

МОДЕЛЮВАННЯ ХОДУ РОСТУ ЗА СЕРЕДНЬОЮ ВИСОТОЮ МОДАЛЬНИХ ДЕРЕВОСТАНІВ ТВЕРДОЛИСТЯНИХ ДЕРЕВНИХ ВИДІВ УКРАЇНИ

О. П. БАЛА, кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
orcid.org/0000-0001-6538-8876

І. П. ЛАКИДА, кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
orcid.org/0000-0002-1565-8329

Національний університет біоресурсів і природокористування України
E-mail: bala@nubip.edu.ua

Розроблення динамічних бонітетних шкал є одним із основних етапів, що передуює створенню таблиць ходу росту для модальних деревостанів. Тісна залежність середньої висоти деревостану від інших таксаційних показників потребує ретельного підходу до її моделювання і необхідності групування значного дослідного матеріалу з урахуванням біологічних особливостей росту окремих деревних видів. Метою проведених досліджень було встановлення особливостей росту за середньою висотою для основних твердолистяних деревних видів України та розроблення динамічних бонітетних шкал у розрізі порід і походження деревостанів. Для досягнення поставлених завдань було використано два джерела дослідних експериментальних даних: базу даних ВО «Укрдержліспроект» станом на 1 січня 2011 р. з повидільною таксаційною характеристикою деревостанів у розрізі досліджуваних твердолистяних деревних видів; базу даних тимчасових пробних площ, закладених у різних регіонах України, з проведеним аналізом перебігу росту за висотою. Провівши моделювання відносних верхніх висот на основі даних модельних дерев, зібраних на пробних площах, виявлено, що для дубових, букових і ясеневих деревостанів значення отриманих математичних моделей у старшому віці (понад 100 років) значно перевищують фактичні дані, що може пояснюватися браком дослідних даних у старшому віці. Для усунення цієї проблеми поєднано вхідні дані з двох джерел, а саме результати дослідження ходу росту за висотою та середньозважені висоти для класів віку старших деревостанів (від 100 до 200 років), розраховані з даних бази повидільної таксаційної характеристики лісів у розрізі досліджуваних деревних видів та походження. У результаті моделювання було отримано моделі кривих-гід ходу росту твердолистяних деревних видів

для деревостанів насіннєвого та порослевого походження. Отримані динамічні бонітетні шкали було порівняно з чинними нормативами для визначення класів бонітету, що засвідчило відмінність у зростанні, а також деякі особливості росту за висотою окремих деревних видів, зокрема насаджень з участю граба звичайного та ясени звичайного.

Ключові слова: крива-гід, верхня висота, відносна висота, математичні моделі, модальні деревостани, походження деревостанів, динамічна бонітетна шкала.

Актуальність. Сучасне вирішення численних наукових і практичних завдань лісового господарства потребує складання нових та удосконалення чинних лісотаксаційних нормативів, з-поміж яких одними з найважливіших є таблиці ходу росту насаджень. Дані останніх широко використовують для таксаційного опису насаджень, а саме визначення абсолютної та відносної повноти, запасу, розміру користування, закономірностей росту за певними таксаційними ознаками, призначення господарських заходів, оцінювання біологічної продуктивності, різних екосистемних послуг лісів та ін. (Hensiruk, 2007). Розрізняють таблиці ходу росту нормальних, оптимальних і модальних насаджень. На відміну від таблиць ходу росту нормальних (повних, високоповнотних) і високопродуктивних оптимальних насаджень, таблиці ходу росту модальних насаджень відображають реальний стан лісів і мають широке застосування у проектуванні лісгосподарських заходів (Zahreev, 1978; Svalov, 1979). Під час розроблення нормативів оцінки продуктивності модальних деревостанів, створенню таблиць ходу росту передують побудова динамічних бонітетних шкал. Вивчення, описування та оцінювання динамічних процесів є складнішим

завданням, ніж встановлення звичайних статистичних залежностей між величинами, особливо якщо це стосується біологічних процесів росту. Моделювання динаміки таксаційних параметрів має враховувати біологічні особливості росту окремих деревних видів і регіон їх поширення (Zahreev, 1978).

Середня висота деревостану є одним із найважливіших таксаційних показників, з яким у тісній залежності перебувають майже всі інші таксаційні параметри деревостану (Anuchin, 1982). Спираючись на наведені аргументи та з метою групування і зменшення дисперсії дослідного матеріалу постала необхідність створити динамічні бонітетні шкали в розрізі походження деревостанів (насіннєві та порослеві) для переважаючих твердолистяних деревних видів, а саме дуба звичайного (*Quercus robur* L.), бука лісового (*Fagus sylvatica* L.), ясени звичайного (*Fraxinus excelsior* L.) та граба звичайного (*Carpinus betulus* L.).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Детальний огляд та аналіз методів складання таблиць ходу росту та продуктивності насаджень провів М. М. Свалов (Svalov, 1979), проаналізувавши 12 різних методичних підходів і зазначивши їхні переваги та недоліки. Це дало змогу

розробити метод складання таблиць перебігу ходу, який враховує випадковий відбір вихідних даних, класифікацію насаджень за верхньою висотою і віком деревостанів, моделювання рівнів повноти та продуктивності деревостанів. За твердженням С. І. Миклуша (Myklush, 2011), у закордонних дослідженнях більшість таблиць ходу росту складено на базі масових матеріалів кругових пробних площ, які відображають умови зростання, стан насаджень та екологічну інформацію. Результати дослідження ходу росту на цих пробах узагальнено у кореляційних кривих росту насаджень за індексами бонітетів, що визначаються за домінантною висотою у базовому віці, як правило 50 років.

