

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий Інститут лісового і садово-паркового господарства

Кафедра лісової таксації та лісовпорядкування

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему: **ТАКСАЦІЙНА БУДОВА БУКОВИХ
ДЕРЕВОСТАНІВ В УМОВАХ ЧИНАДІЇВСЬКОГО
ЛІСНИЦТВА БЕРЕГІВСЬКОГО НАДЛІСНИЦТВА ФІЛІЇ
"КАРПАТСЬКИЙ ЛІСОВИЙ ОФІС" ДП "ЛІСИ
УКРАЇНИ"**

Спеціальність 205 Лісове господарство
(код і назва)

Освітньо-професійна програма: Лісове господарство
(назва)

Керівник кваліфікаційної
роботи

(підпис)

доц. Гаврилюк С.А.
(посада, наук. ступінь, прізвище та ініціали)

Виконав ст. гр. ЛГ-41

(підпис)

Русин І.І.
(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
УКРАЇНИ

Інститут: лісового і садово-паркового господарства

Кафедра: лісової таксації та лісовпорядкування

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: 205 Лісове господарство

Освітньо-професійна програма: Лісове господарство

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувача кафедри

доц. Ільків І.С.

« _____ » _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Русину Ігорю Ігоровичу

(прізвище, ім'я та по-батькові студента)

1. Тема роботи: I.15 Таксаційна будова букових деревостанів в умовах
Чинадіївського лісництва Берегівського надлісництва філії "Карпатський лісовий
офіс" ДП "Ліси України"

керівник роботи Гаврилюк Сергій Анатолійович, к. с.-г. н., доцент

затверджені наказом по університету від « 26 » лютого 2025 р. № С – 142.

2. Термін подання студентом роботи: 19.06.2025

3. Вихідні дані до роботи: пояснювальна записка по Чинадіївському лісництву
ДП «Мукачівський лісгосп», літературні джерела; результати досліджень з
аналізу таксаційної будови; лісотаксаційні нормативи.

4. Зміст пояснювальної записки (розділи, які потрібно розробити): Розділ 1.
Підходи до вичення таксаційної будови деревостанів. Розділ 2. Програма, об'єкт,
методика та обсяг досліджень. 3. Закономірності таксаційної будови букових
деревостанів Чинадіївського лісництва

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання: _____ 18.07.2024 р. _____

Керівник роботи _____ Гаврилюк С.А.
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1.	Отримання вихідного завдання	18.07.24	виконано
2.	Збір матеріалу для загальної частини роботи	05.08 – 10.08.24	виконано
3.	Виконання польових робіт	12.08 – 31.08.24	виконано
4.	Опрацювання літературних джерел	17.02 – 22.02.25	виконано
5.	Опрацювання зібраного фактичного матеріалу	24.02 – 01.03.25	виконано
6.	Написання загальних розділів роботи	03.03 – 08.03.25	виконано
7.	Написання спеціальної частини	10.03 – 15.03.25	виконано
8.	Оформлення ілюстрацій, презентації	16.06 – 17.06.25	виконано
9.	Подання роботи на перевірку на антиплагіат	18.06 – 19.06.25	виконано
10.	Завершення роботи	19.06.25	виконано

Студент _____ Русин І.І.
(підпис)

Керівник роботи _____ Гаврилюк С.А.
(підпис)

Примітка:

1. Форму призначено для видачі завдання студенту на виконання кваліфікаційної роботи і контролю за ходом роботи з боку кафедри і директора інституту.
 2. Розробляється керівником кваліфікаційної роботи. Видається кафедрою.
- Формат бланка А4 (210 × 297 мм), 2 сторінки на одному аркуші з двох сторін.

УДК 630.5:630.17(477.87)

Русин, І.І. (2025). *Таксаційна будова букових деревостанів в умовах Чинадіївського лісництва Берегівського надлісництва філії "Карпатський лісовий офіс" ДП "Ліси України"* (Кваліфікаційна робота бакалавра). НЛТУ України, Львів, Україна.

У кваліфікаційній роботі бакалавра досліджено питання аналізу таксаційної будови стиглих букових деревостанів в умовах Чинадіївського лісництва Берегівського надлісництва філії "Карпатський лісовий офіс" ДП "Ліси України". Дослідження проведено у шести стиглих букових деревостанах. Обчислено основні статистичні показники деревостанів, за якими проведено моделювання таксаційної будови за діаметром та запасом з використанням функцій розподілу. Проведено кореляційний аналіз зв'язку між фактичними та змодельованими значеннями діаметрів та запасів.

Ключові слова: таксаційна будова, буковий деревостан, моделі розподілу, статистичний аналіз, кореляційний аналіз.

Всі закономірності проілюстровано.

Табл. 16. Іл. 12. Бібліограф.: 39.

UDC 630.5:630.17(477.87)

Rusyn, I.I. (2025). *The mensurational structure of beech stands in the conditions of Chynadiievo forest district of the Berehove Forestry Management Unit of the branch "Carpathian Forest Office" of the SFE "Forests of Ukraine"* (Bachelor's thesis). UNFU, Lviv, Ukraine.

This bachelor's thesis examines the regularity of the mensurational structure of mature beech stands under the conditions of the Chynadiievo forest district of the Berehove Forestry Management Unit of the branch "Carpathian Forest Office" of the SFE "Forests of Ukraine". The investigation was conducted in six mature beech stands. The main statistical indices of stands were calculated, and based on these data, the modelling of the mensurational structure by the diameter and volume was performed using the distribution functions. The correlation analysis between the actual and modelled diameter and volume data was conducted.

Keywords: mensurational structure, beech stand, model distribution, statistical analysis, correlation analysis.

All patterns illustrated.

Tab. 16. Il. 12. Ref.: 39

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ПІДХОДИ ДО ВИВЧЕННЯ ТАКСАЦІЙНОЇ БУДОВИ ДЕРЕВОСТАНІВ	10
1.1. Історія вивчення таксаційної будови	10
1.2. Дослідження таксаційної будови деревостанів основних лісотвірних деревних видів	14
РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА, ОБ'ЄКТ, МЕТОДИКА ТА ОБСЯГ ДОСЛІДЖЕНЬ	19
2.1. Програма робіт та об'єкт дослідження	19
2.2. Методика закладання пробних площ	20
2.3. Коротка характеристика Чинадіївського лісництва	22
2.3. Обсяг досліджень	24
РОЗДІЛ 3. ЗАКОНОМІРНОСТІ ТАКСАЦІЙНОЇ БУДОВИ БУКОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ ЧИНАДІЇВСЬКОГО ЛІСНИЦТВА	26
3.1. Статистичний аналіз стиглих букових деревостанів.....	26
3.2. Моделювання кривих розподілу за діаметром.....	30
3.3. Моделювання кривих розподілу за запасом.....	35
3.4. Кореляційний аналіз фактичних та змодельованих розподілів ..	37
ВИСНОВКИ	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	41
ДОДАТКИ	48

ВСТУП

Основою ведення лісового господарства є формування високопродуктивних деревостанів, що відповідають умовам місцезростання, мають визначений видовий склад та забезпечують економічний та екологічний ефект від використання корисних функцій лісу, захисту навколишнього природного середовища та отримання відповідних деревних ресурсів та недеревної продукції лісу. Для забезпечення цих умов лісове господарство має проводитися на основі сталого лісового господарства, що базується на проведенні наближеного до природи лісівництва. У даному твердженні передбачається, що всі ліси незалежно від основних виконуваних ними функцій, виконують корисні функції, серед яких захисні, середовищеві, рекреаційні тощо, проте на частині них може проводитися користування лісом, зокрема проведення господарських заходів, що передбачають отримання деревини. Паралельно із формуванням деревостанів вони можуть забезпечувати і побічне користування, коли додатковим економічним ефектом є отримання недеревних ресурсів лісу, серед яких збір лікарської сировини, ягід, грибів тощо. Виходячи із цього ліс має дуже багатогранні можливості для використання, а не тільки користування деревиною, хоча останнє станом на сьогодні має найвищий економічний ефект.

Завданням раціонального ведення лісового господарства є поєднання корисних функцій лісу, що станом на сьогодні не мають визначеного економічного ефекту (наприклад середовищеві, захисна роль лісів), рекреаційна функція лісу (яка частково може бути економічно обґрунтована) та використання лісових ресурсів, до яких включено користування деревиною та недеревними ресурсами лісу (ці ресурси станом на сьогодні мають відповідну законодавчу базу для оцінки економічного ефекту). Очевидно, що розрахунок економічного ефекту від використання корисних функцій лісу потребує детального аналізу і сьогодні він не є законодавчо повністю врегульований, оскільки сьогодні провідні країни, а в тому числі і

Україна, підходять до вивчення оцінки екосистемних послуг, які мають економічне обґрунтування. Найбільш сьогодні вивчене питання врегулювання користування деревиною як основного продукту лісів, який використовується. Для цього розроблені законодавча база оцінки виходу деревини, відповідні нормативи та вартісна оцінка деревини. Використання недеревної продукції ще сьогодні оцінене не до кінця, оскільки у цій частині функцій лісу іде перехід від старого підходу, коли переважно проводили заготівлю смоли, до використання лікарської сировини, заготівлі ягід та грибів у промислових масштабах, а також розвиток бджільництва як суміжної галузі.

Як зазначалося вище, на сьогодні найбільш вивченим з економічної точки зору є користування деревиною. Тому недарма у ст. 64 Лісового кодексу України (1994) задекларовано, що лісове господарство має забезпечувати безперервне, невиснажливе і раціональне використання лісових ресурсів для задоволення потреб виробництва і населення в деревині та іншій лісовій продукції. Чільне місце для забезпечення лісового господарства на вказаних засадах займає формування деревостанів від молодого віку до віку стиглості, коли отримують найбільший економічний ефект від використання деревини. Однією із можливих оцінок ефективності може бути вивчення таксаційної будови деревостанів у пристигаючих, стиглих та перестійних деревостанах, яка дає уявлення про розподіл дерев за різними таксаційними показниками. Вивчення будови деревостанів може дати відповідь на питання оптимальної структури деревостану для забезпечення найвищого не тільки запасу деревостану, але й найкращого виходу сортиментів, які дають найбільший економічний ефект. Від закономірностей таксаційної будови деревостанів також залежить і морфологічна структура, що дає можливість оцінити різні структури деревостанів для планування лісового господарства не на ревізійний період, але й на значно довший проміжок часу. Маємо на увазі перш за все вікову структуру, видову структуру деревостанів, які є елементами морфологічної

структури. Тому вивчення закономірностей розподілу дерев за основними таксаційними показниками має не тільки наукове, але й практичне значення для раціонального ведення лісового господарства.

Тому метою нашої бакалаврської роботи є вивчення закономірностей розподілу дерев бука лісового за діаметром та запасом в умовах окремого підприємства.

Об'єктом досліджень є закономірності розподілу дерев бука лісового за діаметром та запасом у деревостанах різного віку.

Предметом дослідження є особливості закономірностей розподілу дерев за ступенями товщини та запасу у букових деревостанах Чинадіївського ліництва Берегівського надліництва філії «Карпатський лісовий офіс» ДП «Ліси України».

РОЗДІЛ 1. ПІДХОДИ ДО ВИВЧЕННЯ ТАКСАЦІЙНОЇ БУДОВИ ДЕРЕВОСТАНІВ

1.1. Історія вивчення таксаційної будови

Історія вивчення закономірностей таксаційної будови деревостанів налічує вже майже два десятиліття. Це пов'язано з тим, що завжди у лісівників одним із головних завдань ведення лісового господарства було отримання високоякісної деревини найкращих сортиментів. Для вивчення сортиментної та товарної структури деревостанів доцільно знати таксаційну будову.

Вивчення таксаційної будови деревостанів бере свій початок із досліджень німецьких вчених Вейзе та Шіффеля. Перший досліджував структуру деревостанів та розподіл дерев за діаметром. Зокрема Вейзе встановив, що є закономірність положення середнього дерева за діаметром у різних деревостанах. Експериментальним шляхом ним було доведено, що тонші за діаметром дерева у будь-якому деревостані займають положення, що відповідає 57,5 % від їх кількості, тоді як товстіші від середнього дерева займають 42,5 % від загальної кількості дерев. Шіффель поглибив це вчення і ввів поняття рангів та редуційних чисел. Досліджуючи розподіл дерев за діаметром він дослідним шляхом довів, що між рангами та редуційними числами є закономірності, а знаючи них, можна визначити будь-які таксаційні показники навіть без натурних вимірювань. Так, наприклад, редуційні числа, що показують відношення таксаційного показника до його середнього значення, дозволяють встановити положення дерев у ряді розподілу і визначити за його положенням його фактичні таксаційні показники.

Дослідження проведені Вейзе та Шіффелем мали своє продовження. Так, професор Тюрін досліджував закономірності будови деревостанів за згрупованими даними у ступенях товщини, які виражалися у частках від середнього діаметра деревостану. Це давало змогу оцінити показники не у

абсолютних, а у відносних одиницях залежно від середнього показника і положення дерева у ряді розподілу. Крім того, використання відносних ступеней товщини давало змогу застосувати знайдені закономірності для деревостанів будь-якого віку, тому професор Тюрін називав їх природними ступенями товщини. Такий підхід був реалізований не тільки до розподілу за діаметрами, але й за іншими таксаційними показниками. Це дало змогу встановити, що у відносних одиницях розподіл дерев у природних ступенях товщини не залежить ні від деревного виду, ні від продуктивності деревостанів, їх відносної повноти тощо. Найбільший вплив на порушення розподілу дерев є у господарських заходів, які проводять у деревостанах і в окремих випадках вік деревостанів має вплив на такий розподіл. Закономірно, що через природний відпад та вирубування частини дерев певних розмірно-якісних показників, цей розподіл може порушуватися, що відповідно має вплив на закономірності будови деревостанів та вихід сортиментів.

