозованих стовбурів відповідно груп 8–16 та 68–100 см. Спираючись на виявлену закономірність зміни відносних діаметрів (6) і припущення про рівність залишків, для груп діаметрів 8–16 та 68–100 см було обчислено збіг прогнозованих стовбурів та параметри рівняння (4). Таким чином, для подальших розрахунків отримано набір параметрів математичної моделі твірної А. Козак (табл. 5). Застосувавши рівняння твірної (4) та модель висоти пня, за формулою Симпсона складено об'ємні таблиці стовбурів дуба, входами в які є діаметр на висоті 1,3 м і загальна висота.

Таблиця 5

Параметри математичної моделі твірної А. Козак (4)

Коефіцієнт	Значення коефіцієнтів за групою діаметра				
	8–16	20–28	32–40	44–64	68–100
a_0	0,9793	0,02290	2,776	0,2607	1,1017
a_1	0,9830	2,691	0,5510	1,466	0,9571
a_2	0,9999	0,9334	1,014	0,9888	0,9995
b_1	2,953	1,928	1,946	1,260	1,468
b_2	-0,7360	-0,4467	-0,4056	-0,3293	-0,3416
b_3	4,524	2,781	2,286	1,217	1,395
b_4	-2,590	-1,575	-1,387	-0,6096	-0,7807
b_5	0,08452	0,1018	0,1359	-0,03340	0,02233

Порівняння розроблених нормативів об'ємів стовбурів дуба проведено за видовим числом. Як засвідчив графічний аналіз, чинні нормативи дещо занижують видове число стовбурів у діапазоні діаметрів 8–48 см і мають тенденцію до завищення у діапазоні 52–100 см. За розробленими нормативами видове число має більш схожий розподіл з дослідними даними.

Оцінювання точності об'ємних таблиць показало, що систематична (u) та відносна ($u\%$) похибки для розроблених нормативів менші, ніж для чинних. Дещо менше значення також мають абсолютна ($|u|$) і стандартна (s) похибки, що у цілому вказує на те, що застосування розроблених нормативів підвищить точність таксації дубових насаджень у регіоні дослідження.

Для визначення розмірно-якісної структури дослідного матеріалу за новими стандартами передбачалося вирішити декілька завдань: прогнозування збігу стовбурів дуба без кори; моделювання протяжності ділової частини стовбурів; розроблення алгоритму умовного розкрязування; реалізація розробленого алгоритму та обчислення розмірно-якісної структури дослідного матеріалу.

Під час дослідження збігу стовбурів дуба без кори виявлено, що залежність діаметра без кори від діаметра у корі має не тільки високий коефіцієнт кореляції (0,999), який значущий на 5 % рівні ($r_{\text{крит.}}=0,151$), а й практично лінійну форму з незначним розмахом значень. У результаті розроблено математичну модель діаметра стовбура без кори:

$$d_{i \text{ бк}} = 0,7872 \cdot d_{i \text{ ук}}^{1,037}, \quad (7)$$

де $d_{i \text{ бк}}$ – діаметр стовбура без кори на i -тій висоті; $d_{i \text{ ук}}$ – діаметр стовбура у корі на i -тій висоті.

Моделювання протяжності ділової частини стовбура проводилося окремо для ділових та напівділових стовбурів. Для обох категорій стовбурів найбільше значення коефіцієнта кореляції спостерігається між довжиною ділової частини ($l_{\text{діл.}}$) та висотою стовбура (h). У результаті розрахунку отримано математичні моделі протяжності ділової частини стовбура:

– для ділових стовбурів:

$$l_{\text{діл.}} = 3,329 \cdot 1,026^{2,017 \cdot h}, \quad (8)$$

– для напівділових стовбурів:

$$l_{\text{діл.}} = 1,633 \cdot 1,015^{4,735 \cdot h}, \quad (9)$$

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

Розроблений алгоритм умовного розкрязування передбачає: послідовність розрахунків для знаходження відміток, які ділять стовбур на сортименти так, щоб параметри отриманих колод задовольняли певні умови; обчислення об'ємів знайдених сортиментів для кожного модельного дерева; агрегацію даних за класами якості та розмірів. Розмірно-якісна структура ділових і напівділових стовбурів, обчислена за розробленим алгоритмом для модельних дерев, містить розподіл об'єму стовбурів за якісними категоріями (ділова деревина, дрова і відходи) та ділової деревини за класами розмірів (за ДСТУ EN 1315-1:2001).

