



В. В. Кислюк, Г. Г. Гриник

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

СТАРІ ВИДОВІ ЧИСЛА ДЕРЕВ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ В УМОВАХ СВІЖОГО СУГРУДУ НА МЕЖІ ПОШИРЕННЯ СОСНОВИХ ТИПІВ ЛІСУ ВОЛИНСЬКОЇ ВИСОЧИНИ

Досліджено основні дендрометричні показники (значення діаметра на висоті 1,3 м, площі поперечного перерізу на висоті 1,3 м, загальної висоти, видові числа та об'єми) модельних дерев сосни звичайної стиглих соснових деревостанів в умовах свіжого сугруду на території Волинської височини. Здійснено статистичний та кореляційний аналіз досліджуваних показників. Встановлено на 5 %-му рівні значущості різниці у значенні діаметра стовбура на висоті 1,3 м (*dbh*) та загальної висоти стовбура (*th*) для дерев різних категорій технічної придатності: ділових, напівділових та дров'яних. Запропоновано за результатами кореляційного аналізу для опису залежності старого видового числа (*f*) використати такі дендрометричні показники як діаметр на висоті 1,3 м та загальної висоти стовбура. Розроблено, спираючись на особливості кореляції, загальний вигляд регресійного рівняння для опису залежності. За результатами опрацювання залежності видових чисел від діаметра та висоти стовбура розроблено моделі таких залежностей як для дерев загалом, так і для дерев відповідних категорій технічної придатності. Розроблено на підставі опрацьованих регресійних рівнянь таблиці залежності старого видового числа для дерев сосни звичайної в умовах свіжого сугруду на межі поширення соснових типів лісу Волинської височини. Опрацьовано такі таблиці як для дерев сосни звичайної загалом, так і окремо за досліджуваними категоріями технічної придатності. Проаналізовано відмінності значень старого видового числа для дерев сосни звичайної досліджуваних категорій технічної придатності. Здійснено порівняльний аналіз розроблених таблиць залежності із нормативно-довідковими матеріалами, розроблених для штучних та природних деревостанів Українського Полісся, та для соснових деревостанів з різною інтенсивністю здійснення господарських заходів у Польщі. Ці нормативи створені переважно для типів лісорослинних умов, які відповідають умовам росту шпилькових деревостанів в типах лісорослинних умов таких як свіжий та вологий бір та свіжий та вологий суббір. Вказані різниці як для деревостанів в Україні, так і в Польщі, можна пояснити особливостями росту дерев сосни звичайної на багатших, порівняно із поліськими, типами лісорослинних умов.

Ключові слова: категорії технічної придатності; дендрометричні показники; статистична закономірність; типи лісорослинних умов; Українське Полісся; Лісостеп України.

Вступ / Introduction

Ряд характеристик дерев і насаджень визначає об'єм дерева. Найпоширенішими характеристиками дерева є такі дендрометричні показники як діаметр на висоті грудей (*dbh*), загальна висота (*th*), старе видове число (*f*), а характеристиками насадження є клас бонітету, відносна повнота насадження та вік насадження [22]. Старе видове число є основним визначальним чинником поряд із діаметром на висоті 1,3 м (*dbh*) і загальною висотою стовбура (*th*) для точної оцінки об'єму дерева [36]. Для розроблення моделей визначення об'ємів стовбурів ростучих дерев доцільно використовувати саме старе видове число (*f*), оскільки воно базується на *dbh* та *th* – дендрометричних показниках, які можна виміря-

ти. Розроблення моделей залежності старого видового числа від *dbh* та *th*, які отримані з врахуванням особливостей профілю стовбура дерева, істотно підвищує точність визначення об'єму стовбура [7, 19, 36, 38]. Дослідження форми та повнодеревності стовбурів тривалий час здійснювали з використанням старого видового числа [16, 17]. Зручність їхнього застосування полягає в можливості охарактеризувати форму стовбурів на підставі невеликої кількості замірів, що дають змогу оцінити її мінливість, залежність від певних чинників, а стовбури класифікувати за характером збігу. Ці показники створили основу для узагальнення форми стовбурів і донині найчастіше їх застосовують у прикладних дослідженнях та таксації лісу як в Україні, так і за кор-

Інформація про авторів:

Кислюк Владислав Володимирович, аспірант, кафедра лісової таксації та лісовпорядкування.

Email: vlad.kyslyuk@icloud.com; <https://orcid.org/0000-0001-9039-0177>

Гриник Георгій Георгійович, д-р с.-г. наук, професор, кафедра лісової таксації та лісовпорядкування.

Email: h.hrynyk@nltu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0001-7417-5047>

Цитування за ДСТУ: Кислюк В. В., Гриник Г. Г. Старі видові числа дерев сосни звичайної в умовах свіжого сугруду на межі поширення соснових типів лісу Волинської височини. Науковий вісник НЛТУ України. 2024, т. 34, № 2. С. 07–16.