Дослідження таксаційної структури деревостанів має дві основні складові – це морфологічна структура та таксаційна будова деревостанів. Морфологічна структура показує просторове розміщення дерев у деревостанах, зокрема розподіл за ярусами основного намету деревостану, ярус підліску та підросту тощо. Таксаційна будова зосереджує увагу на закономірностях розташування дерев за певними таксаційними показниками у деревостанах, розміщення їх у просторі, оцінці статистичних показників дерев та деревостанів, мінливості таксаційних показників та кореляції між ними.

Об'єктом вивчення таксаційної будови деревостанів є виявлення закономірностей диференціації дерев за певними таксаційними показниками у деревостанах внаслідок диференціації дерев в процесі природного росту та розвитку та впливу навколишнього природного середовища (Цурик, 2001). Зокрема для оцінки такої диференціації вивчають закономірності зміни статистичних показників мінливості ознак, закономірності розподілу кількості

дерев за певними таксаційними показниками (наприклад кількості дерев за ступенями товщини), виявлення кореляційних залежностей для встановлення характеру та тісноти зв'язку ознак між собою та інші. Для цього слід провести вимірювання дерев у польових умовах на предмет визначення таксаційних показників дерев у деревостанах (найперше діаметрів та висот, від яких можна перейти і до інших показників, таких як повнота, склад, запас тощо). Всі визначені в процесі польових вимірів показники на наступному етапі підлягають певному статистичному опрацюванню та аналізу за спеціальними розробленими методиками, що базуються на статистичних показниках. Тому для аналізу таксаційної будови деревостанів, виявлення закономірностей розподілу дерев за певними таксаційними показниками, визначають три основні складові:

- 1) статистичний аналіз мінливості та розподіл стовбурів дерев за таксаційними показниками;
- 2) кореляційний аналіз зв'язку між окремими таксаційними показниками;
- 3) визначення місця середніх за певними таксаційними показниками дерев у деревостанах (ранги та редуційні числа).

Для встановлення закономірностей розподілу дерев у деревостані за певними таксаційними показниками достатньо проводити у окремих деревостанах із подальшою апроксимацією отриманих закономірностей на подібні деревостани. Проте такий підхід дуже залежить від правильності вибору еталонних деревостанів для аналізу. Крім того, дослідження у окремих деревостанах має статичний характер і дозволяє оцінити закономірності тільки на певний час. Для динамічного виявлення закономірностей розподілу дерев дослідження слід проводити на постійних пробних площах із повторними вимірюваннями через визначений проміжок часу. Такі дослідження є більш об'єктивними, оскільки дають змогу проаналізувати зміну диференціації дерев у часі під впливом актуальних умов, особливо коли сьогодні ми маємо значні

зміни природних умов під впливом змін клімату. Відповідно виявлені закономірності у минулому можуть сьогодні не відображати тих закономірностей, оскільки швидкими темпами змінюються умови навколишнього середовища, що впливає на ріст та розвиток самих деревостанів.

Проведені у минулому дослідження із вивчення закономірностей таксаційної будови деревостанів проводили переважно на основі моделювання розподілів за діаметрами, висотою, абсолютною повнотою та запасом. Це продиктовано тим, що ці показники найлегше визначити у польових умовах і вони мають між собою кореляційні зв'язки. Проте такий підхід добрий для чистих, одновікових деревостанів. У змішаних, різновікових деревостанах, де є набагато більше чинників, що впливають на ріст та розвиток деревостану, ці підходи потребують виявлення нового математичного апарату для аналізу таксаційної будови. Так, для чистих та одновікових деревостанів цілком прийнятними для оцінки таксаційної будови є моделі розподілу, що базуються на законі нормального розподілу: функція Лапласа-Гауса, Грама-Шарльє, Пірсона, гама розподіл, Максвела та інші. Так, дослідження професора Нікітіна із характеру розподілу дерев за ступенями товщини за основними функціями показав, що навіть одновікові чисті за складом деревостани мають закономірності нормального розподілу, оскільки навіть у таких деревостанах є мінливість діаметрів, ряди розподілу мають асиметрію та ексцес (Миклуш, 2011; Миклуш та ін. 2014; Портах & Король, 2018). Для складних, різновікових, змішаних за складом деревостанів, де закономірності розподілу дерев мають інший характер, для вивчення таксаційної будови використання функцій на основі нормального розподілу не дає задовільних результатів. Тому Портах та Король (2018), проаналізувавши основні функції щільності розподілу прийшли до висновку, що у таких деревостанах найдоцільніше використовувати три- або семипараметричну функцію Вейбула, яка є досить гнучкою та враховує ярусність деревостанів.

1.2. Дослідження таксаційної будови деревостанів основних лісотвірних деревних видів

Сьогодні у лісівничій науці України дослідженню таксаційної будови деревостанів приділяють значну увагу, що зумовлено вивченням виходу сортиментів від різних видів рубок та формуванням нормативів для оцінки сортиментної та товарної структур деревостанів основних деревних видів України.

У праці Алексійчук (2008) встановлено всі три компоненти визначення таксаційної будови на прикладі стиглих та перестійних соснових деревостанів, зокрема проведено статистичний аналіз розподілу дерев за ступенями товщини, визначено показники мінливості та визначено ранги та редуційні числа. Встановлено, що коефіцієнти мінливості для стиглих та перестійних соснових деревостанів знаходяться в межах 16 – 40 %. Середній коефіцієнт мінливості встановлено на рівні 25 %. Із збільшенням віку цей показник закономірно знижується, на що вказує від'ємний коефіцієнт кореляції між віком та середнім діаметром деревостану. Так, коли середній діаметр збільшується, коефіцієнт мінливості навпаки зменшується. Авторка встановила, що навіть для одновікових чистих соснових деревостанів характерні показники асиметрії та ексцесу, які коливаються у значних межах. Це дозволило дійти висновку, що до віку стиглості найвпливовішим чинником, що впливає на нерівномірність розподілу, є лісівничі заходи, що проводили до настання віку рубки (переважно рубки формування та оздоровлення лісів, до яких включено рубки догляду та вибіркові санітарні рубки). Тобто рівномірну структуру розподілу дерев за діаметром у соснових деревостанах порушують втручання людини, коли з деревостану забирають частину дерев, переважно певних розмірно-якісних характеристик, що змінює закономірності розподілу дерев за основними таксаційними показниками, в тому числі і за діаметрами. Цей висновок базується на тому, що для стиглих соснових деревостанів характерна

лівостороння асиметрія, тобто переважання кількості дерев у нижчих ступенях товщини. Дослідження рангів та редукційних чисел показало, що зі збільшенням середнього діаметра соснових деревостанів збільшується і положення природних ступеней, де концентрується переважна кількість дерев. Наприклад, для деревостанів із середнім діаметром на рівні 20 см найбільша кількість дерев зосереджуються у природній ступені 0,8. Для деревостанів із середнім діаметром 40 см найбільша кількість дерев знаходиться у природній ступені товщини 1,0. Нерівномірність розподілу дерев має свій вплив на величину рангів та редукційних чисел. Так, ранг середнього дерева сосни звичайної лежить у межах від 54,7 до 59,2 %, тоді як навіть за однакового рангу, редукційні числа значно різняться. Збільшення діаметра деревостану дають те, що редукційні числа у середніх ступенях товщини мають найвищі значення, а для більших ступеней товщини вони зменшуються.

Про значний вплив господарських заходів на таксаційну будову зокрема у соснових деревостанах вказує Гриб (2012). Автор проаналізував, що для молодих соснових деревостанів характерна правостороння асиметрія, коли більшість дерев концентруються у нижчих ступенях товщини. До середньовікових деревостанів ця асиметрія нівелюється і більшість дерев концентруються у середніх ступенях товщини. Збільшення діаметрів з віком впливає і на положення середнього дерева у деревостані, яке не є постійним і змінюється в межах від 43 до 54 %. Збільшення віку супроводжується як зменшенням мінливості діаметрів, так і зменшенням рангу середнього дерева. Основним висновком автора є те, що показники мінливості збільшуються із збільшенням інтенсивності проведення рубок догляду, що підтверджують також ряд інших авторів (Свинчук, Зібцев & Гуменюк, 2014; Свинчук, Зібцев & Борсук, 2013; Свинчук, 2006). Зокрема, автори виявили різницю у таксаційній будові природних та штучних сосняків, а більшою мірою залежно від тих господарських заходів, що проводять у деревостанах. Закономірно автори

відзначають, що у штучних одновікових соснових деревостанах мінливість діаметрів є до 15 % меншою, ніж у природних соснових деревостанах. Автори пояснюють цей ефект тим, що у природних соснових деревостанах середній діаметр є більшим, порівняно із штучними деревостанами при однаковому віці. Крім того, штучні соснові деревостани відзначаються значною мінливістю дерев за діаметром, де коефіцієнт варіації змінюється від 23 до 68 %.

Таксаційну будову букових деревостанів у рівнинних умовах та у гірських умовах досліджували багато вчених (Гайчук, & Гірс, 2011, 2015; Каганяк, Ільків & Гаврилюк, 2019, 2021; Криницький, 2004; Миклуш, 2011; Миклуш та ін., 2014, 2021; Троцюк та ін., 2013; Trotsiuk, Svoboda & Janda, 2014; Dirnberger et al., 2017; Forrester et al., 2017; Pretzsch et al., 2016).

Каганяк, Ільків & Гаврилюк (2021) для моделювання розподілів діаметрів та висот букових деревостанів карпатського регіону вибрали рівняння вирівнювальної поверхні типу А, яка описується 14 параметрами. За отриманими в результаті моделювання даними видно, що стандартне відхилення із збільшенням віку у букових деревостанах зростає, асиметрія рядів розподілу від'ємна та з віком також за абсолютним значенням збільшується для ряду висот, тоді як для ряду діаметрів вона навпаки зменшується. Ексцес для ряду висот також з віком посилюється, а за діаметром послаблюється. На основі отриманих залежностей шляхом моделювання багатовимірних залежностей дозволило провести моделювання запасу деревостанів точнішими способами, на основі чого проводити сортиментну та товарну структуру.

Портах & Король (2018) на основі аналізу 6 різних функцій розподілу (дво-, три- та семипараметричної функції Вейбула, гама- та бета-розподілів) встановили, що для моделювання таксаційної будови найбільш прийнятною та такою, що найточніше описує закономірності розподілу кількості дерев за діаметром, є семипараметрична функція Вейбула, яка дає найкращі результати для складних за структурою деревостанів. Найгірші результати отримані під час

моделювання кривою гама-розподілу.

У складних двох- або трьохярусних букових деревостанах для моделювання таксаційної будови доцільно використовувати різні моделі розподілу залежно від ярусу (Гайчук, & Гірс, 2015). Ці складні деревостани характеризуються додатними значеннями асиметрії, де у нижчих ступенях товщини концентруються більшість дерев. Проте для другого ярусу ця закономірність не справджується, оскільки тут більшість дерев розміщуються у центральних ступенях товщини. Подібну закономірність помітили і інші дослідники у букових пралісах (Троцюк, Коммармот, Хобі & Миклуш, 2013; Trotsiuk, Nobі & Commarmot, 2012).

Порівняння букових деревостанів на рівнині та в Українських Карпатах провели Горошко & Ільків (2004). За результатами досліджень у Бібрському лісгоспі (рівнинні умови) та у Сколівському лісгоспі (гірські умови) автори відмічають, що у гірських умовах є більший розмах природних ступеней за діаметром та висотою. Це показує, що для гірських умов є значно більші діапазони розмаху діаметрів, висот та протяжність крон. Нижчі розмахи рядів діаметрів та висот у бучинах на рівнині автори пов'язують із проведенням лісгосподарських заходів у таких деревостанах, які мають значний вплив на формування структури таких деревостанів. Автори також відмічають, що рівнинні бучини характеризуються більшими лісівничо-таксаційними показниками, зокрема більшими діаметрами та висотами, проте через нижчі відносні повноти, порівняно із гірськими бучинами, продуктивність рівнинних є нижчою, ніж гірських. За показником рангу середнього дерева, то бучини в аналізованих деревостанах мають значно нижчий ранг, ніж це було прийнято вважати за даними інших авторів. Аналізовані деревостани мають ранг середнього дерева в межах від 53,1 до 55,4 %, що на думку авторів свідчить про порушеність природної структури букових деревостанів.

Каганяк, Ільків & Гаврилюк (2019) аналізували розподіл кількості дерев за

ступенями товщини та у висоту у складних багатоярусних букових деревостанах із складною віковою структурою окремо для одновікових, умовно одновікових та різновікових букових деревостанів. За отриманими даним автори стверджують, що у розподілі за діаметром та висотою іде тенденція до деградації найнижчого ярусу через антропогенне навантаження, зокрема проведення лісівничих заходів у складних букових деревостанах. Подібну закономірність відмічено і у другому ярусі для одновікових та різновікових букових деревостанів. Так, у різновікових букових деревостанах кількість дерев третього ярусу різко знижується із збільшенням діаметрів і вони мають дуже незначний розмах за діаметром – від 8 до 12 см, тобто тільки дві ступені товщини. За висотою третій ярус також незначний і має розмах від 6 до 10 м. За отриманими залежностями вивчення будови букових деревостанів проаналізовано вихід деревини у розрізі категорій ділової, дров'яної та відходів. Збільшення запасів потребує зменшення втручань у ріст та розвиток букових деревостанів, оскільки за таких умов букові деревостани формують складну багатоярусну систему, де вихід деревини до віку стиглості є набагато вищим. Наявність другого та третього ярусу зумовлює збільшення висот та діаметрів саме у першому ярусі, що дає кращий вихід ділових сортиментів в основному ярусі у віці стиглості та покращують товарно-сортиментну структуру букових деревостанів. На практиці слід оптимізувати складну структуру букових деревостанів та інтенсивність використання запасу деревини.