Основні методичні підходи складання таблиць ходу росту модальних насаджень запропонували В. С. Мойсєєв, О. Г. Мошкальов, І. А. Нахабцев (Moiseev, Moshkaliov & Nakhabtsev, 1968), М. П. Анучін (Anuchin, 1982). У роботі останнього наголошено, що як основу складання таблиць ходу росту модальних деревостанів доцільно використати польовий дослідний матеріал, зібраний на виробництві, який охоплює масові спостереження в натурі. Для створення таких таблиць потрібно використовувати середні значення основних таксаційних показників, що розраховані в результаті статистичного опрацювання та вирівняні з допомогою графічного або аналітичного методів.

В Україні останні дослідження складання таблиць ходу росту модальних деревостанів частково ґрунтувалися на використанні наявних трендів росту за висотою, зокрема у працях (Lakyda & Bala,

2012; Lakyda, Terentiev & Vasylyshyn, 2012; Lakyda & Aleksiiuk, 2017; Lakyda & Atamanchuk, 2014; Lakyda & Volodymyrenko, 2008) дослідники використовували математичні моделі середньої висоти, розроблені на основі значного експериментального матеріалу у роботі (Strochinskiy, Shvidenko & Lakida, 1992). Проте ці моделі описують оптимальні, найбільш продуктивні деревостани і можуть відрізнятися від модальних. Дослідження росту за середньою висотою з використанням дослідного матеріалу, зібраного на пробних площах у дубових деревостанах, описано у працях (Kobets, 2015; Tkach, Golovach & Vedmid, 2013; Bala & Khan, 2016), у букових – у (Myklush, 2011; Vasylyshyn, 2016). Усі дослідники моделювали середні відносні висоти з різними базовими висотами та з використанням ростових функцій (зокрема функції Мітчерліха або її похідних).

Мета дослідження: встановлення особливостей росту за середньою висотою для основних твердолистяних деревних видів України та розроблення динамічних бонітетних шкал у розрізі порід і походження деревостанів.

Матеріали і методи дослідження. Для досягнення поставленої мети було використано два джерела дослідних експериментальних даних, а саме: базу даних ВО «Укрдержліспроект» станом на 1 січня 2011 р. з повидільною таксаційною характеристикою деревостанів у розрізі досліджуваних твердолистяних деревних видів; базу даних тимчасових пробних площ (ТПП), закладених у різних регіонах України, з проведенням аналізом ходу росту за висотою. Статистичне оброблення та моделювання залежностей проводили з використанням методів

регресійного аналізу, а саме функції нелінійної регресії статистичного пакета прикладних програм IBM SPSS Statistics. В основу цієї функції покладено знаходження коефіцієнтів рівняння незалежних змінних із використанням методу найменших квадратів. Для аналізу отриманих результатів та порівняння теоретичних і емпіричних даних застосовували графічний метод.

Результати дослідження та їх обговорення. Для отримання кривих-гід досліджуваних деревостанів за верхньою висотою для різних твердолистяних деревних видів використано дані аналізу ходу росту модельних дерев, зрубаних на тимчасових пробних площах, які мають найбільші (75 % і вище) ранги за діаметром. Такі дерева посідають панівне місце в наметі лісу та зазнають мінімального впливу внутрішньовидової та між-

видової конкуренції, на відміну від дерев середніх розмірів (Tsurik, 2008; Shvidenko, Shchepashchenko, Nilson & Bului, 2003; Yuditskii, 1982). Абсолютні висоти моделей було переведено у відносні, при цьому за базову було прийнято висоту у віці 40 років, оскільки значну частину дослідного матеріалу було отримано із середньовікових насаджень. Попередньо було сформовано набір дослідних даних пробних площ, закладених співробітниками кафедри таксації лісу та лісового менеджменту НУБіП України, які містили результати досліджень ходу росту модельних дерев за висотою, та розподілено їх за походженням. На рис. 1 подано динаміку відносних верхніх висот дослідних модельних дерев у розрізі досліджуваних твердолистяних деревних видів та походження за даними модельних дерев тимчасових пробних площ.