Citation APA: Kyslyuk, V. V., & Hrynyk, H. H. (2024). The breast height form factors of scots pine trees in fresh mixed broad-leaf forests on the border of the distribution of pine forest types in the Volhynian Upland. *Scientific Bulletin of UNFU*, 34(2), 07–16.

<https://doi.org/10.36930/40340201>

доном [15, 19, 20, 21, 22, 27, 36, 37]. Зокрема, чинні нормативи об'єму стовбурів основних лісотвірних деревних видів України розробляли з використанням старого видового видового числа [15, 34].

Підвищення точності визначення об'ємів стовбурів дерев вимагає дослідження форми самого стовбура та особливостей його формування залежно від діаметра та висоти дерева. Деревостан формується залежно від типів лісорослинних умов, у якому він росте. Форма дерева залежить також від структури такого деревостану та господарських заходів, які були проведені в ньому [26]. Для зручного визначення об'ємів (v , m^3) стовбурів використовують формулу: $v = g_{1,3} \cdot th \cdot f$, де $g_{1,3} = \pi \cdot dbh^2 \cdot 4 \cdot 10^{-4}$, m^2 ; th – загальна висота стовбура дерева, m ; dbh – діаметр стовбура на висоті 1,3 m , cm ; f – старе видове число. Для різних типів лісорослинних умов його значення відрізняється. Аналогічно відрізняється об'єм стовбура та форма його твірної [3, 7, 37]. З огляду на теоретичну та практичну значущість форми стовбурів дерев традиційно приділяють значну увагу в науковій літературі [27, 38]. Деревний стовбур є найважливішим предметом дослідження, оскільки за його формою й об'ємом визначають цінність лісової продукції. Форма деревних стовбурів вкрай мінлива та залежить від багатьох чинників, що визначають умови росту дерева [1, 4, 5].

Сосна звичайна є однією з найпоширеніших лісових порід на Україні та формує деревостани у різних географічних зонах та у різних типах лісу. Особливо цікавими в плані таких досліджень є деревостани, розташовані на межі свого основного поширення чи ареалу. Такі деревостани часто формуються у не зовсім властивих їм умовах і тому часто відсутні нормативні документи для їхнього оцінювання. Наше дослідження, зважаючи на недостатньо вивчені особливості формування стовбурів дерев сосни звичайної у нехарактерних типах лісорослинних умов на межі поширення соснових типів лісу, спрямоване на дослідження залежності старого видового числа від діаметра стовбура на висоті 1,3 m та висоти стовбура. Формалізовані у вигляді регресійних рівнянь залежності дадуть можливість розробити табличні дані для дерев різних категорій технічної придатності, що підвищить точність визначення об'ємів стовбурної деревини з урахуванням категорій технічної придатності.

Об'єкт дослідження – формування старих видових чисел дерев сосни звичайної в умовах свіжого сугруду на межі поширення соснових типів лісу Волинської височини.

Предмет дослідження – методи і засоби аналізу та моделювання залежності старих видових чисел дерев сосни звичайної різних категорій технічної придатності від діаметра та висоти стовбура в умовах свіжого сугруду на межі поширення соснових типів лісу Волинської височини.

Мета роботи – дослідити особливості старих видових чисел дерев сосни звичайної у сугрудах на межі поширення соснових типів лісу Волинської височини, що дасть змогу підвищити точність визначення об'ємів стовбурів у корі, у тому числі для дерев різних категорій технічної придатності.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження: обчислити дендрометричні показники модельних дерев; здійснити їх статистичний та кореляційний аналіз; встановити потребу здійснення моделювання залежності для дерев різних

категорій технічної придатності; вибрати відповідні регресивні моделі для опису залежності старого видового числа від діаметра та висоти стовбура; розробити таблиці досліджуваних залежностей.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Розвиток та моделювання залежностей таксаційних показників дерев, у тому числі різних категорій технічної придатності, багатьма як вітчизняними, так і закордонними науковцями. Загалом більшість наукових досліджень можна умовно поділити на два основні напрями: перший – досліджує особливості впливу на дендрометричні показники висоти початку (прикріплення) крони [2, 6, 23, 28], до другого – належать залежності, які оцінюють вплив частки крони дерева [14, 33]. Серед вітчизняних лісівників-науковців варто відзначити роботи, у яких досліджувалися залежності між морфологічними і дендрологічними показниками для таких деревних порід як сосна звичайна [12, 13], ялина європейська [11] та клен-явір [29].