Отже, як видно із наведеного аналізу, вивчення таксаційної будови букових деревостанів має різноманітне представлення, вивчення закономірностей може відбуватися з багатьох сторін, тому поглиблення знань про таксаційну будову деревостанів буде мати не тільки науковий, але й практичний інтерес для оцінки сортиментної та товарної структур деревостанів.

РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА, ОБ'ЄКТ, МЕТОДИКА ТА ОБСЯГ ДОСЛІДЖЕНЬ

Оцінку таксаційної будови букових деревостанів проводили в умовах Чинадіївського лісництва Берегівського надлісництва філії "Карпатський лісовий офіс" ДП "Ліси України". Для цього були підбрані матеріали для закладання пробних площ у чистих за складом, умовно одновікових букових деревостанах на території лісництва.

2.1. Програма робіт та об'єкт дослідження

Програмою робіт для вивчення таксаційної будови букових деревостанів передбачено виконання таких видів робіт:

- аналіз таксаційного опису Чинадіївського лісництва для вибору потенційних ділянок для проведення досліджень;
- закладання пробних площ у чистих, умовно одновікових букових деревостанах;
- проведення статистичного аналізу основних таксаційних показників за результатами обміру дерев на пробних площах та визначення основних лісівничо-таксаційних показників букових деревостанів на пробних площах;
- аналіз фактичних розподілів кількості дерев за діаметрами та запасами, моделювання таксаційної будови з використанням основних моделей розподілу;
- проведення кореляційного аналізу отриманих моделей розподілу;
- формування висновків на основі проведених досліджень.

За результатами опрацювання таксаційного опису Чинадіївського лісництва були підбрані 6 ділянок різного віку для проведення досліджень із вивчення таксаційної будови стиглих букових деревостанів. На цих ділянках були проведені польові дослідження шляхом закладання пробних площ із обміром всіх дерев на площі та подальшим визначенням основних лісівничо-таксаційних показників.

Для закладання пробних площ були підбрані ділянки стиглого лісу, які на

2025 рік можуть потенційно бути намічені до рубок головного користування. В умовах лісництва основним способом проведення рубок головного користування є рівномірно-поступові рубки із вибіркою частини запасу деревостану для формування природного поновлення. У досліджуваних деревостанах ще не проводилися рівномірно-поступові рубки.

Об'єктом наших досліджень є закономірності розподілу дерев бука лісового за діаметром та запасом у деревостанах різного віку.

Предметом дослідження є особливості закономірностей розподілу дерев за ступенями товщини та запасу у букових деревостанах Чинадіївського лісництва Берегівського надлісництва філії «Карпатський лісовий офіс» ДП «Ліси України».

2.2. Методика закладання пробних площ

Пробна площа – це ціле або частина деревостану (таксаційного виділу), що підлягає суцільному переліку. Пробні площі мають закладатися у типових, середніх для цілого деревостану місцях, що можуть характеризувати цілий деревостан. Метою закладання пробної площі є визначення середніх таксаційних показників, які характеризують не тільки пробну площу, але весь деревостан вцілому. Тому під час закладання пробної площі слід підбирати таку частину деревостану, яка є найбільш репрезентативною для даного таксаційного виділу суцільною ділянкою певної площі. Відповідно до Площі пробні лісовпорядні... (2006) для відмежування ділянки для закладання пробної площі є певні вимоги, серед яких відступ від неокритих лісовою рослинністю чи нелісових ділянок не менше ніж 30 м для уникнення межового ефекту (відступ від просік, доріг, полів тощо). Пробні площі зазвичай закладають всередині таксаційних виділів із оголошеними відступами. Для відмежування пробних площ використовують прорубані візири шириною понад 0,3 м, а на кутах встановлюють відповідні межові знаки (Пробні площі лісовпорядні..., 2006; ДСТУ 3534-97, 1997). Для відмежування ділянки користуються кутомірними геодезичними приладами (переважно бусоль), а для вимірювання довжин сторін – мірні стрічки, лазерні чи

ультразвукові дальноміри. Межі пробних площ, окрім закріплення їх в натурі, визначення за допомогою бусолі орієнтації ліній та визначення протяжності ліній, мають бути закріплені у певній системі координат. Для цього переважно фіксують координати одного із кутів повороту пробної площі, а за вимірними азимутами та відстанями визначають координати всіх інших кутів пробної площі. Із розвитком системи глобального позиціонування фіксувати можна і всі кути пробної площі за допомогою ГПС-приймачів, які сьогодні є загальноповсюджаними у лісовій практиці. Додатково пробна площа має бути прив'язаною до видимих орієнтирів (наприклад кварталних стовпців, видимих в натурі природних орієнтирів тощо).

Всі дерева, що входять у межі пробної площі, слід виміряти. Для цього за допомогою мірної вилки проводять вимірювання діаметрів дерев за ступенями товщини (залежно від середнього діаметра за 2-ох або 4-ох сантиметровими ступенями товщини) і відповідні виміри заносять до перелікової відомості. Перелік і вимірювання дерев проводять для кожного елемента лісу окремо, зокрема для кожного деревного виду, для кожного деревного ярусу, для кожного покоління тощо. Крім того, всі дерева розподіляють за категоріями технічної придатності на ділові, напівділові та дров'яні, що регламентовано Інструктивно-методичними вказівками... (2024). Для визначення середньої висоти, для кожного елемента лісу підбирають 10-15 модельних дерев, для яких вимірюють діаметри з точністю до 0,1 см та висоти з точністю 0,1 м. Пізніше у камеральних умовах ці дані ляжуть в основу побудови графіку висот (на осі абсцис – діаметри, на осі ординат – висоти) для визначення за середнім діаметром середньої висоти кожного елемента лісу.

Для загальної характеристики ділянки додатково описують інші яруси, зокрема ярус підліску (видовий склад, проективне вкриття, середня висота тощо) та шар підросту (видове різноманіття, проективне вкриття, кількість штук на 1 га тощо). Додатково описують трав'яне вкриття та особливості виділу (наявність добре видимих об'єктів на виділі для вприв'язки території закладання пробної площі. Всі ці дані у подальшому будуть підлягати камеральному опрацюванню.

2.3. Коротка характеристика Чинадіївського лісництва

Чинадіївське лісництво розміщене в межах Мукачівського адміністративного району Закарпатської області має загальну площу 5 478,8 га (Пояснювальна записка..., 2011). Загальна площа лісництва розділена на 3 майстерські ділянки та 10 майстерських обходів.

За лісорослинним районуванням територія лісництва відноситься до лісорослинного району дубово-букових лісів Закарпатського передгір'я та гір. Клімат помірно-континентальний, вологий із тривалістю вегетаційного періоду 236 днів. Тут переважають світло-бурі і бурі гірсько-лісові ґрунти, у пониженнях зустрічаються бурі лісові глибокі та суглинисті ґрунти.

На території лісництва є два об'єкти природо-заповідного фонду, зокрема заказник місцевого значення «Остра» площею 6,8 га та заповідне урочище місцевого значення «Деренів» площею 300 га.

На території Чинадіївського лісництва виділено різні господарські частини, зокрема ліси природоохоронного призначення з особливим та обмеженим режимом користування в горах, рекреаційно-оздоровчі ліси з особливим та обмеженим режимом користування в горах, захисні ліси з особливим та обмеженим режимом користування в горах та експлуатаційні ліси.

У лісовому фонді лісництва переважають букові деревостани, які у структурі лісництва займають понад 80 % площі. Також серед поширених на території лісництва є дубові, ялинові, ясеневі, чорновільхові, грабові деревостани. Середні таксаційні показники деревостанів в межах лісництва такі: середній вік деревостанів досить високий і становить 89 років, середній клас бонітету – Іа,5 що є високопродуктивними деревостанами, що впливає у середній запас на 1 га на рівні 376 м³. Середня зміна запасу на території Чинадіївського лісництва становить 4,2 м³/га/рік.

За даними Пояснювальної записки... (2011) із розрахунку головного користування виключено 58,7 % площі лісництва, серед яких 59,7 % - це стиглі та перестійні деревостани. Тому користування на території лісництва у рамках

головного користування проводиться на площі 423,6 га, запас якого становить 165,84 тис. м³. Основним способом проведення рубок головного користування на території лісництва є вибіркова система господарювання, зокрема у букових деревостанах всі 100 % деревостанів, відведених до рубок головного користування, відведені під рівномірно-поступові рубки головного користування. Суцільні рубки головного користування проводять тільки у сосновій, ялиновій похідній, чорновільховій і частково у дубовій високостовбурній секціях. Серед рубок формування та оздоровлення лісів практично порівну за площею запроектовано рубок догляду та санітарних рубок, серед яких переважають вибіркові санітарні рубки, які за площею становлять понад 95 %. Щорічний обсяг рубок формування та оздоровлення лісів запроектовано на площі 41,4 га із вибіркою 1,5 тис. м³ деревини. Щорічний обсяг створення лісових культур на території лісництва в середньому становить понад 20 га. Переважно штучне лісовідновлення проводять у дубовій та буковій господарських секціях, причому 60 % лісовідновлення – це змішані лісові культури, де основним деревним видом є бук лісовий. Лісовідновлення переважно проводять із місцевого садивного матеріалу, вирощеного з насіння зібраного на постійних лісонасінневих ділянках, площа яких на території лісництва становить 35,9 га.

Оскільки на території лісництва переважають листяні деревостани, середній клас пожежної небезпеки становить 3,58. Найбільші площі деревостанів характеризуються III класом пожежної небезпеки (1953,2 га) та IV класом пожежної небезпеки (3211,1 га). У деревостанах лісництва є незначні пошкодження шкідниками та хворобами лісу. Основними деструкторами є поперечний рак дуба, який виявлено на площі 224,2 га, трутовики – 287,7 га та 61,9 га деревостанів, переважно соснових, уражено кореневою губкою.

Основними видами діяльності лісництва, що не пов'язані із веденням лісового господарства, є випасання худоби на площі 2844 га, а також збір ягід, грибів та заготівля лікарської сировини місцевим населенням.

2.4. Обсяг досліджень

Як зазначалося вище, нами проведені дослідження у 6-ти стиглих чистих букових деревостанах на території Чинадіївського лісництва. За результатами польових досліджень були визначені основні таксаційні показники, які наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Основні таксаційні показники букових деревостанів

№ пп	Склад	Тип лісу	Вік, роки	Середні		Клас бонітету	Повнота абсолютна	Повнота відносна	Запас, м ³ /га
				діаметр, см	висота, м				
1	10Бкл	D ₃ -ГБк	145	48,6	31,3	I	38,3	0,81	572
2	10Бкл	D ₃ -ГБк	110	39,5	29,8	I	32,3	0,77	463
3	10Бкл	D ₃ -ГБк	110	43,0	29,6	I	31,7	0,76	451
4	10Бкл	D ₃ -ГБк	105	39,3	31,1	I	35,4	0,85	526
5	10Бкл	D ₃ -ГБк	105	43,1	30,8	I	36,9	0,89	540
6	10Бкл	D ₃ -ГБк	110	44,2	30,5	I	37,1	0,89	542

Опрацювання матеріалів польових досліджень проводили за загальноприйнятою в лісовій таксації методикою (Гром, 2007; Пробні площі лісовпорядні, 2006; Цурик, 2000). Для оцінки окремих таксаційних показників, таких як клас бонітету та відносна повнота, були використані матеріали, опубліковані у Кашпор, & Строчинський (2013).

Всі аналізовані букові деревостани були закладені в одному з найпоширеніших на території лісництва типі лісу D₃-ГБк – волога грабова бучина. Всі деревостани є високопродуктивними, оскільки характеризуються I класом бонітету. За абсолютною повнотою – це середньо- та високоповнотні деревостани, оскільки за показником відносної повноти на пробній площі 1, 4, 5 та 6 відносна повнота перевищує 0,8, а на пробних площах 2 та 3 – близька до високоповнотних, де відносна повнота становить 0,77 та 0,76 відповідно. Різниця у відносній повноті позначається на визначеному запасі, де у середньоповнотних деревостанах (на

пробній площі 2 та 3) запас деревостану високий, проте не перевищує $500 \text{ м}^3/\text{га}$, тоді як на всіх інших пробних площах він становить від 526 до $572 \text{ м}^3/\text{га}$. Закономірно, що у найстаршому деревостані 145 річного віку (пробна площа 1) запас є найвищим і становить $572 \text{ м}^3/\text{га}$. Для цього деревостану характерний і найбільший середній діаметр та середня висота деревостану.

Отже, за визначеними основними таксаційними показниками деревостанів, та на основі перелікових відомостей, далі ми проводили аналіз закономірностей таксаційної будови чистих букових деревостанів в умовах Чинадіївського лісництва Берегівського надлісництва філії "Карпатський лісовий офіс" ДП "Ліси України".

РОЗДІЛ 3. ЗАКОНОМІРНОСТІ ТАКСАЦІЙНОЇ БУДОВИ БУКОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ ЧИНАДІВСЬКОГО ЛІСНИЦТВА

3.1. Статистичний аналіз стиглих букових деревостанів

Для оцінки закономірностей розподілу дерев за діаметрами та запасами, тобто вивчення їх таксаційної будови, необхідно провести статистичний аналіз для отримання інформації про можливості моделювання різними функціями. Статистичний аналіз полягає у визначення статистичних показників мінливості. Для цього використовують основні показники, серед яких середнє значення, стандартне відхилення, коефіцієнт варіації, асиметрія, ексцес та показник точності досліду (Горошко, Миклуш, & Хомюк, 2004).