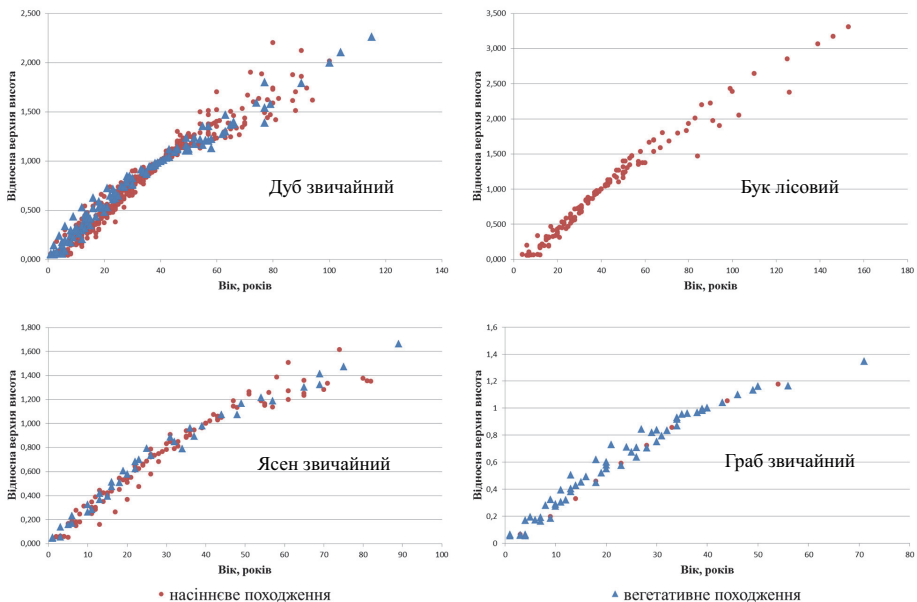


Рис. 1. Графічна інтерпретація даних ходу росту за верхньою відносною висотою модельних дерев на ТПП у розрізі деревних видів і походження

Пошук математичної моделі для опису особливостей росту за висотою засвідчив, що найкраще такі залежності описують відомі ростові функції, що використовували в багатьох попередніх дослідженнях (Lakyda & Bala, 2012; Hall & Clutter, 2004; Hall & Bailey, 2001; Buhayov & Pasternak, 2015; Kobets, 2015; Tkach, Golovach & Vedmid, 2013). Для моделювання залежності відносної верхньої висоти твердолистяних деревостанів від віку використано ростову функцію Мітчерліха (Kiviste, 1988), загальний вигляд якої наведено нижче:

$$y = c_1 (1 - \exp(-c_0 \cdot x))^{c_2}, \quad (1)$$

де y – залежна змінна; x – незалежна змінна; c_0 , c_1 , c_2 – коефіцієнти регресії.

Криву-гід було отримано в результаті дослідження залежностей, що достовірно відображають закономірності зміни експериментальних даних, використовуючи ростову функцію (1), яка набула такого вигляду:

$$H_{ep} = [a_0 \cdot (1 - \exp(-a_1 \cdot A))^{a_2}] \cdot H_{40}^{6az}, \quad (2)$$

де H_{ep} – верхня висота деревостану, м; A – вік деревостану, років; a_0 , a_1 , a_2 – коефіцієнти рівняння; H_{40}^{6az} – середня висота деревостану в базовому віці.

Використана функція має дуже велику гнучкість і може описати різноманітні особливості ростових процесів деревостанів досліджуваних деревних видів. Застосування цієї функції також є зручним, оскільки завжди можна змінити значення висоти для будь-якого базового віку, поділивши коефіцієнт рівняння a_0 на значення рівняння у цьому віці.

Оскільки показник верхньої висоти має обмежене використання на

виробництві й під час лісовпорядкування, було виконано перехід від верхньої висоти до середньої. Для цього використано дані тимчасових пробних площ, на яких розраховували середню висоту деревостану та верхню висоту шляхом розрахунку середньої висоти. Під час досліджень було встановлено, що найкраще описує залежність середньої висоти від верхньої і віку таке рівняння:

$$H_{cp} = H_{ep} \cdot b_0 \cdot \exp(b_1/A), \quad (3)$$

де H_{cp} – середня висота деревостану; b_0 , b_1 – коефіцієнти рівняння.

Провівши моделювання відносних верхніх висот на основі даних модельних дерев, зібраних на ТПП, було виявлено, що для дубових, букових та ясеневих деревостанів значення отриманих математичних моделей у старшому віці (100 років і старше) значно перевищують фактичні дані. За даними рис. 1 можна побачити брак експериментального матеріалу в цьому віці, зокрема, для дубових деревостанів старшими за 100 років є лише одне модельне дерево, у букових – два, ясеневі насадження обмежуються віком 90, а грабові – 70 років.

Для розв'язання цієї проблеми поєднано дані з двох джерел, а саме результати дослідження ходу росту за висотою та середньозважені висоти для класів віку старших деревостанів, розраховані з даних бази повидільної таксаційної характеристики лісів у розрізі досліджуваних деревних видів і походження. Враховуючи той факт, що при виборі модельних дерев на пробних площах має значення суб'єктивна роль дослідника, який прагне вивчити найкраще дерево, для модальних деревостанів є доцільним використати частину дослідних да-

них щодо наявного стану лісів. Для цього на основі повидільної бази даних розраховано середньозважені та вирівняні висоти для кожного класу віку, використовуючи ростову функцію (1), було отримано середні, а потім, за допомогою формули (3), переведено у верхні висоти модальних деревостанів у межах досліджуваних деревних видів і походження. Отримані значення у віці від 100 до 200 років було додано до вихідних даних

модельних дерев із тимчасових пробних площ.

Повторно змодельовавши ходу росту за відносною верхньою висотою твердолистяних деревних видів на основі оновлених вхідних даних, отримано криві-гід, графічне відображення яких за породами подано на рис. 2–5.