Ґрунтовний аналіз різних підходів до узагальнення форми стовбурів провів Г. Б. Кофман [17] і довів, що значення збігу залежать не тільки від діаметра стовбура, а й частково від висоти та інших формоутворювальних чинників, що також підтверджено дослідженнями дерев ялини європейської проф. Я. Соха [31]. Результати проведених досліджень за останнє десятиріччя свідчать, що більшість є них форми стовбурів пов'язували з моделюванням їх твірної поверхні [10, 18, 27]. Нині для характеристики збігу деревних стовбурів використовують різні типи математичних рівнянь, які дають змогу з високою точністю визначити об'єм як усього стовбура, так і його окремих частин [3]. Науковий доробок учених у цьому напрямі виявився найбільш важливим для опрацювання ефективних методів прогнозування розмірно-якісних показників ділових лісоматеріалів [8].

Матеріали та методи дослідження. Основними методами дослідження були: спостереження, вимірювання, аналіз та порівняння [40]. Польова частина процесу дослідження включала встановлення категорій технічної придатності модельних дерев та їхніх обмірів після зрубання. В камеральних умовах здійснено обчислення дендрометричних показників таких як: dbh – діаметр на висоті 1,3 m , cm ; th – загальна висота стовбура, m ; V_{st} – об'єм стовбура, m^3 ; f – старе видове число; $g_{1,3}$ – площа поперечного перерізу на висоті 1,3 m , m^2 . Для опрацювання дослідного матеріалу було використано статистичний та кореляційний аналізи. Для встановлення доцільності здійснення моделювання за окремими категоріями технічної придатності – статистичні оцінки генеральних параметрів; для вибору залежності старого видового числа від dbh та th було використано регресійний аналіз, а для встановлення статистик параметрів отриманих рівнянь – статистичний. Аналіз та порівняння використано під час опрацювання отриманих результатів дослідження та уже наявних даних і нормативно-довідкових матеріалів.

Дослідження проводились у соснових деревостанах на території філії "Дубенське лісове господарство" ДП "Ліси України", де закладено чотири пробні площі. На пробних площах в складі домінує сосна звичайна, яка має незначну домішку другорядних порід: дуба звичайного і берези повислої. Вік досліджуваних деревостанів становить 87-95 років, відносна повнота – 0,55-0,72, загальний запас деревини на ділянках – 267-

357 м³·га⁻¹. Дерева сосни звичайної росли переважно за І та І^a класами бонітету, дуб – переважно за II-III, а береза – за III. Дослідні площі були закладені відповідно до діючих нормативів [32]. Загалом було закладено чотири пробні площі в типі лісорослинних умов С₂ – свіжий сугруд. Деревостани на пробних площах були однорідні за ґрунтово-типологічними умовами та таксаційними показниками. Загалом було опрацьовано дані 190 модельних дерев.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Дерева були поділені за категоріями технічної придатності на ділові, напівділові та дров'яні. Діаметри стовбурів модельних дерев були поміряні на відповідних висотах з кроком 1 м від основи стовбура до основи верхівки та на висоті 1,3 м (*dbh*). Об'єми стовбурів визначено за складною формулою:

$$V_{trunk} = \left(\frac{g_0 + g_n}{2} + \sum_{j=1}^{n-1} g_j \right) \cdot l + \frac{g_n \cdot h}{3}, \quad (1)$$

де: g_i – площі поперечного перерізу відповідних кінців секцій, м²; l – довжина секції, м; h – висота верхівки, м.

Для визначення видового числа стовбура визначають об'єм однорівний циліндра за формулою:

$$V_{cyl.} = g_{1,3} \cdot th, \quad (2)$$

а видове число визначають за формулою:

$$f = V_{trunk} / V_{cyl.} \quad (3)$$

Окрім цього, визначимо об'єм стовбура за спрощеною формулою об'єму:

$$v = g_{1,3} \cdot th \cdot f. \quad (4)$$

Для перевірки різниці між середніми значеннями окремих вибірок, утворених за результатами поділу дерев за категоріями технічної придатності, на p -рівні використано t -критерій Стюдента. При нерівновеликих вибірках, коли $n_1 \neq n_2$ (n – кількість дослідів або варіант) помилку різниці між вибірковими середніми (s_d) визначають за формулою:

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x}_1)^2 + \sum (x_i - \bar{x}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \left(\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2} \right)}, \quad (5)$$

Значення t -критерію для такого випадку визначають за формулою

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_d} = \frac{d}{s_d}. \quad (6)$$

Нульова гіпотеза спростовується, якщо $t_{\phi} \geq t_{st}$ для прийнятого рівня значущості $k = n_1 + n_2 - 2$ [39].

Після визначення параметрів модельних дерев і встановлення необхідних показників було здійснено їх статистичний аналіз з поділом дерев окремо за категоріями технічної придатності та загалом для усіх модельних дерев. Результати такого поділу дерев за категоріями наведено у табл. 1-4.