Під час моделювання якісної структури виявлено, що частка виходу ділової деревини від загального об'єму стовбура в корі ($V_{дiл.}$) має досить тісну кореляційну залежність як від діаметра ($d_{1,3}$), так і від висоти (h). Однак значно вищі значення коефіцієнта кореляції виявилися для виходу ділової деревини в абсолютних показниках ($V_{дiл.}$). Пошук форми залежностей та обчислення параметрів математичних моделей для абсолютних показників здійснено для масиву модельних дерев і прогнозованих стовбурів. У результаті отримано системи рівнянь для ділових (10) та напівділових (11) стовбурів:

$$V_{дiл.} = \begin{cases} 41658 \cdot V_{ук}^{7,319} \cdot \exp(-13,69 \cdot V_{ук}), & 0,17 \leq V_{ук} \leq 0,47 \\ 0,5537 \cdot V_{ук}^{1,128} + 0,03681, & 0,47 < V_{ук} \leq 12,0 \end{cases} \quad (10)$$

$$V_{дiл.} = \begin{cases} 6393 \cdot V_{ук}^{6,446} \cdot \exp(-11,85 \cdot V_{ук}), & 0,17 \leq V_{ук} \leq 0,47 \\ 0,4204 \cdot V_{ук}^{1,192} + 0,01689, & 0,47 < V_{ук} \leq 12,0 \end{cases} \quad (11)$$

де $V_{дiл.}$, $V_{ук}$ – відповідно об'єм ділової деревини та об'єм стовбура у корі.

Об'єм відходів за об'ємом ділової деревини з достатньою точністю апроксимується рівнянням (12) – для ділових та (13) – для напівділових стовбурів:

$$V_{вiдх.} = 0,2424 \cdot V_{дiл.}^{0,8273} \cdot \exp(9,993 \cdot 10^{-5} \cdot V_{дiл.}), \quad 0,01 < V_{дiл.} \leq 9,0, \quad (12)$$

$$V_{вiдх.} = 0,2171 \cdot V_{дiл.}^{0,7856} \cdot \exp(1,971 \cdot 10^{-2} \cdot V_{дiл.}), \quad 0,01 < V_{дiл.} \leq 8,0, \quad (13)$$

де $V_{вiдх.}$, $V_{дiл.}$ – об'єм відходів та об'єм ділової деревини відповідно.

Розроблені математичні моделі (10–13) дають можливість обчислити об'єм дров'яної деревини у стовбурі за рівнянням:

$$V_{др.} = V_{ук} - V_{дiл.} - V_{вiдх.}, \quad (14)$$

де $V_{др.}$, $V_{ук}$, $V_{дiл.}$, $V_{вiдх.}$ – об'єми дров, стовбура у корі, ділової деревини та відходів відповідно.

Розподіл об'єму стовбура на якісні категорії за математичними моделями (10)–(14) зображено на рис. 3. Для наочності на графіку маркерами нанесено усереднені дослідні дані за об'ємом стовбура з градацією 0,3 м³.

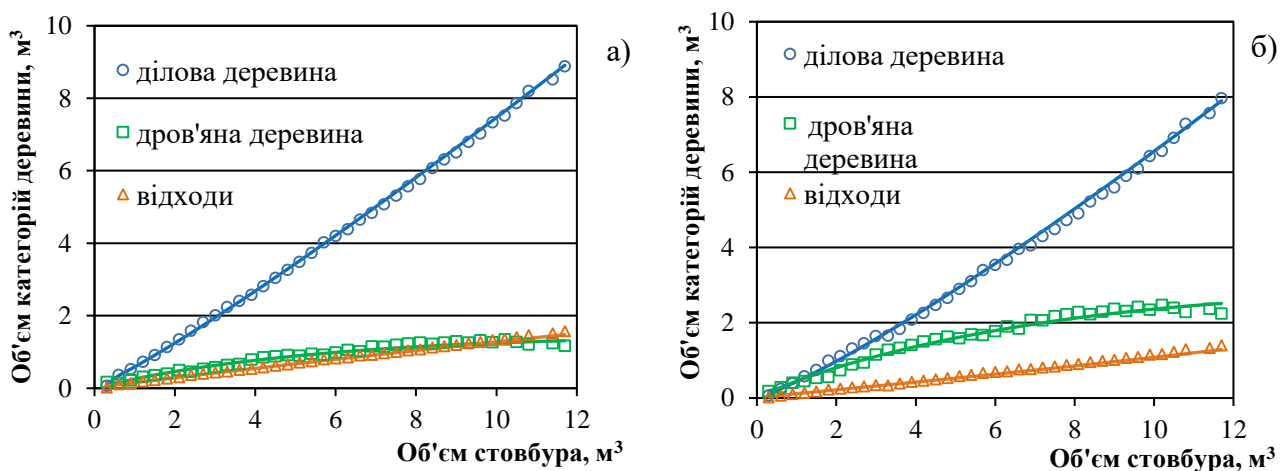


Рис. 3. Якісна структура стовбурів дуба: а) ділових; б) напівділових (маркерами зображено дослідні дані, а лініями відповідного кольору – математичні моделі)