Із даних, наведених на рис. 2–5, можна зробити висновок, що в переважній більшості отримані матема-

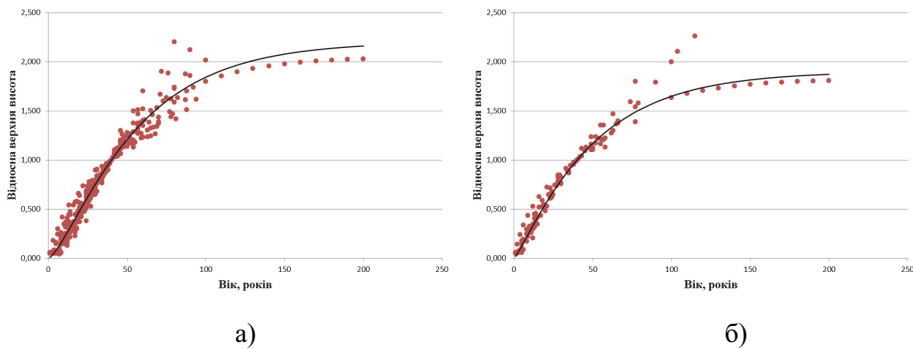


Рис. 2. Графічна інтерпретація математичної моделі кривої-гид дубових насаджень насіннєвого (а) та вегетативного (б) походження за верхньою відносною висотою (точки – емпіричні дані, лінія – математична модель)

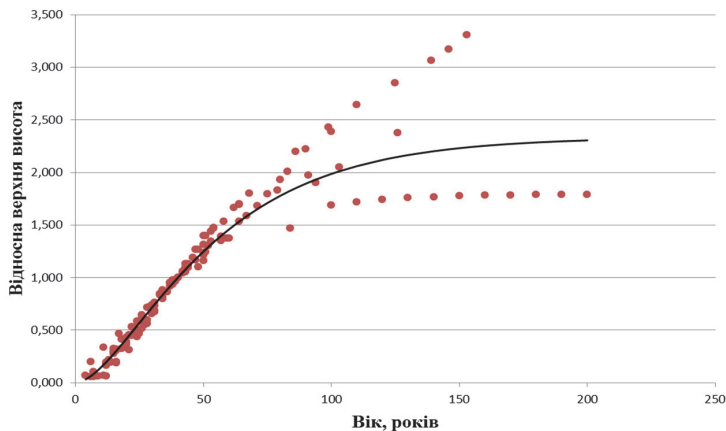


Рис. 3. Графічна інтерпретація математичної моделі кривої-гид букових насаджень насіннєвого походження за верхньою відносною висотою (точки – емпіричні дані, лінія – математична модель)

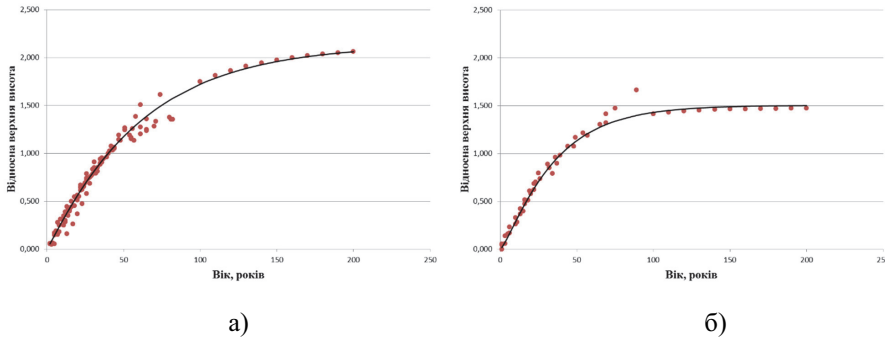


Рис. 4. Графічна інтерпретація математичної моделі кривої-гід ясеневих насаджень насіннєвого (а) та вегетативного (б) походження за верхньою відносною висотою (точки – емпіричні дані, лінія – математична модель)

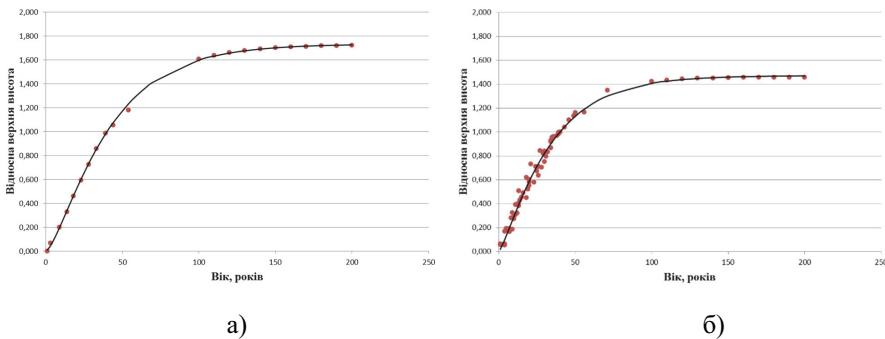


Рис. 5. Графічна інтерпретація математичної моделі кривої-гід грабових насаджень насіннєвого (а) та вегетативного (б) походження за верхньою відносною висотою (точки – емпіричні дані, лінія – математична модель)

тичні моделі точно описують перебіг росту досліджуваних деревостанів. Потрібно зауважити розбіжності у даних ходу росту модельних дерев на ТПП і середніх значеннях бази даних ПТХЛ для букових деревостанів, де результати обміру модельних дерев значно перевищують дані відносної верхньої висоти модальних деревостанів. Така розбіжність може бути зумовлена суб'єктивністю у відборі дослідниками кращих дерев на ТПП і проведеними господарськими заходами в букових деревостанах старшого віку, під час яких такі дерева були вибрані з насадження.