Аналізуючи дані цих таблиць, встановлено, що практично для усіх дендрометричних показників точність дослідів є достатньо висока і становить найменше 0,51-1,0 % для значень видових чисел та найбільше 2,79-4,7 % – для значень об'ємів стовбура. Це означає, що усі статистичні показники визначено з достатньою статистично значущою точністю на P -рівні 0,95. Серед усіх досліджуваних біометричних показників дерев найбільш змінним є об'єм стовбура: коефіцієнт варіації тут варіює від найменших 31,7 % для дров'яних дерев до максимальних 38,4 % для ділових дерев.

Табл. 1. Статистична характеристика дослідного матеріалу для ділових дерев / Statistical characteristics of the researched indices for technical trees

Показник / Index	<i>dbh</i> , см	<i>th</i> , м	V_{st} , м ³	<i>f</i>	$g_{1,3}$, м ²
Середнє значення / Arithmetic mean (AM)	34,64	24,88	0,984	0,404	0,098
Середньоквадратичне відхилення / Standard deviation (SD)	6,65	1,97	0,38	0,03	0,04
Коефіцієнт варіації / Coefficient of variation (CV), %	19,20	7,91	38,44	8,15	37,64
Мінімальне / Min.	22,3	21,7	0,4	0,3	0,0
Максимальне / Max.	48,5	29,2	1,9	0,5	0,2
Експес / Skewness (Sk)	0,11	0,02	0,43	0,07	0,45
Асиметрія / Kurtosis (Ku)	-0,79	-1,05	-0,66	-0,31	-0,54
Стандартна похибка / Standard error (SE)	0,81	0,24	0,05	0,00	0,00
Точність дослідів / Mean percentage error (MPE), %	2,35	0,97	4,70	1,00	4,60
Загальна кількість / Total number (N)	67	67	67	67	67

Примітка: *dbh* – діаметр на висоті 1,3 м, см; *th* – загальна висота стовбура, м; V_{st} – об'єм стовбура, м³; *f* – старе видове число; $g_{1,3}$ – площа поперечного перерізу на висоті 1,3 м, м²

Табл. 2. Статистична характеристика дослідного матеріалу для напівділових дерев / Statistical characteristics of the researched indices for semi-technical trees

Показник / Index	<i>dbh</i> , см	<i>th</i> , м	V_{st} , м ³	<i>f</i>	$g_{1,3}$, м ²
Середнє значення / Arithmetic mean (AM)	33,28	24,24	0,886	0,406	0,090
Середньоквадратичне відхилення / Standard deviation (SD)	6,35	1,63	0,33	0,02	0,03
Коефіцієнт варіації / Coefficient of variation (CV), %	19,10	6,72	37,80	5,98	37,86
Мінімальне / Min.	23,0	21,7	0,4	0,3	0,0
Максимальне / Max.	46,7	27,4	1,6	0,5	0,2
Експес / Skewness (Sk)	0,26	0,14	0,46	-0,26	0,46
Асиметрія / Kurtosis (Ku)	-1,24	-1,07	-1,07	-0,60	-1,05
Стандартна похибка / Standard error (SE)	0,78	0,20	0,04	0,00	0,00
Точність дослідів / Mean percentage error (MPE), %	2,33	0,82	4,62	0,73	4,63
Загальна кількість / Total number (N)	67	67	67	67	67

Табл. 3. Статистична характеристика дослідного матеріалу для дров'яних дерев / Statistical characteristics of the researched indices for firewood trees

Показник / Index	<i>dbh</i> , см	<i>th</i> , м	V_{st} , м ³	<i>f</i>	$g_{1,3}$, м ²
Середнє значення / Arithmetic mean (AM)	33,48	24,24	1,244	0,397	0,140
Середньоквадратичне відхилення / Standard deviation (SD)	6,73	2,19	0,39	0,03	0,05
Коефіцієнт варіації / Coefficient of variation (CV), %	20,09	9,04	31,68	6,88	34,75
Мінімальне / Min.	22,0	21,0	0,4	0,3	0,0
Максимальне / Max.	51,5	29,0	2,1	0,5	0,2
Експес / Skewness (Sk)	0,54	0,17	-0,98	-0,40	-0,86
Асиметрія / Kurtosis (Ku)	-0,02	-1,13	0,14	2,79	-0,85
Стандартна похибка / Standard error (SE)	0,90	0,29	0,05	0,00	0,01
Точність дослідів / Mean percentage error (MPE), %	2,69	1,21	4,23	0,92	4,64
Загальна кількість / Total number (N)	56	56	56	56	56

Табл. 4. Статистична характеристика дослідного матеріалу для усіх дерев / Statistical characteristics of the researched indices for all wood