Зважаючи на очевидний факт, що на діаметр лісоматеріалів прямо впливає діаметр стовбура, узагальнення розподілу ділової деревини на розмірні категорії проведено для відносних показників залежно від діаметра стовбура. Математичні моделі (15)–(26) розроблено окремо для стовбурів різних категорій технічної придатності, обчислені параметри яких наведено в табл. 6:

– ділові стовбури:

$$p_{15-19} = \begin{cases} 100, & 16 \leq d_{1,3} \leq 20 \\ a_0 \cdot \exp(a_1 \cdot d_{1,3}) + a_2, & 24 \leq d_{1,3} \leq 32 \end{cases}, \quad (15)$$

$$p_{20-29} = \begin{cases} 100 - p_{15-19}, & 24 \leq d_{1,3} \leq 28 \\ a_0 \cdot (d_{1,3} + a_1)^{a_2} \cdot \exp(a_3 \cdot d_{1,3}), & 32 \leq d_{1,3} \leq 56 \end{cases}, \quad (16)$$

$$p_{30-39} = \begin{cases} 100 - p_{15-19} - p_{20-29}, & 32 \leq d_{1,3} \leq 36 \\ a_0 \cdot (d_{1,3} + a_1)^{a_2} \cdot \exp(a_3 \cdot d_{1,3}), & 40 \leq d_{1,3} \leq 72 \end{cases}, \quad (17)$$

$$p_{40-49} = \begin{cases} 100 - p_{20-29} - p_{30-39} - p_{50-59}, & 40 \leq d_{1,3} \leq 64 \\ a_0 \cdot (d_{1,3} + a_1)^{a_2} \cdot \exp(a_3 \cdot d_{1,3}), & 68 \leq d_{1,3} \leq 88 \end{cases}, \quad (18)$$

$$p_{50-59} = \begin{cases} a_0 \cdot (d_{1,3} + a_1)^{a_2} \cdot \exp(a_3 \cdot d_{1,3}), & 52 \leq d_{1,3} \leq 72 \\ 100 - p_{40-49} - p_{\geq 60}, & 76 \leq d_{1,3} \leq 100 \end{cases}, \quad (19)$$

$$p_{\geq 60} = \begin{cases} 100 - p_{30-39} - p_{40-49} - p_{50-59}, & 68 \leq d_{1,3} \leq 72 \\ a_0 \cdot d_{1,3}^2 + a_1 \cdot d_{1,3} + a_2, & 76 \leq d_{1,3} \leq 100 \end{cases}, \quad (20)$$

– напівділові стовбури:

$$p_{15-19} = a_0 \cdot d_{1,3}^{a_1} \cdot \exp(a_2 \cdot d_{1,3}), \quad 16 \leq d_{1,3} \leq 24, \quad (21)$$

$$p_{20-29} = \begin{cases} 100 - p_{15-19}, & 20 \leq d_{1,3} \leq 28 \\ a_0 \cdot (d_{1,3} + a_1)^{a_2} \cdot \exp(a_3 \cdot d_{1,3}), & 32 \leq d_{1,3} \leq 48 \end{cases}, \quad (22)$$

$$p_{30-39} = \begin{cases} 100 - p_{20-29}, & 32 \leq d_{1,3} \leq 40 \\ a_0 \cdot \exp(a_1 \cdot d_{1,3}) + a_2, & 44 \leq d_{1,3} \leq 64 \end{cases}, \quad (23)$$

$$p_{40-49} = \begin{cases} 100 - p_{20-29} - p_{30-39}, & 44 \leq d_{1,3} \leq 52 \\ a_0 \cdot \exp(a_1 \cdot d_{1,3}) + a_2, & 56 \leq d_{1,3} \leq 76 \end{cases}, \quad (24)$$

$$p_{50-59} = 100 - p_{30-39} - p_{40-49} - p_{\geq 60}, \quad 56 \leq d_{1,3} \leq 96, \quad (25)$$

$$p_{\geq 60} = a_0 \cdot (d_{1,3} + a_1)^{a_2} \cdot \exp(a_3 \cdot d_{1,3}), \quad 68 \leq d_{1,3} \leq 100, \quad (26)$$

де p_{15-19} , p_{20-29} , p_{30-39} , p_{40-49} , p_{50-59} , $p_{\geq 60}$ – відсоток об'єму ділової деревини відповідного класу розмірів від загального об'єму ділової деревини у стовбурі (в індексі вказані середні діаметри лісоматеріалів без кори, см).