Отже, для побудови динамічних бонітетних шкал для модальних деревостанів твердолистяних деревних видів запропоновано такі математичні моделі в розрізі походження:

– для деревостанів насіннєвого походження:

а) дуба звичайного

$$H_{cp} = 2,204 \cdot (1 - \exp(-0,021416 \cdot A))^{1,430} \cdot 0,945 \cdot \exp(-1,393/A) \cdot H_{40}^{6аз}$$

б) бука лісового

$$H_{cp} = 2,336 \cdot (1 - \exp(-0,024584 \cdot A))^{1,811} \cdot 0,951 \cdot \exp(-2,725/A) \cdot H_{40}^{6аз}$$

в) ясена звичайного

$$H_{cp} = 2,137 \cdot (1 - \exp(-0,017002 \cdot A))^{1,075} \cdot 0,967 \cdot \exp(-0,932/A) \cdot H_{40}^{6аз}$$

г) граба звичайного

$$H_{cp} = 1,732 \cdot (1 - \exp(-0,029330 \cdot A))^{1,484} \cdot 0,956 \cdot \exp(-1,365/A) \cdot H_{40}^{баз}$$

– для деревостанів вегетативно-походження:

а) дуба звичайного

$$H_{cp} = 1,901 \cdot (1 - \exp(-0,021810 \cdot A))^{1,187} \cdot 0,964 \cdot \exp(-2,280/A) \cdot H_{40}^{баз}$$

б) ясен звичайного

$$H_{cp} = 1,504 \cdot (1 - \exp(-0,032570 \cdot A))^{1,287} \cdot 0,961 \cdot \exp(-0,307/A) \cdot H_{40}^{баз}$$

в) граба звичайного

$$H_{cp} = 1,471 \cdot (1 - \exp(-0,033615 \cdot A))^{1,278} \cdot 0,904 \cdot \exp(1,516/A) \cdot H_{40}^{баз}$$

Для суміщення динамічної бонітетної шкали із чинними нормативами здійснено приведення базового віку середніх висот до 100 років загальнобонітетної шкали (Handbook of forest mensuration, 2013). Для цього за допомогою розроблених моделей було пораховано відносні висоти для

зазначеного віку. Як простежується із наведених вище моделей, базовий вік деревостану залежить тільки від першого коефіцієнта рівняння. А отже, поділивши його на індекс відносної висоти у 100 років, отримаємо модель із базовою висотою у цьому віці.

На рис. 6 наведено висоти верхніх класів бонітету основних твердолистяних деревних видів і верхні значення середніх висот I, III і V класів бонітету за загальною бонітетною шкалою (Handbook of forest mensuration, 2013) для деревостанів насіннєвого походження.

Із даних, наведених на рис. 6, можна помітити, що для насіннєвих деревостанів у віці до 50–60 років спостерігаються найбільші відхилення динамічних бонітетних шкал від загальної бонітетної шкали. При цьому розбіжності притаманні як ок-

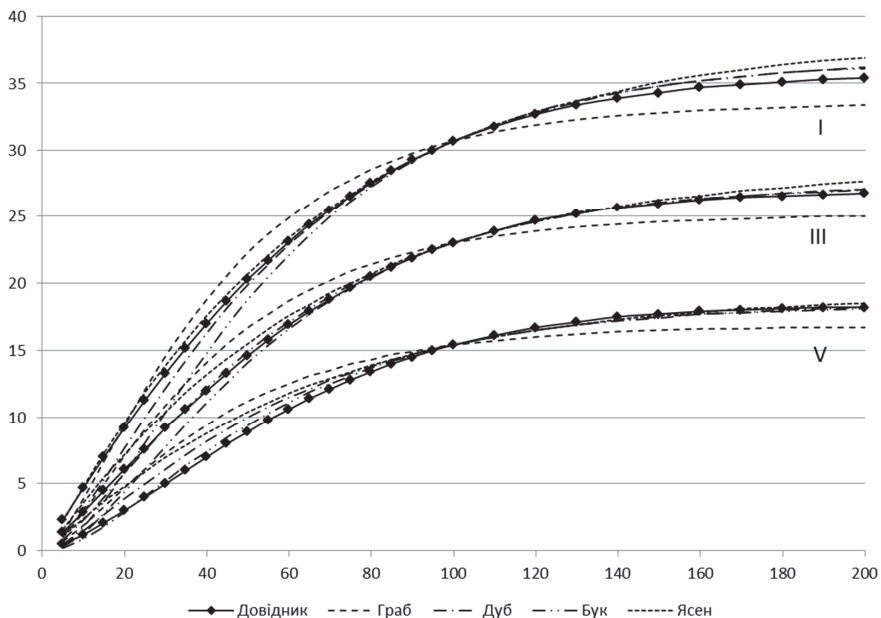


Рис. 6. Порівняння висоти верхніх меж основних класів бонітету для динамічних бонітетних шкал і загальної бонітетної шкали (Handbook of forest mensuration, 2013) для насіннєвих деревостанів

ремим деревним видам, так і класам бонітету. Зокрема, для низькобонітетних деревостанів усі динамічні шкали перевищують значення загальної бонітетної шкали. Зі збільшенням класу бонітету залежності змінюються, деякі деревні види залишаються вищими за загальну шкалу, а деякі, зокрема дуб і бук, навпаки, мають нижчі висоти. Для кращої візуалізації наведемо графіки відхилень висот розроблених динамічних бонітетних шкал від загальнобонітетної шкали в розрізі деревних видів та за класами бонітету (рис. 7).