Показник / Index	dbh, см	th, м	$V_{st}, \text{м}^3$	f	$g_{1,3}, \text{м}^2$
Середнє значення / Arithmetic mean (AM)	33,82	24,46	1,026	0,403	0,107
Середньоквадратичне відхилення / Standard deviation (SD)	6,56	1,94	0,39	0,03	0,04
Коефіцієнт варіації / Coefficient of variation (CV), %	19,41	7,94	38,49	7,09	41,76
Мінімальне / Min.	22,0	21,0	0,4	0,3	0,0
Максимальне / Max.	51,5	29,2	2,1	0,5	0,2
Експес / Skewness (Sk)	0,29	0,12	0,10	-0,12	0,29
Асиметрія / Kurtosis (Ku)	-0,73	-0,98	-1,14	0,54	-1,23
Стандартна похибка / Standard error (SE)	0,48	0,14	0,03	0,00	0,00
Точність дослід / Mean percentage error (MPE), %	1,41	0,58	2,79	0,51	3,03
Загальна кількість / Total number (N)	190	190	190	190	190

Середнє значення для усіх модельних дерев цього показника становить 38,5 %. Також значний коефіцієнт варіації виявлено для діаметрів стовбурів дерев – найменший 19,2 % для ділових дерев і найбільший 20,1 % для дров'яних дерев. Середнє значення становить 19,4 %. Також сильно змінним є значення площі поперечного перерізу – найвищі значення коефіцієнта варіації виявлено для напівділових дерев – 37,9 %, а найменше для дров'яних – 34,8 %. Середнє значення варіації для цього показника становить 41,8 %.

Зважаючи на відмінності у статистичних характеристиках біометричних показників дослідимо значущість різниці порівняння середніх значень дослідних даних дерев різних категорій технічної придатності, результати яких наведено у табл. 5.

Табл. 5. Розрахунок значущості різниці порівняння середніх значень дослідних даних дерев різних категорій технічної придатності / Calculation of statistical significance of sample means in research data on trees for different technical suitability types

Показник / Index	dbh	th	V_{st}	f	$g_{1,3}$
ділові – напівділові / technical trees – semi-technical trees					
$S_{technical}$	1587,6	19417,3	42,4	5,0	0,3
$S_{semi-technical}$	613,0	5840,9	11,1	1,9	0,1
t_{value}	2,45	8,30	0,38	0,13	0,03
ділові – дров'яні / technical trees – firewood tree					
$S_{technical}$	1587,6	19417,32	42,4	5,0	0,3
$S_{firewood}$	1299,1	12406,9	23,2	3,6	0,2
t_{value}	2,02	6,70	0,30	0,11	0,03
напівділові – дров'яні / semi-technical trees – firewood tree					
$S_{semi-technical}$	613,0	5840,9	11,1	1,9	0,1
$S_{firewood}$	1299,1	12406,9	23,2	3,6	0,2
t_{value}	2,71	8,37	0,36	0,14	0,03
P	0,05	1,96	1,96	1,96	1,96
	0,01	2,58	2,58	2,58	2,58
	0,001	3,29	3,29	3,29	3,29

Встановлено що існує статистично значуща різниця між середніми значеннями діаметрів дерев і загальних висот дерев усіх категорій технічної придатності. Для dbh значення змінюються від 2,02 до 2,71, що перевищує P -рівень значущості 0,05. Для th аналогічні значення змінюються від 6,70 до 8,37, що перевищує P -рівень значущості 0,001. Для решти показників статистично

значущої різниці між деревами різних категорій технічної придатності не виявлено. Оскільки діаметр та висота стовбура є найголовнішими дендрометричними показниками ростучих дерев, які можна виміряти, принципи поділу їх за категоріями технічної придатності є статистично значущими.

В такий спосіб доцільно проводити дослідження та моделювання залежності видових чисел від діаметра та висоти стовбура окремо для дерев відповідних категорій технічної придатності. Для вибору моделі необхідно встановити характер залежності, тому здійснюємо кореляційний аналіз дослідного матеріалу, результати якого наведено у табл. 6-9.

Табл. 6. Значення коефіцієнтів кореляції між таксаційними показниками для ділових дерев / Values of correlation coefficients of inventory variabilities in technical trees

Показник / Index	dbh, см	th, м	$V_{st}, \text{м}^3$	f	$g_{1,3}, \text{м}^2$
dbh	1,00	—	—	—	—
th	0,43	1,00	—	—	—
V_{st}	0,97	0,51	1,00	—	—
f	-0,35	-0,43	-0,22	1,00	—
g	0,99	0,43	0,97	-0,38	1,00

Табл. 7. Значення коефіцієнтів кореляції між таксаційними показниками для напівділових дерев / Values of correlation coefficients of inventory variabilities in semi-technical trees

Показник / Index	dbh, см	th, м	$V_{st}, \text{м}^3$	f	$g_{1,3}, \text{м}^2$
dbh	1,00	—	—	—	—
th	0,52	1,00	—	—	—
V_{st}	0,98	0,55	1,00	—	—
f	-0,39	-0,63	-0,28	1,00	—
g	0,99	0,43	0,97	-0,38	1,00