Таблиця 6

Параметри математичних моделей розподілу ділової деревини

Параметр	Значення параметрів за класами розмірів					
	15–19 см	20–29 см	30–39 см	40–49 см	50–59 см	≥60 см
ділові стовбури						
a_0	303215	$3,637 \cdot 10^{-4}$	$1,219 \cdot 10^{-4}$	$1,367 \cdot 10^{-4}$	21,07	-0,07698
a_1	-0,3556	-10,19	-18,11	-32,23	-51,02	15,67
a_2	-1,064	9,820	9,434	11,14	1,193	-705,1
a_3	–	-0,5571	-0,3943	-0,4040	-0,03797	–
напівділові стовбури						
a_0	$8,276 \cdot 10^{-13}$	$3,359 \cdot 10^{-13}$	2205	2465	–	9,430
a_1	17,48	-6,549	-0,06828	-0,05886	–	-60,33
a_2	-1,003	18,22	-27,29	-27,12	–	2,061
a_3	–	-0,8047	–	–	–	-0,05226

Розподіли ділової деревини за розробленими математичними моделями на фоні дослідних даних зображено на рис. 4. Порівнюючи дані на рис. 4 (а, б), помітна суттєва відмінність розмірної структури ділової деревини для стовбурів різної категорії технічної придатності. Області визначення рівнянь відповідних категорій розмірів у ділових стовбурів охоплюють ширший діапазон діаметрів, ніж у напівділових. Цей факт дає підстави стверджувати, що під час таксації насаджень збільшення частки напівділових стовбурів призведе до збільшення частки ділових лісоматеріалів грубших діаметрів.