Із даних рис. 7 можна побачити, що найбільші відхилення від наявної бонітетної шкали спостерігаються у грабових деревостанів, зокрема, до 100 років вони перевищують загальнобонітетну шкалу, а після – навпаки, є нижчими. Дубові деревостани є найбільш наближеними до чинної бонітетної шкали, розбіжності за ви-

сотою не перевищують 2 м, найменші відхилення спостерігаються для деревостанів III класу бонітету. Ріст букових деревостанів низького V класу бонітету відповідає чинним нормативам. Зі збільшенням продуктивності насаджень динамічні висоти є набагато нижчими, особливо до віку 40–50 років. Ріст у висоту модальних ясеневих деревостанів на всьому віковому проміжку перевищує загальнобонітетну шкалу, за незначним винятком V класу бонітету у віці 100–160 років. Аналогічне порівняння було здійснено для висот верхніх меж класів бонітету для деревостанів порослевого походження, графічну інтерпретацію якого наведено на рис. 8.

Із даних рис. 8 можемо побачити, що для дубових деревостанів значення висот розробленої динамічної шкали значно менші за аналогічні у чинних нормативах, причому в насадженнях із низькою продуктивністю різниця є

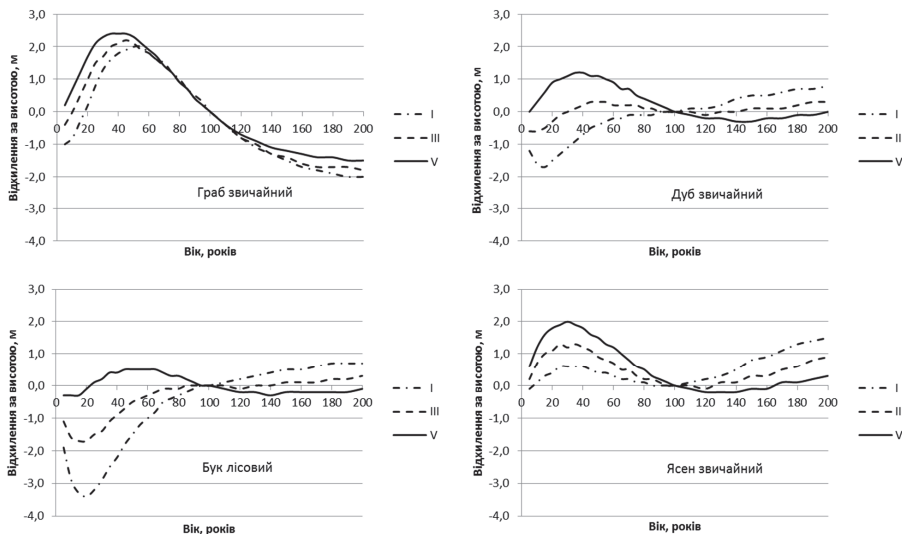


Рис. 7. Відхилення висоти верхньої межі класів бонітету динамічних бонітетних шкал від загальної бонітетної шкали за деревними видами наслідного походження

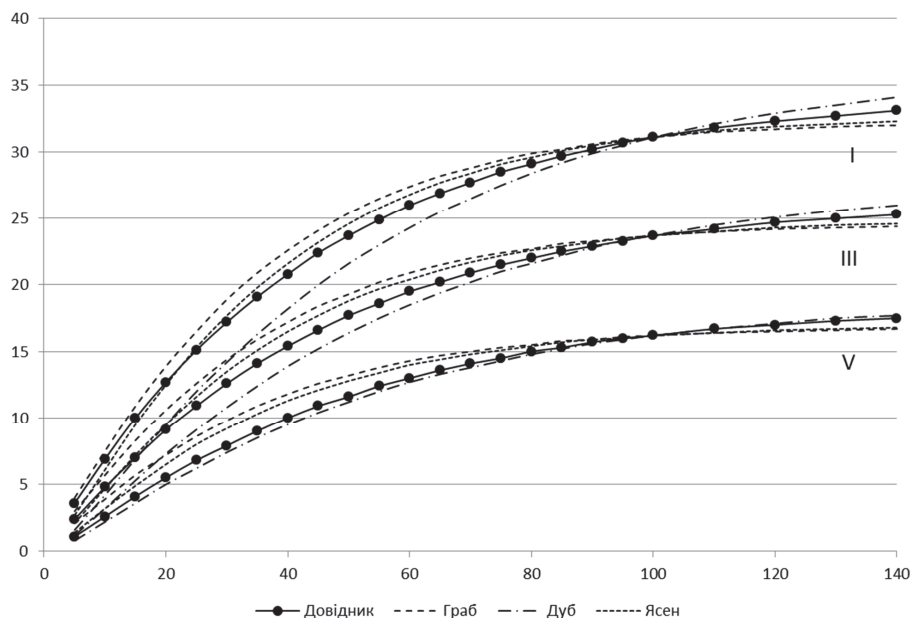


Рис. 8. Порівняння висоти верхніх меж основних класів бонітету для динамічних бонітетних шкал і загальної бонітетної шкали (Handbook of forest mensuration, 2013) для порослевих деревостанів