Табл. 8. Значення коефіцієнтів кореляції між таксаційними показниками для дров'яних дерев / Values of correlation coefficients of inventory variabilities in firewood trees

Показник / Index	dbh, см	th, м	$V_{st}, \text{м}^3$	f	$g_{1,3}, \text{м}^2$
dbh	1,00	—	—	—	—
th	0,67	1,00	—	—	—
V_{st}	0,98	0,72	1,00	—	—
f	-0,33	-0,45	-0,22	1,00	—
g	0,99	0,55	0,98	-0,36	1,00

Табл. 9. Значення коефіцієнтів кореляції між таксаційними показниками для усіх модельних дерев / Values of correlation coefficients of inventory variabilities in all model wood

Показник / Index	dbh, см	th, м	$V_{st}, \text{м}^3$	f	$g_{1,3}, \text{м}^2$
dbh	1,00	—	—	—	—
th	0,57	1,00	—	—	—
V_{st}	0,98	0,63	1,00	—	—
f	-0,34	-0,45	-0,23	1,00	—
g	0,99	0,55	0,98	-0,36	1,00

Аналізуючи коефіцієнти кореляції, встановлено, що між діаметром стовбура (dbh) та загальною висотою стовбура (th) коефіцієнт кореляції для дерев різних категорій технічної придатності є різний: найнижче значення кореляції визначено у ділових дерев (0,43), середнє – у напівділових (0,52), та найвище – у дров'яних (0,67). Фактично це ще раз підтверджує прийняте рішення щодо моделювання залежності видових чисел від діаметра та висоти стовбура для дерев різних категорій технічної придатності. Значення коефіцієнта варі-

ації між цими показниками для модельних дерев загально становить 0,57 і це значення є близьким до значення аналогічного показника для напівділових дерев, які мають ознаки як ділових, так і дров'яних дерев.

Значення коефіцієнта кореляції між діаметром дерева і об'ємом дерева є достатньо високе і змінюється для дерев різних категорій технічної придатності незначно: 0,97-0,98. Залежність об'єму стовбура від висоти стовбура (th) найнижчим є для ділових дерев (0,51), середнє – для напівділових (0,55), та найвище – для дров'яних (0,72). Значення цього показника для модельних дерев загально становить 0,63.

Залежність між діаметром стовбура і видовим числом є оберненою і неістотно змінюється для дерев різних категорій технічної придатності: 0,33...–0,39. Коефіцієнт кореляції для модельних дерев загально становить 0,34. Коефіцієнт кореляції між висотою стовбура і видовим числом також є оберненою та становить для ділових дерев 0,43, для напівділових – 0,63 та для дров'яних – 0,45. Значення цього коефіцієнта для модельних дерев загально становить 0,45.

Для моделювання залежності було використано кілька рівнянь різних типів:

$$F = f(dbh, th) = a_0 + a_1 \ln^2 dbh + \frac{a_2}{th} + \frac{a_3}{dbh} + \frac{a_4}{dbh \cdot th} + \frac{a_5}{dbh^2 \cdot th} + \frac{a_6}{dbh^2}; \quad (7)$$

$$F = f(dbh, th) = a_0 + \frac{a_1}{th} + \frac{a_2}{dbh} + \frac{a_3}{dbh^2}; \quad (8)$$

$$F = f(dbh, th) = a_0 + \frac{a_1}{th^{a_2}} + \frac{a_3}{dbh^{a_4}}; \quad (9)$$

$$F = f(dbh, th) = a_0 + \frac{a_1}{dbh^2 \cdot th} + \frac{a_2}{dbh \cdot h} + \frac{a_3}{dbh} + \frac{a_4}{th} + \frac{a_5}{dbh^2}; \quad (10)$$

$$F = f(dbh, th) = a_0 + \frac{a_1}{dbh^2 \cdot th} + \frac{a_2}{th} + \frac{a_3}{dbh^2}; \quad (11)$$

але найвище значення коефіцієнта детермінації виявлено для рівняння (9).

Моделювання залежності між видовими числами та діаметром і висотою стовбура здійснено окремо для дерев відповідних категорій технічної придатності та для модельних дерев загально. Статистична оцінка параметрів рівняння (9) наведено у табл. 10. Запропоновані моделі характеризуються достатньо високими коефіцієнтами детермінації, який для дерев різних категорій технічної придатності становить від 0,82 до 0,87. Значущість параметрів моделей підтверджується фактичними значеннями t -критерію, як на 5 %-му рівні, так і на 1 %-му рівні.