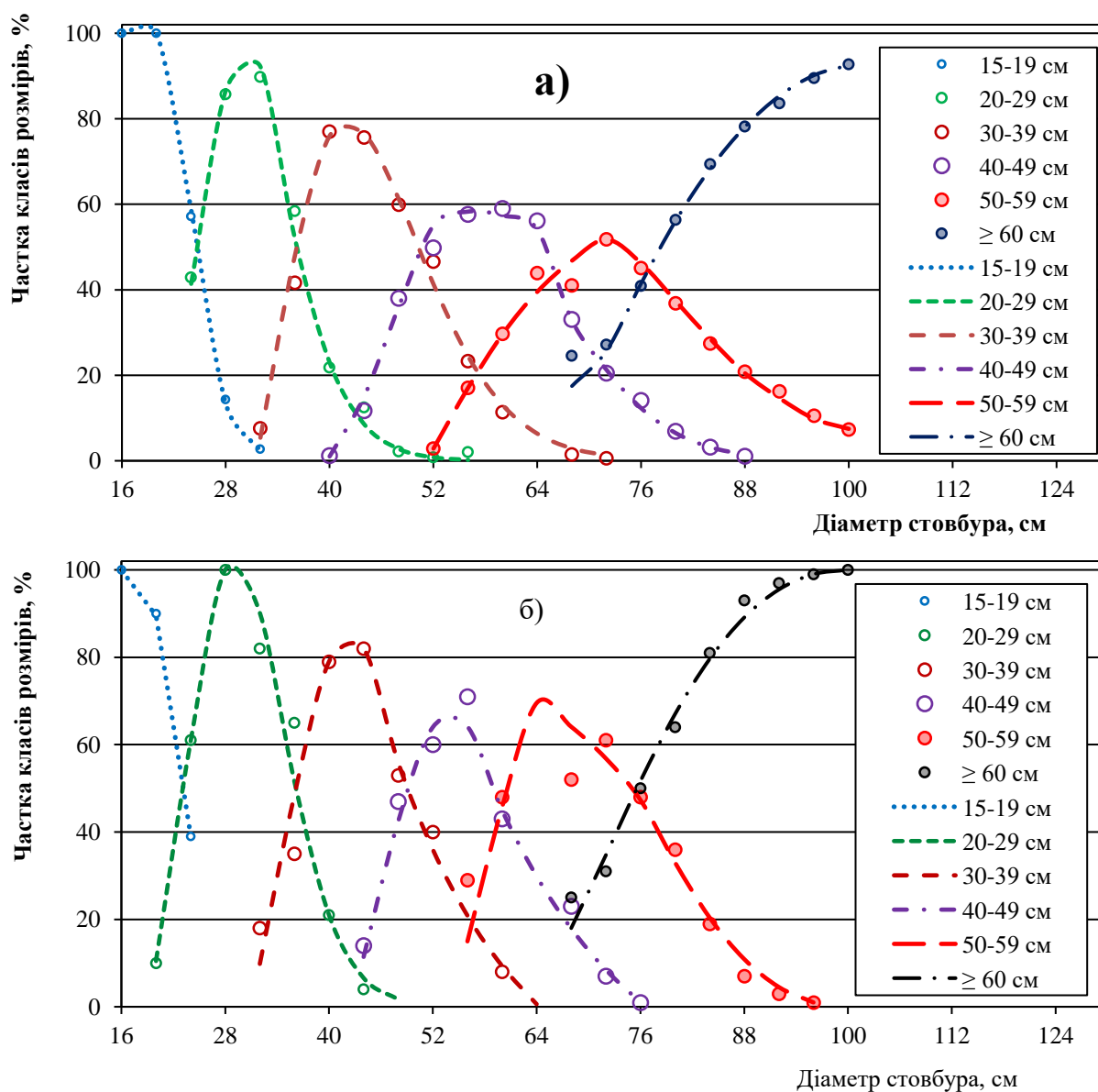


Рис. 4. Розмірна структура ділової деревини дуба: а) ділових стовбурів; б) напівділових стовбурів (маркерами зображено дослідні дані, усереднені за ступенями товщини, а лініями відповідного кольору – математичні моделі)

На основі опрацьованих математичних моделей твірної стовбура (4) та розмірно-якісної структури (10)–(26) було складено таблиці розмірно-якісної структури дерев дуба за категоріями технічної придатності стовбурів, розрядами висот та ступенями товщини.

За оцінкою 10 виробничих переліків відведення ділянок в рубку встановлено, що чинні нормативи занижують загальний запас стовбурової деревини на 9,1 %, ділова деревина завищується на 7,0 % за рахунок заниження частки дров та відходів на 4,9 та 2,0 % відповідно. Причиною таких значущих систематичних похибок може бути особливість форми стовбурів дерев дуба регіону дослідження. Розроблені нормативи завищують оцінку ділової деревини на 5,8 % за рахунок заниження частки дров (-4,1 %), а також відходів (-1,7 %), що може бути спричинене методикою таксації напівділових стовбурів. За розробленими нормативами похибка за запасом становить лише -3,2 % і на 5 % рівні незначуща, що свідчить про прийнятну точність розроблених нормативів.

ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні узагальнено особливості форми стовбурів дуба звичайного Придніпровського правобережного Лісостепу України. Розроблені нормативи містять актуальну інформацію для оцінювання об'єму стовбурів та їхньої розмірно-якісної структури за вимогами європейських стандартів на лісоматеріали. За результатами проведеного дослідження сформульовано такі висновки:

1. За аналізом лісового фонду встановлено, що у Придніпровському правобережному Лісостепу України зосереджено основні масиви лісів Правобережжя, завдяки чому лісистість регіону дослідження досягає 27,7 %. На дубові лісостани припадає 67,1 % вкритих лісовою рослинністю ділянок (40,4 тис. га). Однорідність умов місцезростання зумовила формування у регіоні основного типу лісу – свіжої грабової діброви, яка поширена на площі 38,1 тис. га. Закладання тимчасових пробних площ та обмір модельних дерев здійснювалися у насадженнях насінневого походження цього типу лісу, чим забезпечена репрезентативність дослідного матеріалу.

2. Встановлено, що найбільш вагомим біометричним показником дубових стовбурів, який впливає на їхній збіг, є діаметр. Проведений статистичний аналіз дослідного матеріалу обґрунтував доцільність моделювання твірної за п'ятьма групами діаметрів: 8–16 см, 20–28 см, 32–40 см, 44–64 та 68–100 см.

3. Серед апробованих рівнянь твірних за точністю та адекватністю для дубових стовбурів оптимальною виявлено модель А. Козак (1988), яку й використано для розроблення об'ємних таблиць. Опрацьоване рівняння твірної А. Козак дає можливість визначати діаметр стовбура на будь-якій висоті з похибками: систематичною -0,04–0,00 см; відносною 0,9–1,2 %; середньо-квадратичною 1,40–3,21 см. Порівняння розроблених нормативів об'єму з чинними засвідчило, що останні для регіону дослідження занижують видове число стовбурів діаметром до 48 см та завищують – у діапазоні діаметрів 52–100 см. Аналіз точності розроблених об'ємних таблиць показав менші, ніж для чинних, систематичну та відносну похибки, які становлять -0,020 м³ та -0,9 % відповідно.