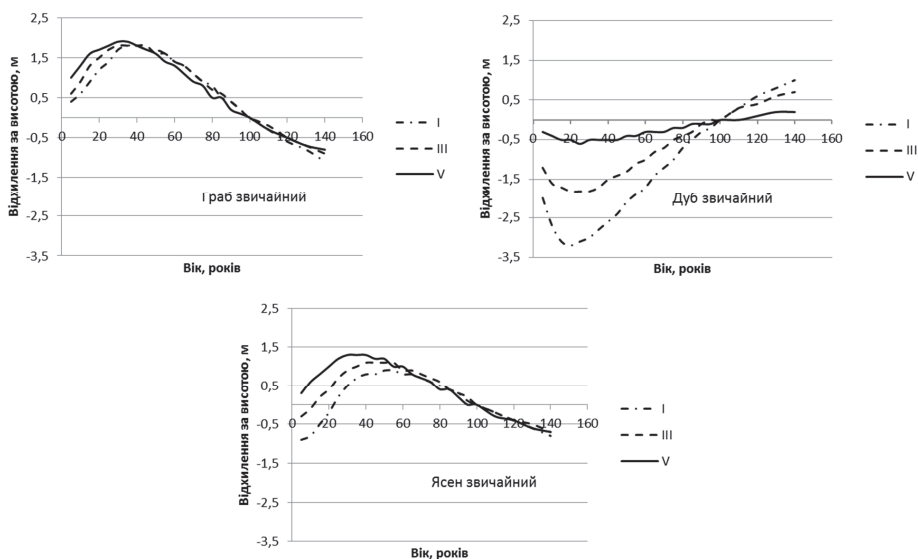


Рис. 9. Відхилення висоти верхньої межі класів бонітету динамічних бонітетних шкал від загальної бонітетної шкали за деревними видами порослевого походження

незначною, а в насадженнях І класу бонітету і вище, в молодому віці, може становити один і більше клас бонітету. Для насаджень ясена та граба значення висоти динамічних бонітетних шкал є вищими за чинні нормативи. Відхилення висоти верхньої межі класів бонітету динамічних бонітетних шкал від загальної бонітетної шкали в розрізі деревних видів для порослевого походження подано на рис. 9.

Із даних наведених графіків можна стверджувати, що для порослевих деревостанів продуктивність насаджень має незначний вплив на відхилення між середніми висотами порівнюваних таблиць. Також отримані відхилення мають подібну тенденцію та є значно меншими за свою величиною, порівняно із насінневими, та не перевищують 2 м. Виняток становлять деревостани дуба звичайного, в яких зі збільшенням величини класу бонітету зростає різниця між середніми висотами досліджуваних таблиць, особливо у віці 20–40 років.

Висновки і перспективи. За результатами проведених досліджень запропоновано математичні моделі розрахунку середньої висоти для деревостанів твердолистяних деревних видів у розрізі походження, що характеризується високою точністю здійснення опису залежності відносних висот досліджуваних деревних видів від віку деревостану, оскільки значення отриманих коефіцієнтів детермінації становлять вище ніж 0,95. Коефіцієнти рівнянь необхідно використовувати з тією кількістю знаків після коми, скільки зазначено в моделях, оскільки для переважної кількості з них три знаки забезпечують достатню точність, за винятком коефіцієнта a_1 , для якого необхідно використовувати шість знаків після коми.

Розроблені математичні моделі для розрахунку середньої висоти мають важливе практичне значення, оскільки є основою для побудови динамічних бонітетних шкал, що враховують біологічні особливості росту кожного деревного виду. Це підтвердилося при порівнянні розроблених динамічних бонітетних шкал із чинними нормативами, що засвідчило відмінність у зростанні, а також деякі особливості росту за висотою окремих деревних видів, зокрема насаджень з участю граба звичайного та ясена звичайного. Отримані динамічні бонітетні шкали в подальшому можуть бути використані як у практичній лісгосподарській діяльності, так і для групування експериментального матеріалу для проведення моделювання прогнозування росту та актуалізації таксаційних показників у чинних лісовпорядних базах даних.

Список літератури

- Anuchin, N. P. (1982). *Forest mensuration*. Moscow: Forest industry [in Russian].
- Bala, O. P., & Khan, E. Yu. (2016). The modeling of middle height dynamic of vegetative origin modal oak stands growth in Ukrainian Forest-steppe zone. *Scientific bulletin of UNFU of Ukraine*, 26.5, 22–27 [in Ukrainian].
- Buhayov, S. M., & Pasternak, V. P. (2015). Growth models of alder stands of left-bank forest-steppe of Ukraine. *Scientific bulletin of UNFU of Ukraine*, 25.2, 36–42 [in Ukrainian].
- Hall, D., & Bailey, R. (2001). Modeling and prediction of forest growth variables based on multilevel nonlinear mixed models. *Forest Science*, 47 (3), 311–321.
- Hall, D., & Clutter, M. (2004). Multivariate multilevel nonlinear mixed effects models for timber yield predictions. *Biometrics*, 60, 16–24.