Ми проводили статистичний аналіз на згрупованих даних, тобто кількості дерев у кожній ступені товщини. Ці дані отримані під час польових досліджень із закладання пробних площ. Під час вимірювання діаметрів дерев вони були згруповані до 4-ох сантиметрових ступеней товщини, оскільки середній діаметр стиглих букових деревостанів перевищував 24 см.

Для оцінки середнього діаметра на основі згрупованих даних була використана формула:

$$\bar{X} = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 \cdot n_i}{N}}, \quad (3.1)$$

де \bar{X} – середнє значення діаметра, см; x_i – ступені товщини, см; n_i – кількість дерев у певних ступенях товщини; N – загальна кількість дерев на пробній площі, шт.

У даному випадку середній діаметр деревостану – це середньоквадратичне середнє значення показника, оскільки ступені товщини беруться до квадрату. Проте обчислене середнє значення характерне тільки для даної частини деревостану, де проведені вимірювання. Для оцінки генерального середнього значення для всього деревостану слід проводити точкову або інтервальну оцінку статистичних показників. Для цього слід визначати відхилення вибіркового

показника від генеральної сукупності або основну (статистичну) похибку. Основна похибка середнього значення обчислюється за формулою:

$$m_{\bar{x}} = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{N}}, \quad (3.2)$$

де σ – стандартне відхилення.

Помилка середнього значення показує, на скільки може відхилитися середнє значення у генеральній сукупності, тобто у всьому деревостані. Врахування похибки дає певний ранг, в якому буде лежати генеральне середнє значення.

Стандартне відхилення σ показує на скільки в середньому відрізняється кожна ознака від середнього значення. У випадку визначення стандартного відхилення для ряду діаметрів стандартне відхилення показує на скільки відрізняється діаметр кожного дерева від середнього діаметра для деревостану. Стандартне відхилення та його основну помилку обраховують за формулами:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{X})^2}{N-1}}. \quad (3.3)$$

$$m_{\sigma} = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{2N}}. \quad (3.4)$$

Для оцінки показника варіації використовують коефіцієнт варіації, який у відсотковому визначення показує ступінь варіації ознаки. Коефіцієнт варіації та його основну похибку обчислюють за формулами:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \cdot 100\%. \quad (3.5)$$

$$m_V = V \sqrt{\frac{0.5 + 0.0001V^2}{N}}. \quad (3.6)$$

Для характеристики форми кривої розподілу розраховують показники асиметрії та ексцесу. Асиметрія показує зміщення кривої розподілу вправо та вліво від середнього значення, тоді як показник ексцесу показує гостро- чи туповершинність кривої розподілу. Показники асиметрії та ексцесу та їх основні похибки обраховують за формулами:

$$A = \frac{\sum(x_i - \bar{X})^3}{N \cdot \sigma^3}; \quad (3.7)$$

$$m_A = \pm \sqrt{\frac{6}{N}}; \quad (3.8)$$

$$E = \frac{\sum(x_i - \bar{X})^4}{N \cdot \sigma^4} - 3; \quad (3.9)$$

$$m_E = \pm \sqrt{\frac{24}{N}}. \quad (3.10)$$

Для оцінки достовірності обчислених статистичних показників розраховують показник точності дослідження за формулою:

$$p = \frac{v}{\sqrt{N}}. \quad (3.11)$$

За наведеними вище формулами в програмному продукті Microsoft Excel були обраховані основні статистичні показники для згрупованих даних кількості дерев у ступенях товщини. Результати обрахунків наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

**Статистичні показники рядів розподілу за діаметром букових
деревостанів**

№ п.п.	Деревний вид	Вік	Середнє значення	Основне відхилення	Коефіцієнт мінливості	Асиметрія	Експес	Точність дослідження
1	Бкл	145	46.13 ^{±1.05}	15.11 ^{±0.74}	32.76 ^{±1.77}	0.342 ^{±0.17}	-0.221 ^{±0.34}	2,28
2	Бкл	110	38.35 ^{±0.59}	9.15 ^{±0.42}	23.86 ^{±1.15}	0.066 ^{±0.16}	-0.152 ^{±0.32}	1,55
3	Бкл	110	41.89 ^{±0.66}	9.7 ^{±0.46}	23.16 ^{±1.17}	0.331 ^{±0.17}	-0.45 ^{±0.33}	1,57
4	Бкл	105	37.38 ^{±0.71}	12.17 ^{±0.50}	32.56 ^{±1.48}	0.206 ^{±0.14}	0.058 ^{±0.29}	1,91
5	Бкл	105	41.72 ^{±0.68}	10.78 ^{±0.48}	25.84 ^{±1.22}	-0.068 ^{±0.15}	0.225 ^{±0.31}	1,63
6	Бкл	110	42.83 ^{±0.70}	10.96 ^{±0.50}	25.59 ^{±1.24}	0.005 ^{±0.16}	-0.163 ^{±0.31}	1,65

Як видно з табл. 3.1, середні значення діаметрів та їх основні похибки закономірно збільшуються із збільшенням віку, де для найстарішого 145-річного

букового деревостану середній діаметр та його похибка найвищі. За показником стандартного відхилення також видно, що для найстарішого деревостану воно становить понад 15 см, тобто майже на 4 ступеня товщини, що свідчить про значні відхилення у ряді діаметрів, де є значний розмах варіації від найтонших до найгрубших дерев. Цю закономірність підтверджує і коефіцієнт варіації, який для найстаршого деревостану є найбільшим – понад 32 %. Зрештою для всіх аналізованих стиглих букових деревостанів варіація є значною, оскільки перевищує 20 %. Це свідчить про те, що у букових стиглих деревостанах є значні розмахи дерев за діаметром.

За показником форми кривої, зокрема асиметрії, для всіх деревостанів окрім 105-річного деревостану на пробній площі № 5, характерна правостороння асиметрія, оскільки показник асиметрії додатній. Це свідчить про те, що крива розподілу зміщується у бік нижчих ступеней товщини, що може бути зумовлене як природними процесами у стиглих та перестійних деревостанах (відпад найбільших дерев через досягнення віку природної стиглості або через пошкодження таких дерев), так і тими господарськими заходами, що проводилися тут до віку головного користування, коли з деревостану забирали більше крупномірних дерев. Для деревостанів на пробних площах 1 та 3 асиметрія є помірною, тоді як для всіх інших – незначною. За показником ексцесу деревостани на пробних площах 4 та 5 мають гостровершинну криву, а на всіх інших – туповершинну, що вказує на значний розмах дерев за діаметром. Проте ексцес є незначним для всіх аналізованих деревостанів.

Достовірність отриманих статистичних показників підтверджено на 95 % рівні ймовірності, оскільки показник точності досліду у всіх випадках не перевищує 5 %.

Проаналізувавши статистичні показники та отримавши достовірні їх значення на 95 % рівні ймовірності, приступаємо до моделювання кривих розподілу, що будемо проводити як за рядом діаметрів, так і запасів.

3.2. Моделювання кривих розподілу за діаметром

Моделювання таксаційної будови найчастіше проводять за відомими в статистиці закономірностями, зокрема кривою нормального розподілу (функція Лапласа-Гауса), гама-розподіл та трипараметрична функція Вейбула (Горошко, Миклуш, & Хомюк, 2004; Портах, & Король, 2018).

Функція Лапласа-Гауса показує ідеальний нормальний розподіл і обчислюється за формулою:

$$\phi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i-\bar{X})^2}{2\sigma^2}}, \quad (3.12)$$

де $\phi(x)$ – функція щільності нормального розподілу; \bar{X} – середнє значення; σ – стандартне відхилення.

Значним недоліком функції нормального розподілу є те, що її можна використовувати тільки у випадку відсутності асиметрії та ексцесу, оскільки вона є симетричною. Цього недоліку не має гама функція, або ще відома як функція Грамма-Шарльє, що обчислюється за формулою:

$$f(x, a, \beta) = \frac{1}{\beta^a \Gamma(a)} x^{a-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, \quad (3.13)$$

де $\Gamma(a)$ – функція Ейлера, t – нормоване відхилення.

Однією із найчастіше застосовуваних у лісівничій практиці для моделювання таксаційної будови є трипараметрична функція Вейбула (Портах, & Король, 2018), яка має наступний вигляд:

$$f(x) = \frac{b}{a} \left(\frac{x-c}{a}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{x-c}{a}\right)^b}, x \geq c, \quad (3.14)$$

де a – параметр масштабу; b – параметр форми; c – параметр зсуву.

У програмному продукті Microsoft Excel досить зручно побудувати ці функції, для яких вбудовані спеціальні оператори. Тому нами розрахунок цих функцій проводився у середовищі Excel, а розрахунок коефіцієнтів рівняння здійснювали спеціальною функцією через пошук рішення. Результати

моделювання наведені на рис. 3.1-3.6.

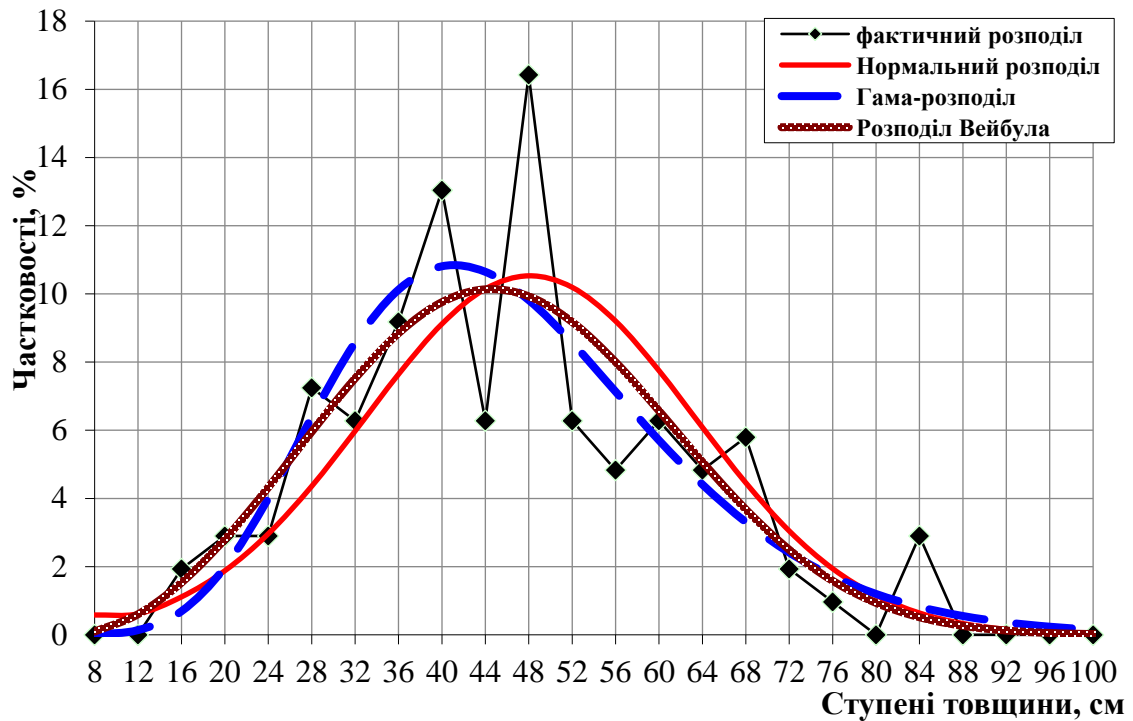


Рис. 3.1. Фактичні та теоретичні частковості дерев бука лісового за діаметром на пробній площі 1

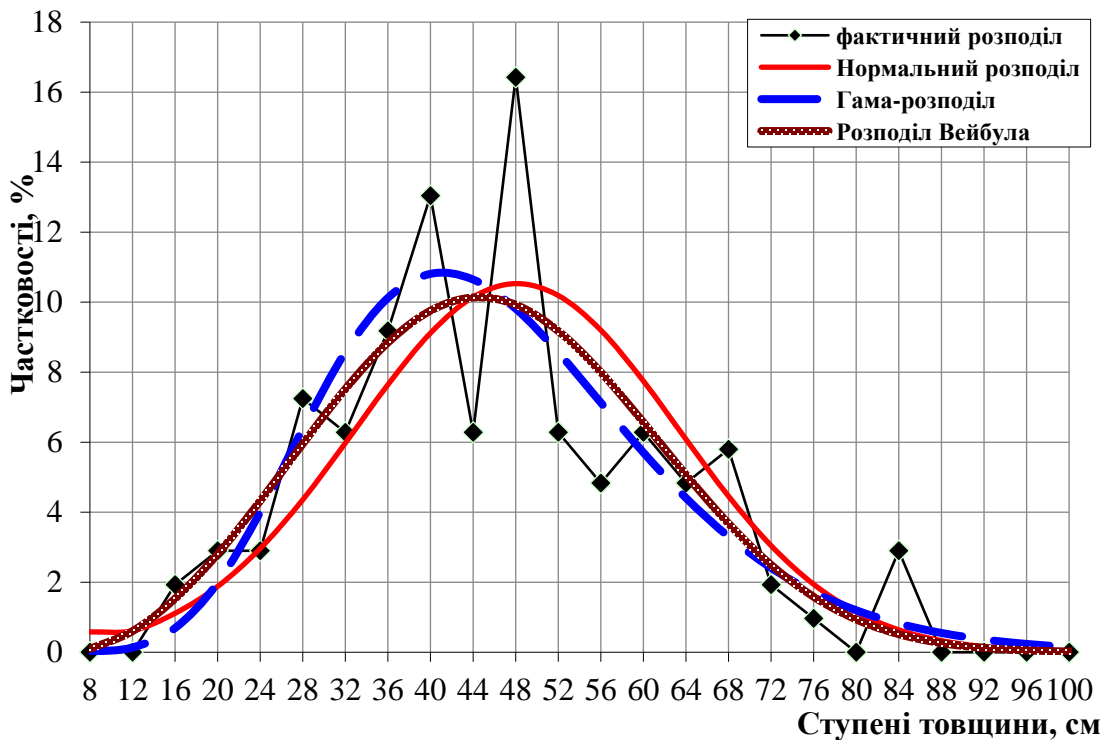


Рис. 3.2. Фактичні та теоретичні частковості дерев бука лісового за діаметром на пробній площі 2