4. Опрацьований алгоритм умовного розкрязування дає можливість на основі математичної моделі твірної визначати розмірно-якісну структуру модельних дерев. Отримані дані містять розподіл об'єму стовбурів за якісними категоріями та ділової деревини за класами розмірів відповідно до ДСТУ EN 1315-1:2001. Алгоритм і програмне забезпечення перспективні для використання інших деревних видів, за умови розроблення та застосування якісної математичної моделі твірної.

5. Кореляційний аналіз залежностей виходу якісних категорій деревини від біометричних показників модельних дерев показав, що найтісніший зв'язок спостерігається для абсолютних значень: об'єму ділової деревини від об'єму стовбура у корі, об'єму відходів від об'єму ділової деревини. Точність розроблених математичних моделей за відносною систематичною похибкою виявилася прийнятною і становить для ділової деревини від $-0,2$ до $0,0$ %, для дров та відходів від $2,0$ до $6,6$ %.

Моделювання розподілу ділової деревини на розмірні категорії проведено для відносних показників за діаметром стовбура. Розроблено математичні моделі для шести класів серединного діаметра колод без кори (за ДСТУ EN 1315-1:2001): D1b (15–19 см), D2 (20–29 см), D3 (30–39 см), D4 (40–49 см), D5 (50–59 см), D6 (≥ 60 см). Отримані моделі дають змогу прогнозувати частку ділової деревини певного класу діаметрів колод з відносними систематичними похибками, які знаходяться у межах від $-7,8$ до $8,0$ %.

За проведенням аналізом виявлено, що частка ділових лісоматеріалів грубших діаметрів вища в напівділових стовбурах. Це обґрунтовує доцільність розроблення нормативів розмірно-якісної структури з диференціацією дерев за категоріями технічної придатності.

6. Практичним результатом дисертації стали таблиці розмірно-якісної структури для таксації пристиглих, стиглих та перестиглих дубових деревостанів Придніпровського правобережного Лісостепу України. Розроблені нормативи не тільки уточнюють об'єми стовбурів дуба, а й містять інформацію про розподіл їхнього об'єму за європейськими стандартами.

Точність розроблених нормативів (за систематичною похибкою) прийнятна для виробництва і становить для: запасу $-3,2$ % (за чинними нормативами $-9,1$ %), ділової деревини $5,8$ % (за чинними нормативами $7,0$ %), дров $-4,1$ % (за чинними нормативами $-4,9$ %), відходів $-1,7$ % (за чинними нормативами $-2,0$ %).

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. Результати дисертаційного дослідження рекомендується використовувати лісогосподарськими підприємствами Придніпровського правобережного Лісостепу України для матеріальної оцінки лісосік, які відводяться в рубку в пристиглих, стиглих та перестиглих дубових деревостанах.

2. До розроблення загальнодержавних нормативів таблиці розмірно-якісної структури ділових та напівділових дерев дуба можуть тимчасово

застосовуватися на усіх підприємствах лісової галузі для розподілу запасу ділової деревини за класами середнього діаметра за новими європейськими стандартами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних:

1. Лакида П. І., **Биченко В. Б.** Лісівничо-таксаційна характеристика дубових деревостанів Придніпровського правобережного лісостепу. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2017. Вип. 27.5. С. 11–14. *(Здобувачем виконано статистичну обробку бази даних та обчислення таксаційних показників дубових насаджень регіону дослідження).*

2. Биченко В. Б. Методи обробки дослідних даних для моделювання твірної стовбурів дуба звичайного. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2017. Вип. 278. С. 25–33.

3. **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. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2018. Вип. 288. С. 6–17. *(Здобувачем зібрано дослідний матеріал, виконано аналіз наукових публікацій за тематикою, обчислено похибки визначення об'єму стовбура за математичними моделями твірних).*

4. **Биченко В. Б.**, Миронюк В. В. Особливості моделювання твірної поверхні стовбурів дуба звичайного. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2019. Т. 29. № 5. С. 69–74. *(Здобувачем зібрано дослідний матеріал, обґрунтовано методику виявлення відмінностей у формі стовбурів та доцільність моделювання твірної за групами діаметрів, здійснено аналіз математичних моделей твірної за точністю та адекватністю).*

5. Биченко В. Б. Моделювання розмірно-якісної структури стовбурів дуба звичайного за європейськими стандартами. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2019. Т. 29. № 7. С. 90–95.

Тези наукових доповідей:

6. Биченко В. Б. Сучасні проблеми сортиментації лісосік. Актуальні проблеми лісового сектору та садово-паркового господарства: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 14–15 квітня 2016 року: тези доповіді. К., 2016. С. 22.

7. Биченко В. Б. Динаміка вікової структури в дубових деревостанах державного підприємства «Смілянське лісове господарство». Ліс, наука, молодь: IV Всеукраїнська науково-практична конференція, м. Житомир, 23 листопада 2016 року: тези доповіді. Житомир, 2016. С. 133–135.