Для моделювання та створення табличних даних ми використали рівняння (9), оскільки коефіцієнт детермінації (R^2) цього рівняння був найвищий з-поміж усіх решти. Використавши функції (9) здійснюємо її табулювання для створення таблиць залежності старого видового числа від діаметра та висоти стовбура як для усіх дерев загально, так із поділом за окремими категоріями технічної придатності (табл. 11-14).

Відповідно до значення R^2 , найкраще відповідають емпіричним значенням модельовані значення старого видового числа для ділових дерев, гірше – для дров'яних дерев, а для напівділових дерев – проміжне значення між ними. Це можна пояснити тим, що часто напівділові дерева мають певні показники, які одночасно наближені як до ділових, так і до дров'яних дерев.

Табл. 10. Статистична оцінка параметрів рівняння (9) для залежності видових чисел (f) від діаметра та висоти стовбура (dbh та th) відповідних категорій технічної придатності / Statistical evaluation of equation parameters (9) of relationship between the breast height form factors (f) and dbh and th of respective technical suitability categories

Показник / Index	Фіксований параметр / Fixed parameter					R^2
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	
Ділові дерева						
Оцінка / Estimate	-8,101	8,4467	0,0019	81,022	2,045	0.84
Наближена похибка / Approximate SE	0,068	0,069	0,001	0,215	0,034	–
t_{value}	-119,3	121,80	1,9843	377,20	59,929	–
Наближене P value / Approximate P value	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–
Напівділові дерева						
Оцінка / Estimate	-0,461	0,7974	1,3028	2,6881	0,3586	0.82
Наближена похибка / Approximate SE	0,008	0,011	0,014	0,020	0,007	–
t_{value}	-56,85	74,781	95,585	137,30	50,148	–
Наближене P value / Approximate P value	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–
Дров'яні дерева						
Оцінка / Estimate	-0,086	0,3692	0,0625	0,7561	0,4391	0.83
Наближена похибка / Approximate SE	0,010	0,020	0,008	0,028	0,022	–
t_{value}	-8,972	18,558	7,635	26,557	20,238	–
Наближене P value / Approximate P value	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–
Загальне						
Оцінка / Estimate	0,2384	1,0483	0,9089	1,2178	0,7219	0.87
Наближена похибка / Approximate SE	0,013	0,028	0,026	0,030	0,023	–
t_{value}	18,056	37,862	35,256	40,809	31,419	–
Наближене P value / Approximate P value	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–

Зважаючи на доволі специфічні умови росту на межі поширення соснових типів лісу, тобто на межі між Поліссям та Лісостепом. Для Українського Полісся характерними є типи лісорослинних умов, у яких переважають соснові типах лісорослинних умов: свіжі й вологі бори та свіжі й вологі субори. Наші дослідження здійснено у типі лісорослинних умов свіжий сугруд. Досліджувані нами умови є значно багатшими, з точки зору ґрунтового живлення. Наслідком цього є вищі прирости діаметрів стовбурів (dbh) у цих умовах, порівняно із умовами Полісся. Отже, форма стовбура, одним з головних показників якої є видове число f , теоретично має відрізнятися в різних типах лісорослинних умов.

Для порівняння значення видових чисел, отриманих шляхом використання розроблених нами регресійних рівнянь, використаємо нормативно-довідкові дані для таксації лісів України [30], де є представлено видові числа для дерев сосни звичайної у деревостанах природного та штучного походження. Дані наведено без врахування значення класів бонітету і побудовані за принципами залежності значень видових чисел від діаметра та висоти стовбура окремого дерева. Поділу дерев за категоріями технічної придатності у цих таблицях немає. Також для порівняння використано середнє значення видового числа для соснових деревостанів в Польщі залежно від рівня господарських заходів (А – сильніші, В – слабші) та від класів бонітету типів лісорослинних умов [35]. Порівнюючи отримані значення видових чисел з поділом на категорії технічної придатності

ності було здійснено в межах тих значень діаметра та висоти стовбура, які відповідають обміряним модельним деревам для як для відповідних категорій технічної придатності, так і для усіх дерев загалом.

Порівнюючи модельовані значення видових чисел для дерев загалом із відповідним діапазоном висот та діаметрів для дерев у штучних насадженнях сосни звичайної Полісся України встановлено, що для діаметрів від 20 до 32 см та для висоти стовбура 20 м табличні значення переважають модельовані від 1,0 до 2,8 % [30]. Зі збільшенням висоти до 22 м різниця становить від 2,9 до 4,9 % з перевагою довідкових даних. Подальше збільшення висоти від 24 до 30 м показує перевагу довідкових даних над модельованими від 4,8 до 12,1 %. Порівнюючи модельовані значення видових чисел для ділових дерев із відповідним діапазоном висот та діаметрів для дерев у штучних насадженнях сосни звичайної встановлено, що для діаметрів від 20 до 32 см та для висоти стовбура 20 м наші значення переважають табличні від 6,5 до 7,5 % у порівнянні до довідкових даних. Зі збільшенням висоти до 22 м різниця становить від 0,2 до 2,2 % з перевагою довідкових даних.