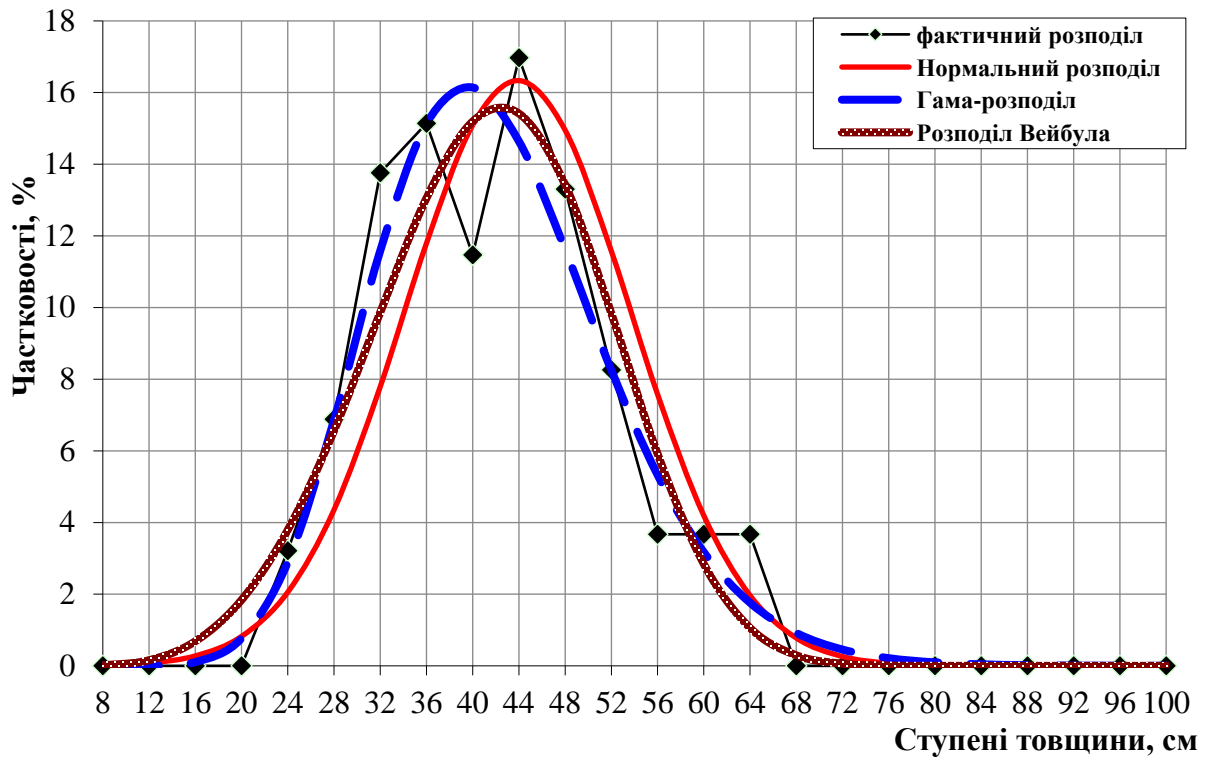


Рис. 3.3. Фактичні та теоретичні частковості дерев бука лісового за діаметром на пробній площі 3

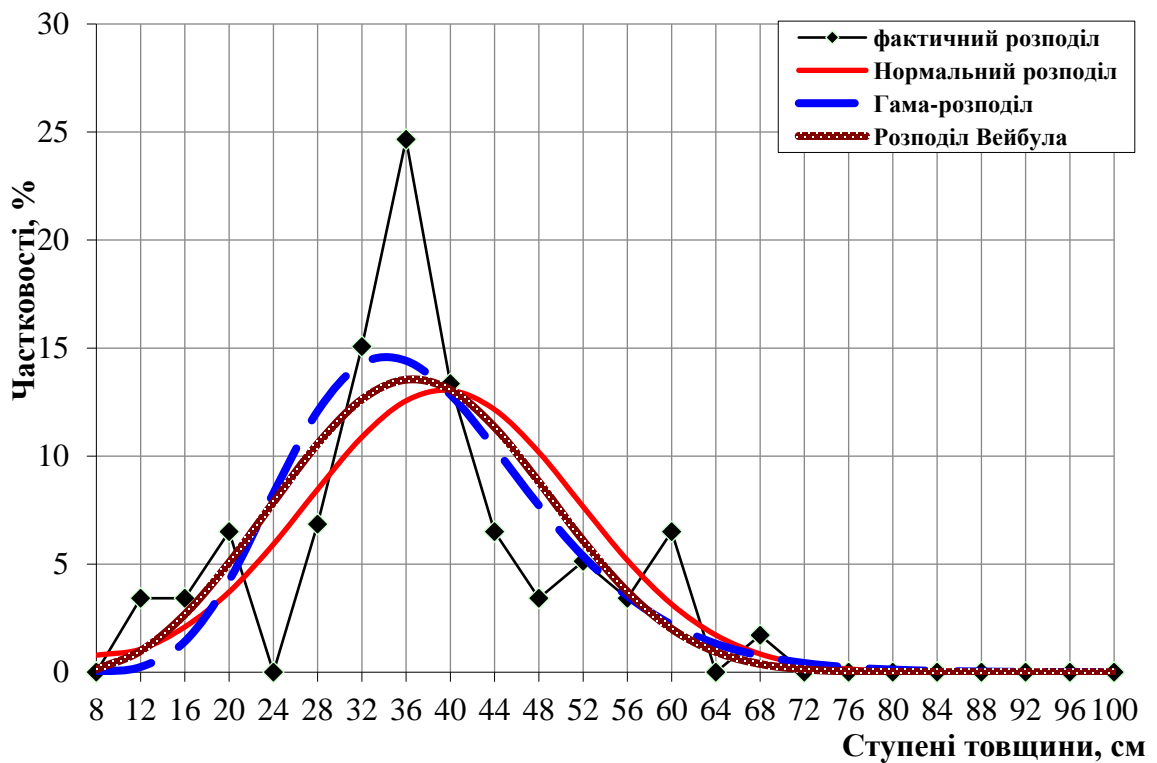


Рис. 3.4. Фактичні та теоретичні частковості дерев бука лісового за діаметром на пробній площі 4

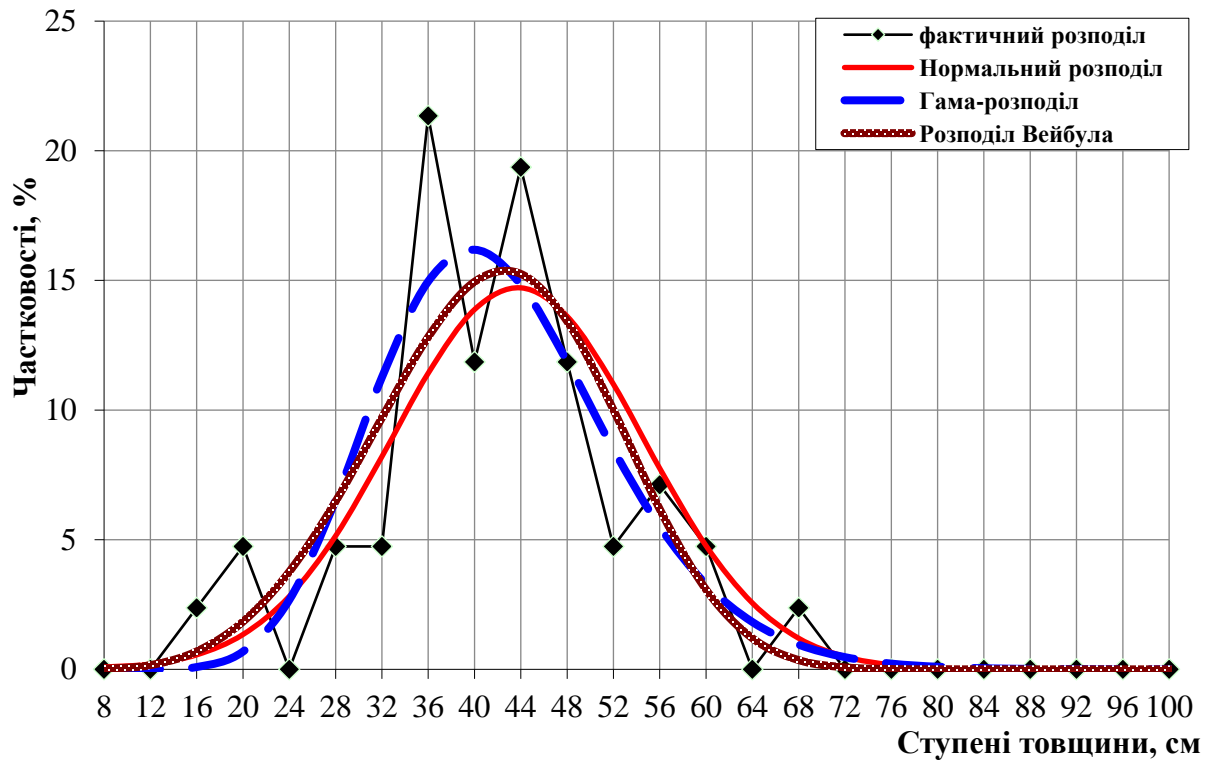


Рис. 3.5. Фактичні та теоретичні частковості дерев бука лісового за діаметром на пробній площі 5

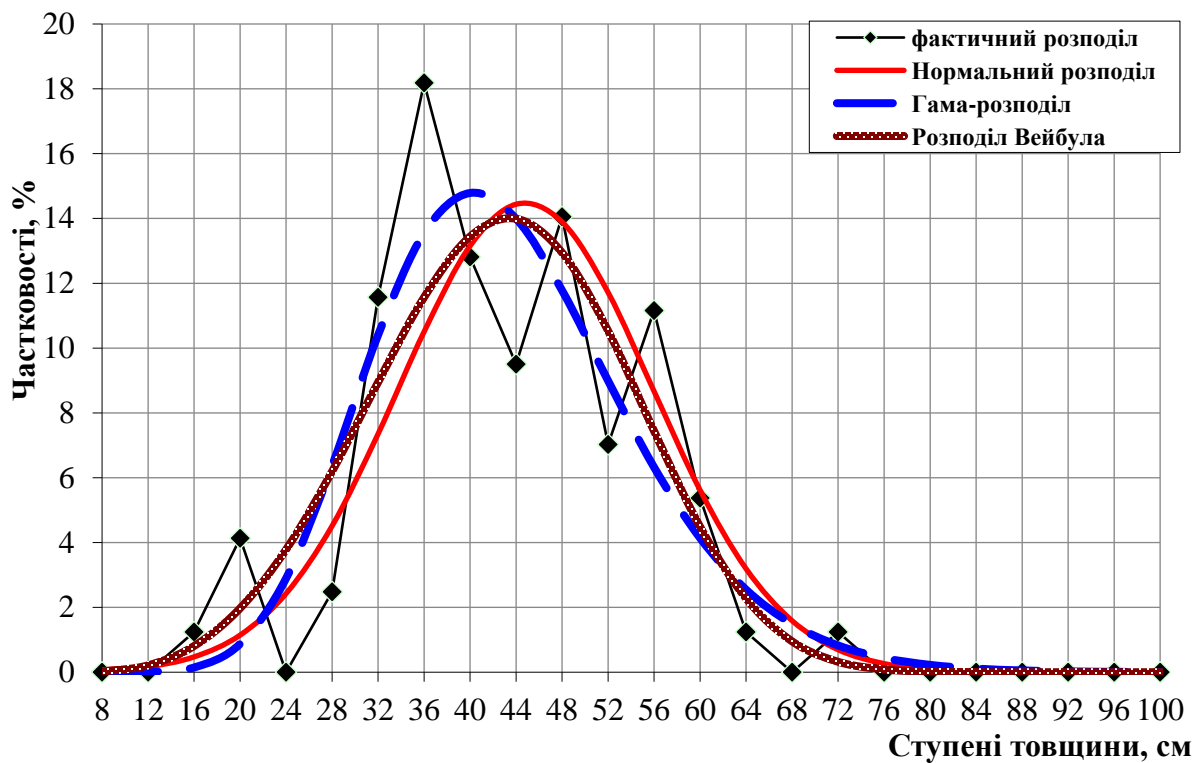


Рис. 3.6. Фактичні та теоретичні частковості дерев бука лісового за діаметром на пробній площі 6

Як видно з рис. 3.1-3.6, для всіх пробних площ характерний нерівномірний фактичний розподіл, коли фактичні розподіли різняться зі збільшенням діаметрів, окремі ступені товщини взагалі не представлені. Це відображається і на змодельованих кривих розподілу, які мають усереднювати фактичний розподіл. Чим більші варіації частковостей у суміжних ступенях товщини, тим більше змодельовані криві відрізняються від фактичного розподілу. Наприклад, на рис. 3.1, де наведено фактичний та змодельований розподіли найстарішого букового деревостану, видно, що є значні відхилення у частковостях для ступеней товщини від 40 до 68, де наприклад у 40 ступені є 13 % кількості дерев, у 44 – вже 6 %, а в 48 – знову понад 16 %. Такі коливання не сприяють найточнішому моделюванню кривих розподілу. Тому є і значні відмінності і в змодельованих кривих розподілу, які зміщуються одна відносно іншої у різні боки вправо вліво та вверх і вниз.