- Handbook of forest mensuration.* (2013). Kyiv: Publishing house "Vinichenko" [in Ukrainian].
- Hensiruk, S. A. (2007). *Ukrainian Encyclopedia of Forestry.* (Vol. 2). Lviv [in Ukrainian].
- Kiviste, A. K. (1988). *The function of growth of forest.* Tartu [in Russian].
- Kobets, O. V. (2015). Growth of modal oak stands of the Velikoanadolsky forest area and using the forest growth potential. *Scientific bulletin of UNFU of Ukraine*, 25.10, 54–60 [in Ukrainian].
- Lakyda P. I., & Bala, O. P. (2012). *Actualization of growth parameters of artificial Oak stands of Forest-Steppe of Ukraine's.* Korsun-Shevchenkivskiy: FOP Havryshenko V. M. [in Ukrainian].
- Lakyda, P. I., Terentiev, A. Yu., & Vasylyshyn, R. D. (2012). *Scots pine stands of artificial origin in Ukrainian Polissya – growth and productivity forecast.* Korsun-Shevchenkivskiy: FOP Maydachenko I. S. [in Ukrainian].
- Lakyda, P. I., & Aleksiiuk, I. L. (2017). *Natural pine forest stands of Ukrainian Polissya: growth and productivity forecast.* Korsun-Shevchenkivskiy: FOP Maydachenko I. S. [in Ukrainian].
- Lakyda, P. I., & Atamanchuk, R. V. (2014). *Forecast and productivity of modal birch stands in Ukrainian Polissya.* Korsun-Shevchenkivskiy: FOP Havryshenko V. M. [in Ukrainian].
- Lakyda, P. I., & Volodymyrenko, V. M. (2008). *Artificial spruce stands of the Ukrainian Carpathians - growth and productivity forecast.* Kyiv: ESC IAE [in Ukrainian].
- Moiseev, V. S., Moshkaliov, A. G., & Nakhabtsev, I. A. (1968). *The method of compiling yield tables and dynamics of the commodity structure of modal forest stands.* Leningrad: LenFTA [in Russian].
- Myklush, S. I. (2011). *Plain beech forests of Ukraine: productivity and organization of a sustainable economy.* Lviv: ZUCTS [in Ukrainian].
- Shvidenko, A. Z., Shchepashchenko, D. G., Nilson, S., & Bului, Yu. I. (2003). The system of growth models and the dynamics of forest productivity in Russia (yield tables). *Forestry*, 6, 34–38.
- Strochinskiy, A. A., Shvidenko, A. Z., & Lakida, P. I. (1992). *Models of growth and productivity of optimal stands.* Kyiv: Publishing house USHA [in Russian].
- Svalov, N. N. (1979). *Modeling of stands productivity and forest exploitation theory.* Moscow: Forest industry [in Russian].
- Tkach, V. P., Golovach, R. V., & Vedmid, M. M. (2013). Growth of vegetative oak forest of left-bank Forest-steppe. *Forestry and agroforestry*, 122, 47–55 [in Ukrainian].
- Tsurik, Ye. I. (2008). *Taxation of dynamics of forest stands: Tutorial.* Lviv: UNFU of Ukraine [in Ukrainian].
- Vasylyshyn, R. D. (2016). *Forests of Ukrainian Carpathians - features of growth, biological and energy productivity.* Kyiv: LLC «KOM-PRINT» [in Ukrainian].
- Yuditskii, Ya. A. (1982). *Modeling of growth patterns of forest stands as a basis for updating forest taxation information* (Doctoral dissertation, Ukrainian Academy of Agriculture, Kiev, Ukraine) [in Russian].
- Zahreev, V. V. (1978). *Geographic regularities of growth and productivity of forest stands.* Moscow: Forest industry [in Russian].

O. P. Bala, I. P. Lakyda (2019). Modeling mean height growth of modal hardwood broadleaved stands in Ukraine. UKRAINIAN JOURNAL OF FOREST AND WOOD SCIENCE, 10(4):4-16. <https://doi.org/10.31548/forest2019.04.004>.

The development of dynamic site index scales is one of the main preceding steps for yield tables development for modal stands. The tight correlation of average height of a stand with other

biometric indices requires application of a precautionary approach to its modeling and justifies the need for grouping the empirical data to take into account the biological growth patterns of individual tree species. The purpose of this research was to identify and account for the mean height growth patterns for the major hardwood broadleaved tree species of Ukraine, and to develop dynamic site index scales for the tree species and stand origins subject to the research. To achieve these objectives, two sources of experimental data were used, namely the database of Ukrainian State Industrial Association of Forest Management Planning «Ukrderzhlisproekt» dated 01.01.2011 with the stand level mensurational characteristics of stands, as well as the database of temporary sample plots laid in different regions of Ukraine containing information on height growth patterns of forest stands. Modeling of relative top heights on the basis of model trees data collected at the sample plots has shown that for oak, beech, and ash stands, values forecasted by the obtained mathematical models for the age over 100 years significantly exceed the actual data, which may be explained by the lack of experimental data for this age range. In order to remedy this problem, inputs from two sources have been combined, namely the research results on mean height growth patterns and the weighted average of heights for the older stands (100 to 200 years old), calculated from the database of stand level biometric description of forests in the context of the studied tree species and origin. As a result, we have developed models of guide curves describing height growth of hardwood broadleaved stands of seed and vegetative origin. The obtained dynamic site index scales were compared to the current standards for determining site index classes. The comparison has demonstrated growth differences, as well as some of the height growth patterns for individual tree species, including stands with admixture of hornbeam and ash.

Keywords: *guide curve, top height, relative height, mathematical models, modal stands, origin of stands, dynamic site index scale.*

Отримано: 2019-11-18