8. Биченко В. Б. Аналіз товарної структури лісосік головного користування в дубових деревостанах державного підприємства «Смілянське

лісове господарство». Здоров'я лісів, екосистемні послуги та лісові продукти для суспільства: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 6–7 квітня 2017 року: тези доповіді. К., 2017. С. 18–19.

9. Биченко В. Б. Оцінка повнодеревності стовбурів дерев дуба у лісостанах Придніпровського правобережного Лісостепу. Наукові основи підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем: 67-а Всеукраїнська науково-технічна конференція, м. Львів, 28 листопада 2017 року: тези доповіді. Львів, 2017. С. 16–18.

АНОТАЦІЯ

Биченко В. Б. Розмірно-якісна структура дубових деревостанів Придніпровського правобережного Лісостепу України та вдосконалення її оцінки. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата сільсько-господарських наук зі спеціальності 06.03.02 «Лісовпорядкування та лісова таксація». Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2020.

Дисертацію присвячено дослідженню, узагальненню і моделюванню кількісних та якісних характеристик запасу дубових деревостанів, розробленню відповідних нормативів для потреб лісгосподарських підприємств. Експериментальну основу дослідження забезпечують зібрані здобувачем дані обміру та оцінки якості модельних дерев, отримані на тимчасових пробних площах, закладених у дубових деревостанах регіону дослідження. Опрацьовано систему математичних моделей твірної стовбурів дуба, на основі яких розроблено об'ємні таблиці, входами в які слугує діаметр та висота.

На основі розроблених математичних моделей розподілу стовбурової деревини на якісні категорії, а ділової – за класами діаметрів побудовано таблиці розмірно-якісної структури для таксації пристиглих, стиглих та перестиглих дубових деревостанів Придніпровського правобережного Лісостепу України. Особливістю розроблених нормативів є окрема таксація ділових і напівділових стовбурів та інформація про розподіл ділової деревини за класами діаметрів, які визначені європейськими стандартами на круглі лісоматеріали.

Ключові слова: Придніпровський правобережний Лісостеп України, твірна деревного стовбура, нормативи об'єму та розмірно-якісної структури дубових насаджень, європейські стандарти на лісоматеріали.

АННОТАЦИЯ

Быченко В. Б. Размерно-качественная структура дубовых древостоев Приднепровской правобережной Лесостепи Украины и усовершенствование ее оценки. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по специальности 06.03.02 «Лесоустройство и лесная

таксация». Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины. Киев, 2020.

Диссертация посвящена исследованию, обобщению и моделированию количественных и качественных характеристик запаса дубовых древостоев, разработке соответствующих нормативов для нужд лесохозяйственных предприятий.

Экспериментальную основу исследования обеспечивают собранные соискателем данные обмера и оценки качества модельных деревьев, полученные на временных пробных площадях, заложенных в дубовых древостоях Приднепровской правобережной Лесостепи Украины. Всего заложено 17 временных пробных площадей, на которых измерено 171 модельное дерево.

Определение качественной структуры модельных деревьев дуба осуществлялось по действующим в Украине техническим условиям, гармонизированным с европейскими стандартами: ТУ-00994207-003:2018 «Лесоматериалы круглые хвойных и лиственных пород. Правила классификации» и ТУ-00994207-005:2018 «Древесина дровяная. Классификация, учет, технические требования». Классификация бревен по размерам осуществлена по действующим ДСТУ EN 1315-1:2001 «Классификация по размерам. Часть 1. Лесоматериалы круглые лиственные».

Обоснована методика отнесения деревьев к категориям технической годности по европейским стандартам. К деловым предложено относить те, с нижней половины ствола которых возможно заготовить деловые лесоматериалы категорий А, В, С (по ДСТУ EN 1316-1:2005) длиной 6,5 м и более, а к полуделовым – с протяженностью деловой части (категорий А, В, С) в нижней половине ствола от 2,0 до 6,5 м.

Согласно проведенному статистическому анализу, среди апробированных математических моделей образующей наиболее качественной оказалась модель А. Kozak (1988). Полученная модель позволяет адекватно прогнозировать диаметр ствола в коре на любой высоте с систематической ошибкой $-0,026$ см и относительной ошибкой 1,0 %. На основе этой математической модели разработаны объемные таблицы стволов дуба, входами в которые служат диаметр ствола на высоте 1,3 м и его общая высота.