Для кількісного порівняння точності розподілу фактичних даних та змодельованих є показник суми квадратів різниці між фактичними та змодельованими даними. Так, для ряду діаметрів ці суми квадратів різниці наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Суми квадратів відхилень між фактичними та змодельованими даними кривих за діаметром

Крива розподілу	Номер пробної площі						Разом
	1	2	3	4	5	6	
Нормальний розподіл	0.03691	0.03528	0.04315	0.05745	0.03572	0.03517	0.24368
Гама розподіл	0.00492	0.00376	0.00228	0.02425	0.01072	0.00809	0.05402
Розподіл Вейбула	0.00534	0.00289	0.00546	0.02643	0.01035	0.00842	0.05889
Разом	0.04717	0.04193	0.05089	0.10813	0.05679	0.05168	0.35659

Як видно з табл. 3.2, найменші суми квадратів відхилень фактичних та теоретичних чисельностей є на пробних площах 1,2,3, 5 та 6, найбільші – на пробній площі 4. Сумарні суми відхилень для всіх шести пробних площ становлять 0,35659. Якщо розглянути суми квадратів відхилень в межах моделей

розподілу, то видно, що найбільші відхилення дає крива нормального розподілу, що закономірно, адже деревостани на наших пробних площах мають асиметрію та ексцес. Найкраще фактичні розподіли описує функція гама-розподілу, оскільки тут суми квадратів відхилень є найменшими і становлять 0,05402. Отже можна статистично достовірно стверджувати, що для ряду діаметрів у букових стиглих деревостанах моделювання кривих розподілу доцільно проводити з використанням функції гама-розподілу.

3.3. Моделювання кривих розподілу за запасом

За описаними у попередньому підрозділі функціями нами було проведене моделювання розподілу запасів у ступенях товщини. Результати моделювання наведено на рис. 3.7 для першої пробної площі, а у Додатку А – для всіх інших пробних площ.

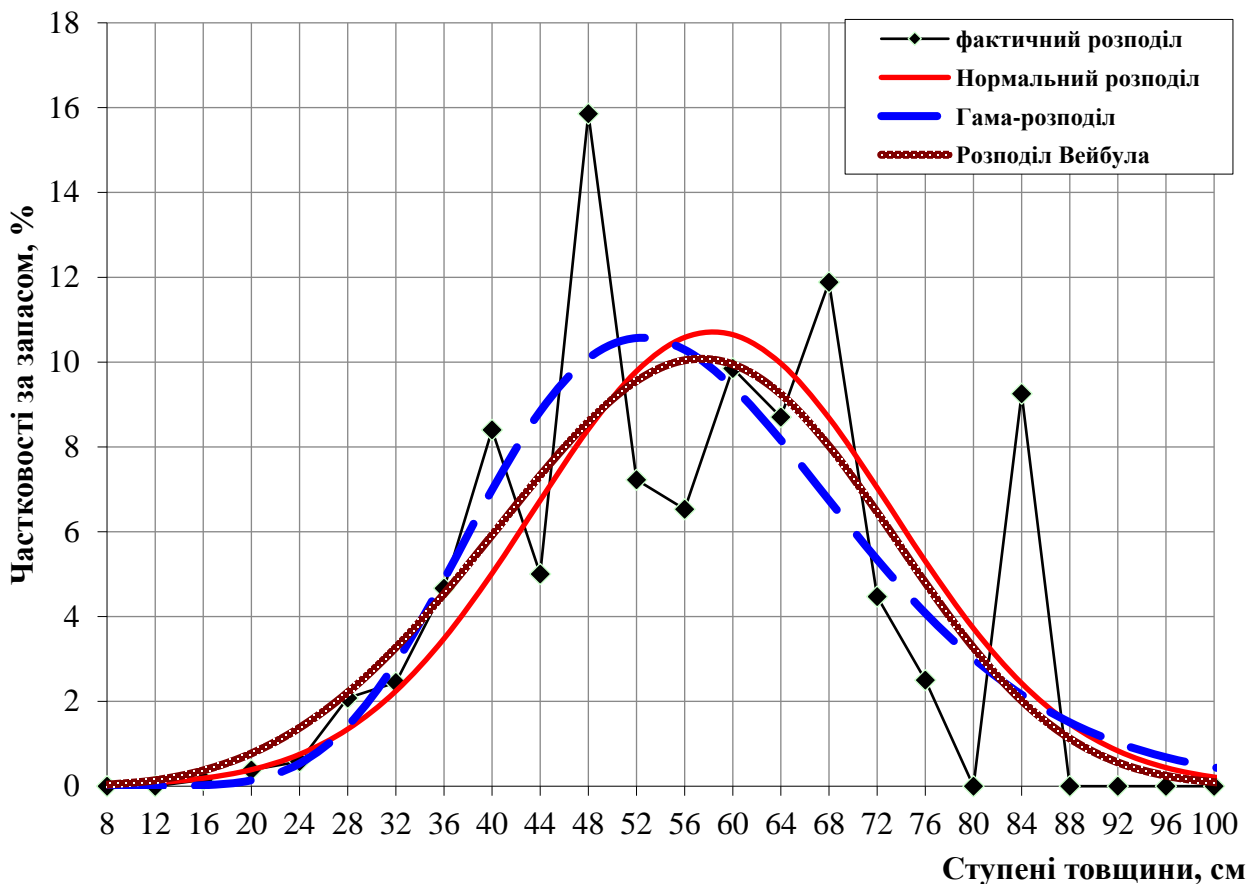


Рис. 3.7. Фактичні та теоретичні частковості дерев бука лісового за запасом на пробній площі 1

Як видно з рис. 3.7 та А.1-А-5, фактичні значення чисельностей, як і для ряду діаметрів, мають значні варіації, що також впливає на точність їх моделювання кривими розподілу. Загалом, тут також прослідковується залежність між розподілом за діаметрами та за запасами, оскільки діаметр є одним із об'ємотвірних показників. Тому для аналізу ми також порахували суми квадратів відхилень для всіх пробних площ, а результати наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Суми квадратів відхилень між фактичними та змодельованими даними кривих за запасом

Крива розподілу	Номер пробної площі						Разом
	1	2	3	4	5	6	
Нормальний розподіл	0.03271	0.03979	0.03460	0.06361	0.04301	0.03235	0.24607
Гама розподіл	0.01009	0.00524	0.00446	0.02323	0.00550	0.01128	0.0598
Розподіл Вейбула	0.01011	0.00814	0.00614	0.02990	0.01257	0.00616	0.07302
Разом	0.05291	0.05316	0.04520	0.11675	0.06108	0.04978	0.37888

Як видно з табл. 3.3, як і для ряду діаметрів, за запасом найбільшу суму квадратів відхилень можна побачити для пробної площі № 4. Якщо порівняти суми квадратів різниці для ряду діаметрів та запасів, то вони більші для ряду запасів, що може свідчити про те, що за запасом фактичні дані більше відрізняються від змодельованих, тобто моделювання тут менш точне. Як і для ряду діаметрів, найкращі результати отримали за моделювання функцією гама-розподілу, оскільки тут суми квадратів різниці найменші і становлять 0,0598, а для функції нормального розподілу ці суми найбільші.

Подібні результати отримали, якщо провести кореляційний аналіз між фактичними та змодельованими значеннями, що наведено у наступному підрозділі.

3.4. Кореляційний аналіз фактичних та змодельованих розподілів

Кореляційний аналіз дозволяє оцінити залежність між двома величинами. Найчастіше, коли потрібно оцінити два ряди даних використовують показник простої або лінійної кореляції Пірсона. Формула для визначення кореляції виглядає наступним чином:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{X})^2 \sum(y_i - \bar{Y})^2}}; \quad (3.15)$$

де x_i, y_i – варіанти; \bar{X}, \bar{Y} – середні значення варіант для рядів розподілу.

Якщо коефіцієнт кореляції є додатнім, це свідчить про прямий зв'язок, тобто при збільшенні однієї варіанти збільшується і інша. У випадку, коли коефіцієнт від'ємний, навпаки, при збільшенні однієї варіанти інша зменшується. Розрізняють різні за тісністю зв'язки, зокрема якщо коефіцієнт кореляції більший 0,71, це свідчить про високий і дуже високий зв'язок.

Нами для проведення кореляційного аналізу визначено парні коефіцієнти кореляції між фактичними даними та змодельованими різними функціями даними за діаметром та запасом. Як приклад, для першої пробної площі кореляційні матриці для ряду діаметрів та запасів наведені у табл. 3.4 та 3.5 відповідно, а для всіх інших пробних площ – у додатку Б.

Таблиця 3.4

Кореляційна матриця залежності фактичних та змодельованих даних для ряду діаметрів на пробній площі 1

	Фактичні дані	Нормальний розподіл	Гама розподіл	Розподіл Вейбула
Фактичні дані	1	-	-	-
Нормальний розподіл	0.847	1	-	-
Гама розподіл	0.878	0.946	1	-
Розподіл Вейбула	0.876	0.976	0.988	1

Кореляційна матриця залежності фактичних та змодельованих даних для ряду запасів на пробній площі 1

	Фактичні дані	Нормальний розподіл	Гама розподіл	Розподіл Вейбула
Фактичні дані	1	-	-	-
Нормальний розподіл	0.795	1	-	-
Гама розподіл	0.813	0.960	1	-
Розподіл Вейбула	0.809	0.990	0.979	1

Як видно з табл. 3.4 та 3.5, для першої пробної площі всі коефіцієнти кореляції вказують на високий та дуже високий зв'язок між фактичними та змодельованими даними розподілів за діаметрами та запасами і є прямими за напрямком. Це свідчить про те, що використані моделі розподілу можуть бути використані для моделювання рядів діаметрів та запасів для стиглих букових деревостанів. Найнижчі коефіцієнти кореляції характерні для фактичних даних та кривої нормального розподілу, що ще раз підтверджує тезу про те, що наявність асиметрії та ексцесу у фактичних даних негативно впливає на використання функції Лапласа-Гауса. Серед кривих розподілу, гама-розподіл характеризується найвищими коефіцієнтами кореляції із фактичними даними як за діаметрами, так і за запасами. Загалом, для ряду діаметрів характерні більш тісні зв'язки між фактичними та змодельованими значеннями, ніж для ряду запасів.

ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Дослідження проведені у 6-ти стиглих та перестійних букових деревостанах, що зростають в одному типі лісу та характеризуються I класом бонітету. Віковий розмах деревостанів становить від 105 до 145 років. За запасом деревостани характеризуються розмахом від 451 до 572 м³/га, причому запаси нижче 500 м³/га, що характерні для двох деревостанів 110-річного віку, мають занижений запас через нижчу відносну повноту (0,77 та 0,76).
2. Статистичний аналіз показав, що із збільшенням віку деревостанів збільшується середнє значення діаметрів, проте збільшується і його основна похибка. Для найстаршого 145-річного букового деревостану характерне стандартне відхилення, що практично рівне чотирьом ступеням товщини. Всі аналізовані букові деревостани характеризуються значною варіацією, найбільша – для найстаршого деревостану.
3. За показниками форми кривої (асиметрія) практично всі деревостани мають правосторонню асиметрію, що свідчить про переважання кількості дерев у нижчих ступенях товщини. За показником ексцесу більшість деревостанів мають туповершинну криву, що зумовлено значним розмахом діаметрів у деревостанах. За абсолютними значеннями показники асиметрії та ексцесу є незначними.
4. Фактичні дані розподілу за діаметрами та запасами мають нерівномірний характер, коли в суміжних ступенях товщини значно різняться чисельності. Це впливає на можливості моделювання таких різнорідних даних. З лісівничої точки зору це може свідчити про те, що дерева з певними параметрами можуть у старшому віці відмирати через пошкодження (найбільші дерева, які досягли певних розмірів), але й тут може бути чинником втручання людини

через проведення лісівничих заходів.

5. Найкращою функцією для моделювання кривих розподілу як за діаметром, так і за запасом, є гама-розподіл, що підтверджується як найменшими сумами квадратів відхилень між фактичними та теоретичними даними, так і проведенням кореляційним зв'язком, де серед інших функцій, гама-розподіл має найвищий коефіцієнт кореляції із фактичними даними. Найменш точно фактичні дані описує функція нормального розподілу через наявність асиметрії та ексцесу.