В результате сравнения значений видовых чисел стволов по разработанным математическим моделям образующей с данными действующих нормативов установлено, что последние занижают их значение в диапазоне диаметров 8–48 см и имеют тенденцию к завышению для деревьев толщиной 52–100 см. Анализ точности разработанных объемных таблиц стволов дуба показал существенно меньшую, чем для действующих нормативов, систематическую и относительную погрешности, которые составляют $-0,020$ м³ и $-0,9$ % соответственно.

Для определения размерно-качественной структуры исследовательского материала по новым стандартам в работе решено несколько задач. Так, разработана математическая модель диаметра ствола без коры в зависимости от диаметра в коре на любой высоте. Точность определения диаметра за

систематической погрешностью составляет 0,001 см, за относительной – 1,8 %. Осуществлено моделирование протяженности деловой части для деловых и полуделовых стволов в зависимости от общей высоты ствола. Систематическая погрешность разработанных моделей находится в диапазоне от –0,13 до –0,08 м, относительная – 0,9–2,2 %. Разработан и реализован в системе R алгоритм условной раскряжевки стволов с учетом паспортов круглых лесоматериалов и фактической протяженности качественных категорий древесины по данным модельных деревьев.

Закономерности выхода качественных категорий объема ствола (деловой древесины, дров и отходов) смоделированы в абсолютных показателях для деловых и полуделовых стволов отдельно. Точность определения объема деловой древесины по моделям составляет по систематической погрешности (деловые и полуделовые стволы) –0,002 и 0,021 м³, по относительной – –0,2 и 0,0 %. Относительная погрешность для дров и отходов колеблется в пределах 2,0–6,6 %.

Математические модели распределения деловой древесины разработаны для шести классов размеров (по срединным диаметрам лесоматериалов без коры): D1b (15–19 см), D2 (20–29 см), D3 (30–39 см), D4 (40–49 см), D5 (50–59 см), D6 (≥ 60 см). Погрешности для этих моделей колеблются для разных классов диаметров бревен в пределах: систематическая –0,030–0,044 м³, относительная –7,8–8,0 %, среднеквадратическая 0,000–0,119 м³.

На основе математических моделей образующей, моделей распределения стволовой древесины на качественные категории, а деловой – по классам диаметров построены таблицы размерно-качественной структуры. Особенностью разработанных нормативов является раздельная таксация деловых и полуделовых стволов, а также информация о распределении деловой древесины по категориям крупности, которые определены европейскими стандартами на круглые лесоматериалы.

Систематическая погрешность по запасу для разработанных нормативов составляет лишь –3,2 %. Оценка этой погрешности по *t*-критерию Стьюдента на 5 % уровне обнаружила ее незначимость. Систематическая погрешность для действующих нормативов значимая и составляет –9,1 %. Для деловой древесины по разработанным нормативам эта погрешность находится на уровне 5,8 % (действующие – 7,0 %), для дров –4,1 % (действующие – –4,9 %), для отходов –1,7 % (действующие – –2,0 %). Таксация дубовых насаждений по разработанным нормативам может значительно повысить точность лесоучётных работ.

Ключевые слова: Приднепровская правобережная Лесостепь Украины, образующая древесного ствола, нормативы объема и размерно-качественной структуры дубовых насаждений, европейские стандарты на лесоматериалы.

ANNOTATION

Bychenko V. B. Log-grade Volume Distribution in Oak Stands of Right-Bank Dnipro Forest Steppe of Ukraine and Refining its Assessment. – The Manuscript.

The dissertation for awarding an academic degree of Candidate of Agriculture Sciences on specialty 06.03.02 «Forest Inventory and Forest Mensuration». National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, 2020.

The dissertation aims to characterize quantitative and qualitative features of growing stock volume of oak stands and develop an appropriate tree stems volume tables to satisfy operational requirements of forest enterprises. As an experimental material for the study, model tree measurements and log grading data have been collected on temporal sample plots established by the author in oak stands of Right-Bank Dnipro Forest Steppe.

The stem taper models of oak trees have been developed in the dissertation. They have been used to compile tables that predict volume of oak stems using diameter at breast height and total tree height as input parameters. Using mathematical models of tree stem volume distribution by quality classes and distribution of merchantable wood volume by diameter classes, log-grade volume tables for oak trees were constructed. They are applicable for assessment of growing stock volume of pre-mature, mature and over-mature oak stands of Right-Bank Dnipro Forest Steppe. The specifics of the tables consists in that they provide different stem volume assessment of merchantable and semi-merchantable trees and predict distribution of merchantable volume into diameter classes using requirements of new European standards on wood quality.

Key words: Right-Bank Dnipro Forest Steppe of Ukraine, tree stem taper, tables of log-grade volume distribution of oak stands, European standards on roundwood timbers.