Отже, проведений аналіз таксаційної будови стиглих букових деревостанів дозволяє оцінити залежності, за допомогою яких можна моделювати розподіли із екстраполяцією на ширше коло букових деревостанів в регіоні дослідження. Це може дати інформацію про структуру деревостанів за діаметрами та запасами, а отже оцінити сортиментну та товарну структуру у віці рубки головного користування. Отримані дані будуть особливо цінними у час переходу із суцільнолісосічної до вибіркової форми господарства, оскільки за отриманими залежностями можна змоделювати вихід сортиментів із частини деревостану, що вибирають рівномірно-поступовими рубками, які зараз проводять у букових деревостанах на території надлісництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алексійчук, Ю.А. (2008). Особливості таксаційної будови і товарна структура стиглих та перестиглих соснових деревостанів України. (Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук за спеціальністю 06.03.02 Лісовпорядкування і лісова таксація, Національний аграрний університет, Київ, Україна). Доступний з http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=ARD&P21DBN=ARD&Z21ID=&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=DOC/2008/08/ayadpu.zip
2. Бугайов, С.М. (2010). Таксаційна будова і товарна структура вільхових насаджень Лівобережного Лісостепу. *Лісівництво і агролісомеліорація, Вип. 117*, 168-173.
3. Гайчук, С.І. & Гірс, О.А. (2011). Лісівничо-таксаційна структура перестійних букових деревостанів Українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України: Збірник науково-технічних праць, Вип. 21.1*, 44 – 49.
4. Гайчук, С.І., & Гірс, О.А. (2015). Будова за діаметром різновікових перестійних букових деревостанів Українських Карпат. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво*, 216(1), 44-50.
5. Горошко, М.П., & Ільків, І.С. (2004). Порівняння морфолого-таксаційної структури маргінальних бучин. *Науковий вісник НЛТУ України: Збірник науково-технічних праць, Вип. 14.6*, 253 – 257.
6. Горошко, М.П., Ільків, І.С., & Слижук, В.В. (2013). Таксаційні характеристики формування крон дерев бука лісового. *Науковий вісник НЛТУ України: Збірник науково-технічних праць, Вип. 21.1*, 211 – 214.
7. Горошко, М.П., Миклуш, С.І. & Хомюк, П.Г. (2004). *Біометрія*. Львів: Камула.

8. Гриб, В.М. (2012). Вплив господарських заходів на особливості таксаційної будови штучних соснових деревостанів. Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету, 1, 182-185.
9. Гром, М.М. (2007). *Лісова таксація: Підручник*. Львів: НЛТУ України.
10. Громяк, О.Ю., Гриник, Г.Г., & Ярош, М.І. (2013). Дослідження особливостей морфолого-таксаційної будови соснових деревостанів у суборових умовах. Науковий Вісник НЛТУ України. Збірник науково-технічних праць, 23.1, 84-90.
11. Дебринюк Ю.М. (2003). Лісокультурне районування Західного Лісостепу України. Львів: Камула, 248 с.
12. ДСТУ 3534-97 Знаки натурні лісовпорядні і лісогосподарські. Загальні вимоги. Наказ від 31.03.1997 № 161. (1997). Доступний з: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=91451
13. Інструктивно-методичні вказівки щодо здійснення лісовпорядкування. Ірпінь, 2024. Доступний з: https://lisproekt.gov.ua/fileadmin/user_upload/Instruktivno-metodichni_vkazivki-druk.pdf
14. Каганяк, Ю.Й., Ільків, І.С., & Гаврилюк, С.А. (2019). Структура букових деревостанів у господарствах із різною інтенсивністю використання запасу деревини. Наукові праці Лісівничої академії наук України: збірник наукових праць. Львів: Видавництво «Манускрипт», Вип. 18, 93-100. <https://doi.org/10.15421/411909>
15. Каганяк, Ю.Й., Ільків, І.С., & Гаврилюк, С.А. (2021). Багатомірна будова букових деревостанів північно-східного мегасхилу Українських Карпат: теоретичні аспекти і практичне значення. Наукові праці Лісівничої академії наук України: збірник наукових праць. Вип. 22, 130-140.
16. Кашпор, С.М., & Строчинський, А.А. (2013). Лісотаксаційний довідник. Київ: Видавничий дім «Вініченко», 496.
17. Криницький Г.Т. та ін. (2004). Букові ліси Західного Поділля. Тернопіль:

Видавництво "Укрмедкнига", 168.

18. Лісовий кодекс України. (1994). Редакція від 15.11.2024. Доступний з: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12#Text>
19. Миклуш, С., Миклуш, Ю., Гаврилюк, С., Дебринюк, Ю., & Савчин, В. (2021). Стигли букові деревостани у різних категоріях лісів рівнинної частини України. Наукові праці Лісівничої академії наук України, (22), 156-164. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/412113>.
20. Миклуш, С.І. (2011). *Рівнинні букові ліси України: продуктивність та організація сталого господарства. Монографія*. Львів: ЗУКЦ.
21. Миклуш, С.І., Король, М.М., Миклуш, Ю.С., Гаврилюк, С.А., Троцюк, В.І., & Павлей, Ю.Ю. (2014). Форма та продуктивність старовікових ялинових деревостанів Горган. Наукові праці Лісівничої академії наук України: збірник наукових праць. Львів: РВВ НЛТУ України, Вип. 12, 154-158.
22. Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання. (2006). СОУ 02.02-37-476: 2006. Чинний від 2007.
23. Портах, С.В., & Король, М.М. (2018). Порівняння шести функцій щільності розподілу для моделювання таксаційної будови за діаметром модальних ялицевих деревостанів Українських Карпат. Науковий вісник НЛТУ України. Збірник науково-технічних праць, Т.28, № 6, 39-42.
24. Пояснювальна записка по Чинадіївському лісництву ДП «Мукачівський лісгосп». (2011). ВО «Укрдержліспроект», Київська лісовпорядна експедиція.
25. Свинчук, В.А, Зібцев, С.В., & Гуменюк, В.В. (2014). Особливості таксаційної будови штучних соснових деревостанів заповідних лісів Центрального Полісся України. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво, 198(2), 53-58.
26. Свинчук, В.А. (2006). Особливості таксаційної будови, сортиментна і товарна структура штучних соснових лісостанів Західного та Центрального

- Полісся України. (Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук за спеціальністю 06.03.02 Лісовпорядкування і лісова таксація, Національний аграрний університет, Київ, Україна). Отриманий з http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=ARD&P21DBN=ARD&Z21ID=&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=DOC/2006/06svacpu.zip
27. Свинчук, В.А., Зібцев, С.В., & Борсук, О.А. (2013). Особливості таксаційної будови штучних соснових деревостанів зони відчуження Чорнобильської АЕС. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер.: Лісівництво та декоративне садівництво, 187(1), 215-220.
28. Строчинський, А.А., & Кашпор, С.М. (Ред.). (2010). Нормативно-інформаційний довідник з лісової таксації. Київ.
29. Строчинський, А.А., Свинчук, В.А., & Миронюк, В.В. (2009). Особливості розподілу діаметра в перестиглих соснових деревостанах лісів населених пунктів і зелених зон. Лісівництво. Біоресурси і природокористування, Том 1, № 1-2/2009, 114-118.
30. Троцюк, В.І., Коммармот, Б., Хобі, М.Л., & Миклуш, С.І. (2013). Особливості росту за діаметром дерев букового пралісу. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України: збірник науково-технічних праць, 23.1, 62-68.
31. Цурик Є.І. (2001). *Таксаційні ознаки й будова насадження*. Львів: УкрДЛТУ.
32. Цурик, Є.І. (2000). *Перелікова таксація лісу*. Львів: УкрДЛТУ.
33. Швиденко, А.З. (Ред.). (1987). *Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии*. Киев: Издательство "Урожай".
34. Dirnberger, G., Sterba, H., Condés, S., Zlatanov, T., & Pretzsch, H. (2017). Species proportions by area in mixtures of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and

- European beech (*Fagus sylvatica* L.). *European Journal of Forest Research*. 136 (1), 171-183. DOI: 10.1007/s10342-016-1017-0
35. Dudek, T., Korol, M., Havryliuk, S., Dychkevych, V., & Bobiec, A. (2021). The dendrometric characteristics of oak woods in rural landscapes of the East Carpathians. *Baltic Forestry*, 27(1), 1-8. <https://doi.org/10.46490/BF336>
<https://doi.org/10.46490/BF336>
36. Forrester, David Ian, et al (2017). Effects of crown architecture and stand structure on light absorption in mixed and monospecific *Fagus sylvatica* and *Pinus sylvestris* forests along a productivity and climate gradient through Europe. *Journal of Ecology*. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12803>
37. Pretzsch H, Rio M, Schütze G et al. (2016). Mixing of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) enhances structural heterogeneity, and the effect increases with water availability. *For Ecol Manage* 373:149–166. doi:10.1016/j.foreco.2016.04.043
38. Trotsiuk, V., Hobi, M.L., & Commarmot, B. (2012). Age structure and disturbance dynamics of the relic virgin beech forest Uholka (Ukrainian Carpathians). *Forest Ecol. Manag.*, 265, 181-190.
39. Trotsiuk, V., Svoboda, M., & Janda, P. (2014). Disturbance regime in the natural temperate Spruce (*Picea Abies* K.) forest in Ukrainian Carpathians. Conference Abstracts. *Forum Carpathicum*, 90-91. Lviv, Ukraine.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Фактичні та теоретичні частковості дерев бука лісового за запасом

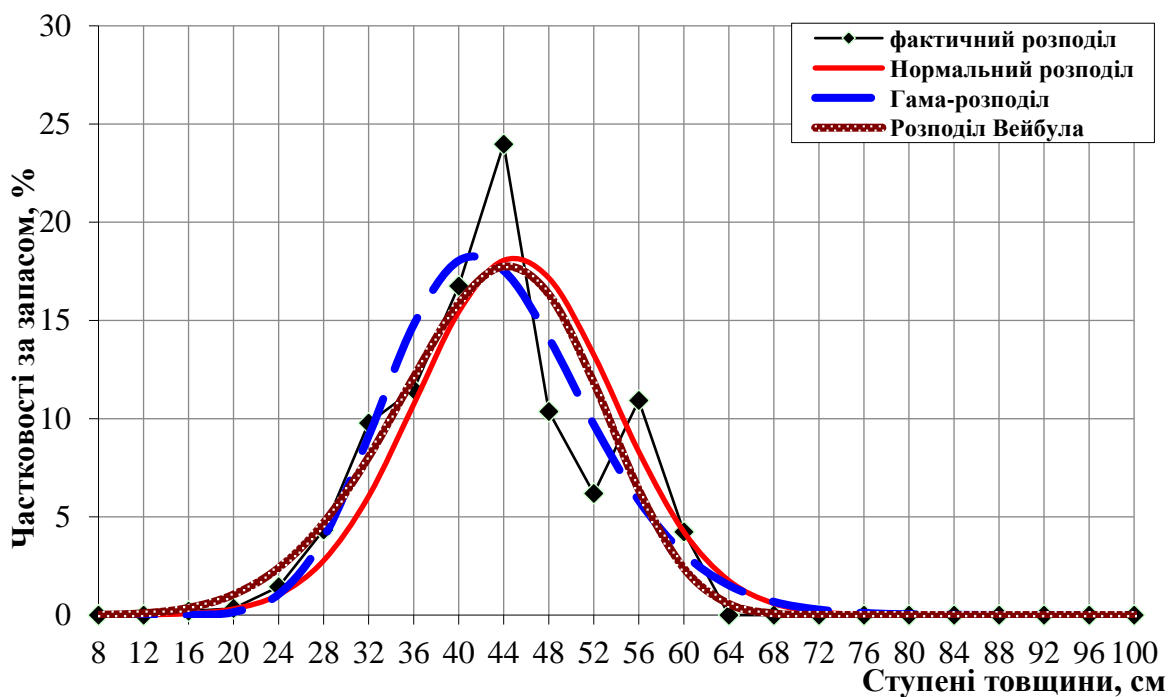


Рис. А.1. Фактичні та теоретичні частковості дерев бука лісового за запасом на пробній площі 2

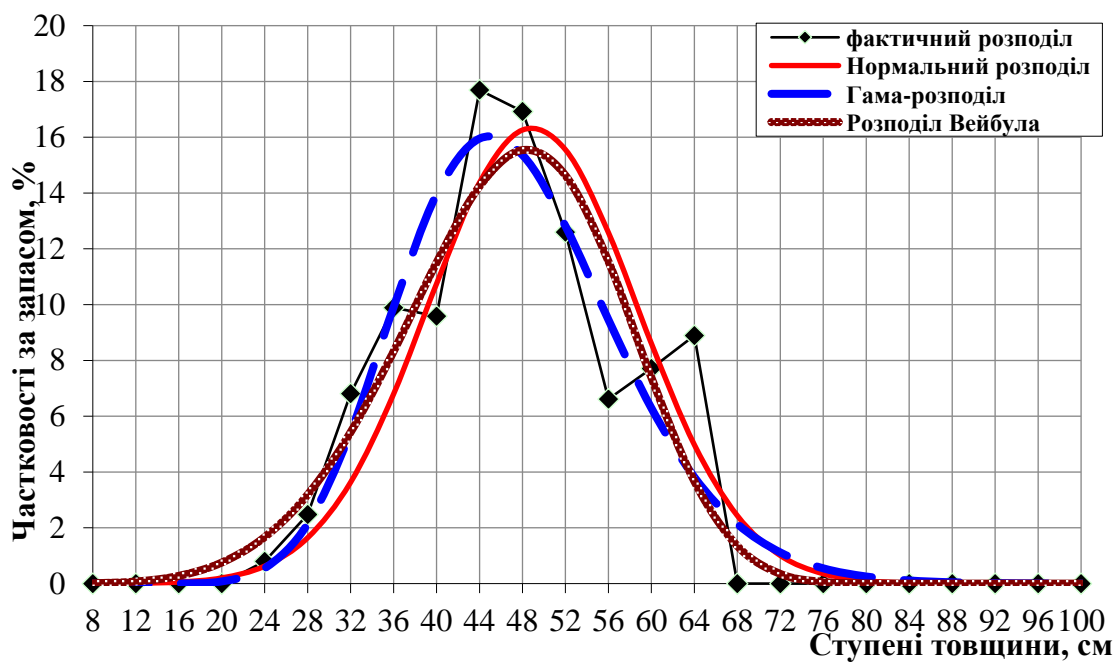


Рис. А.2. Фактичні та теоретичні частковості дерев бука лісового за запасом на пробній площі 3

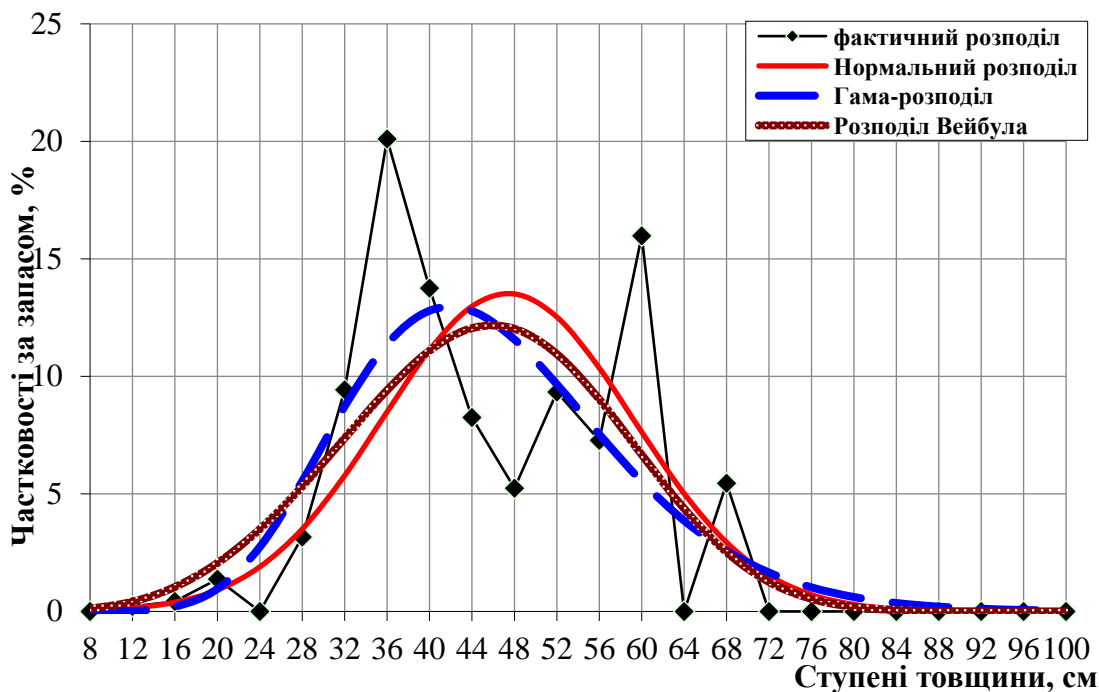


Рис. А.3. Фактичні та теоретичні частковості дерев бука лісового за запасом на пробній площі 4

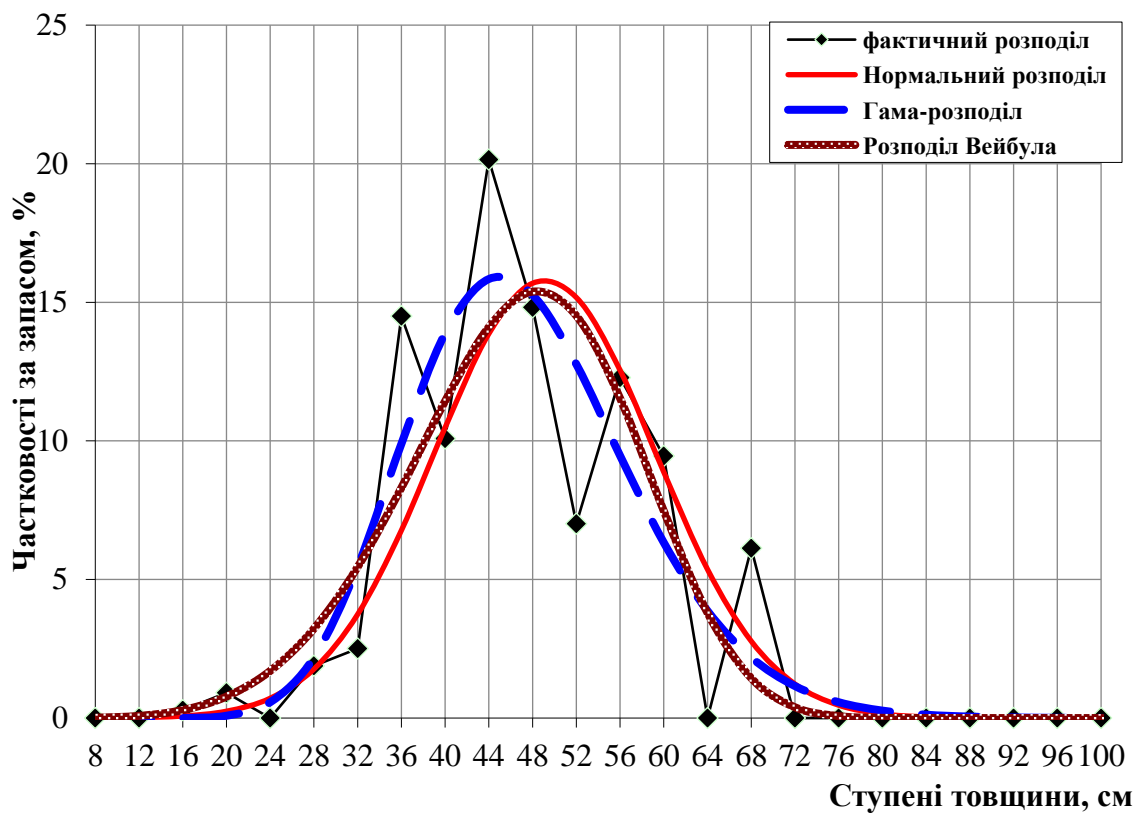


Рис. А.4. Фактичні та теоретичні частковості дерев бука лісового за запасом на пробній площі 5

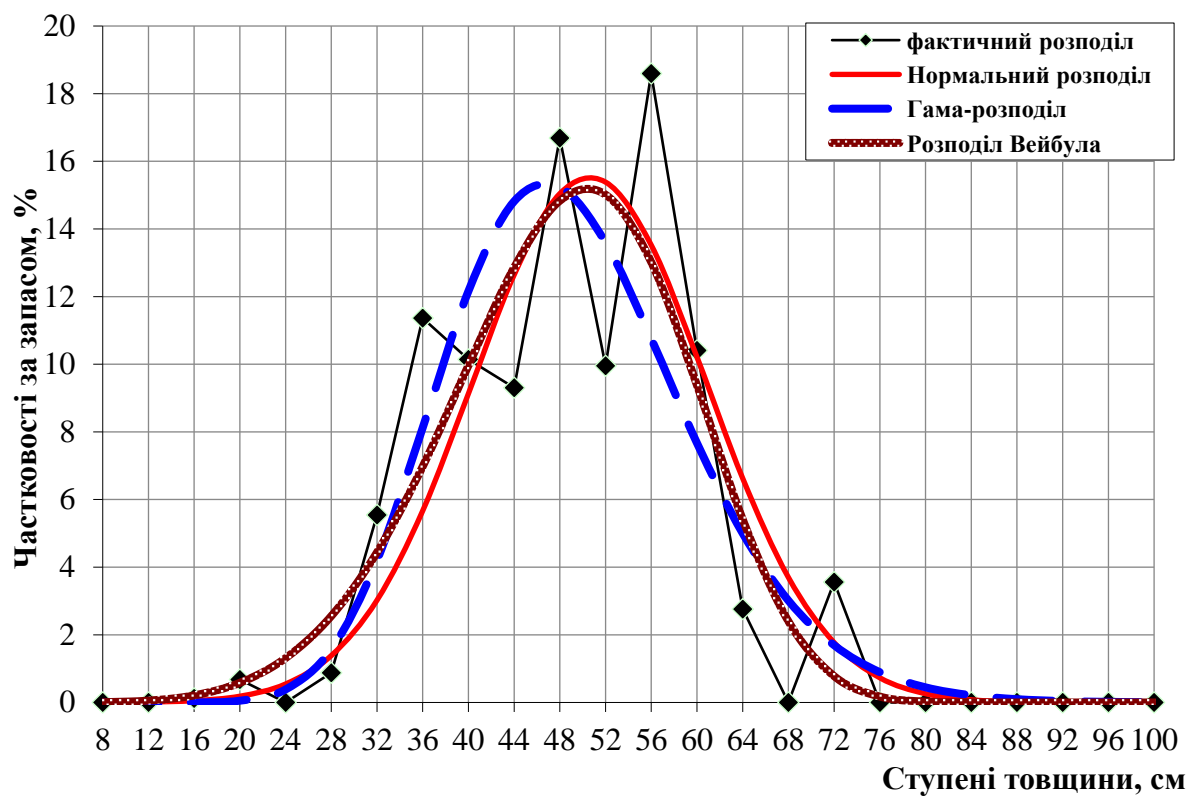


Рис. А.5. Фактичні та теоретичні частковості дерев бука лісового за запасом на пробній площі 6

ДОДАТОК Б

Кореляційні матриці залежностей між фактичними та змодельованими значеннями

Таблиця Б.1

Кореляційна матриця залежності фактичних та змодельованих даних для ряду діаметрів на пробній площі 2

	Фактичні дані	Нормальний розподіл	Гама розподіл	Розподіл Вейбула
Фактичні дані	1	0.947	0.963	0.966
Нормальний розподіл	0.947	1	0.962	0.984
Гама розподіл	0.963	0.962	1	0.989
Розподіл Вейбула	0.966	0.984	0.989	1

Таблиця Б.2

Кореляційна матриця залежності фактичних та змодельованих даних для ряду запасів на пробній площі 2

	Фактичні дані	Нормальний розподіл	Гама розподіл	Розподіл Вейбула
Фактичні дані	1	0.916	0.942	0.928
Нормальний розподіл	0.916	1	0.964	0.986
Гама розподіл	0.942	0.964	1	0.984
Розподіл Вейбула	0.928	0.986	0.984	1

Таблиця Б.3

Кореляційна матриця залежності фактичних та змодельованих даних для ряду діаметрів на пробній площі 3

	Фактичні дані	Нормальний розподіл	Гама розподіл	Розподіл Вейбула
Фактичні дані	1	0.934	0.972	0.964
Нормальний розподіл	0.934	1	0.957	0.982
Гама розподіл	0.972	0.957	1	0.987
Розподіл Вейбула	0.964	0.982	0.987	1

Таблиця Б.4

Кореляційна матриця залежності фактичних та змодельованих даних для ряду запасів на пробній площі 3

	Фактичні дані	Нормальний розподіл	Гама розподіл	Розподіл Вейбула
Фактичні дані	1	0.935	0.955	0.946
Нормальний розподіл	0.935	1	0.966	0.989
Гама розподіл	0.955	0.966	1	0.983
Розподіл Вейбула	0.946	0.989	0.983	1

Таблиця Б.5

Кореляційна матриця залежності фактичних та змодельованих даних для ряду діаметрів на пробній площі 4

	Фактичні дані	Нормальний розподіл	Гама розподіл	Розподіл Вейбула
Фактичні дані	1	0.794	0.825	0.815
Нормальний розподіл	0.794	1	0.957	0.980
Гама розподіл	0.825	0.957	1	0.991
Розподіл Вейбула	0.815	0.980	0.991	1

Таблиця Б.6

Кореляційна матриця залежності фактичних та змодельованих даних для ряду запасів на пробній площі 4

	Фактичні дані	Нормальний розподіл	Гама розподіл	Розподіл Вейбула
Фактичні дані	1	0.741	0.804	0.775
Нормальний розподіл	0.741	1	0.953	0.984
Гама розподіл	0.804	0.953	1	0.982
Розподіл Вейбула	0.775	0.984	0.982	1

Таблиця Б.7

Кореляційна матриця залежності фактичних та змодельованих даних для ряду діаметрів на пробній площі 5

	Фактичні дані	Нормальний розподіл	Гама розподіл	Розподіл Вейбула
Фактичні дані	1	0.874	0.894	0.885
Нормальний розподіл	0.874	1	0.969	0.988
Гама розподіл	0.894	0.969	1	0.988
Розподіл Вейбула	0.885	0.988	0.988	1

Таблиця Б.8

Кореляційна матриця залежності фактичних та змодельованих даних для ряду запасів на пробній площі 5

	Фактичні дані	Нормальний розподіл	Гама розподіл	Розподіл Вейбула
Фактичні дані	1	0.871	0.912	0.886
Нормальний розподіл	0.871	1	0.963	0.987
Гама розподіл	0.912	0.963	1	0.983
Розподіл Вейбула	0.886	0.987	0.983	1

Таблиця Б.9

**Кореляційна матриця залежності фактичних та змодельованих даних
для ряду діаметрів на пробній площі 6**

	Фактичні дані	Нормальний розподіл	Гама розподіл	Розподіл Вейбула
Фактичні дані	1	0.890	0.916	0.905
Нормальний розподіл	0.890	1	0.964	0.987
Гама розподіл	0.916	0.964	1	0.987
Розподіл Вейбула	0.905	0.987	0.987	1

Таблиця Б.10

**Кореляційна матриця залежності фактичних та змодельованих даних
для ряду запасів на пробній площі 6**

	Фактичні дані	Нормальний розподіл	Гама розподіл	Розподіл Вейбула
Фактичні дані	1	0.907	0.901	0.923
Нормальний розподіл	0.907	1	0.970	0.991
Гама розподіл	0.901	0.970	1	0.982
Розподіл Вейбула	0.923	0.991	0.982	1