Подальше збільшення висоти від 24 до 30 м показує перевагу довідкових даних над модельованими від 6,0 до 18,2 %. Для напівділових дерев модельовані значення видових чисел відрізняються аналогічно до діло-

вих дерев порівняно до нормативних даних у діапазоні висот від 20 до 22 м. Для висотного діапазону від 24 до 30 м притаманні вищі значення для нормативних даних порівняно із модельованими значеннями від 6,4 до 24,2 %. Порівняно із модельованими значеннями видових чисел дров'яних дерев вищими є нормативні дані у діапазоні діаметрів від 22 до 32 см та висот від 20 до 30 м від 6,9 до 17,3 %. Отже, можна зробити висновок, що загалом видові числа для модельованих значень дерев загалом відрізняються не істотно від довідкових даних дерев у штучних деревостанах і є меншими для дерев з аналогічними значеннями висоти та стовбура. Ділові дерева мають нижчі значення модельованих видових чисел максимально на 18,7 %, напівділові – 24,2 %, а дров'яні – 17,3 %.

Порівнюючи модельовані значення із нормативними для природних деревостанів Українського Полісся до уваги брався діапазон висот від 20 до 30 м, а діапазон діаметрів – від 20 до 52 см [30]. Для дерев загалом у цих діапазонах різниця між модельованими значеннями та нормативними збільшується із збільшенням висоти та діаметра стовбура та змінюється від 0,6 до 9,7 %. Для ділових дерев тенденція зміни є аналогічною, але нормативні значення переважають модельовані дещо більше – від 0,1 до 17,1 %.

Табл. 11. Залежність старого видового числа (f) від діаметра (d_{hb}) та висоти (th) стовбура для усіх модельних дерев /
The relationship between breast height form factors (f) and d_{hb} and th of the all models trees

d_{hb} , см	th , м								
	21	22	23	24	25	26	27	28	29
22	0,437	0,432	0,428	0,424	–	–	–	–	–
24	0,432	0,428	0,423	0,420	0,416	–	–	–	–
26	0,428	0,423	0,419	0,415	0,412	0,409	–	–	–
28	0,424	0,420	0,416	0,412	0,408	0,405	0,402	–	–
30	0,421	0,417	0,413	0,409	0,405	0,402	0,399	0,396	0,393
32	0,419	0,414	0,410	0,406	0,403	0,399	0,396	0,393	0,390
34	0,416	0,412	0,408	0,404	0,400	0,397	0,394	0,391	0,388
36	0,414	0,410	0,405	0,402	0,398	0,395	0,392	0,389	0,386
38	0,412	0,408	0,403	0,400	0,396	0,393	0,390	0,387	0,384
40	0,410	0,406	0,402	0,398	0,394	0,391	0,388	0,385	0,382
42	0,409	0,404	0,400	0,396	0,393	0,389	0,386	0,383	0,381
44	0,407	0,403	0,399	0,395	0,391	0,388	0,385	0,382	0,379
46	0,406	0,401	0,397	0,394	0,390	0,387	0,384	0,381	0,378
48	–	–	–	0,392	0,389	0,385	0,382	0,379	0,377
50	–	–	–	–	–	0,384	0,381	0,378	0,375
52	–	–	–	–	–	–	–	0,377	0,374

Табл. 12. Залежність старого видового числа (f) від діаметра (d_{hb}) та висоти (th) стовбура для ділових дерев /
The relationship between breast height form factors (f) and d_{hb} and th of the models technical trees

d_{hb} , см	th , м								
	21	22	23	24	25	26	27	28	29
22	0,460	0,447	0,436	0,426	–	–	–	–	–
24	0,457	0,445	0,433	0,424	0,415	–	–	–	–
26	0,455	0,443	0,431	0,422	0,413	0,405	–	–	–
28	0,453	0,441	0,430	0,420	0,411	0,403	0,396	–	–
30	0,452	0,439	0,428	0,418	0,409	0,401	0,394	0,388	0,382
32	0,450	0,437	0,426	0,416	0,407	0,400	0,392	0,386	0,380
34	0,448	0,436	0,425	0,415	0,406	0,398	0,391	0,384	0,379
36	0,447	0,434	0,423	0,413	0,404	0,397	0,389	0,383	0,377
38	0,446	0,433	0,422	0,412	0,403	0,395	0,388	0,382	0,376
40	0,444	0,432	0,420	0,411	0,402	0,394	0,387	0,380	0,375
42	0,443	0,430	0,419	0,409	0,400	0,393	0,385	0,379	0,373
44	0,442	0,429	0,418	0,408	0,399	0,391	0,384	0,378	0,372
46	0,441	0,428	0,417	0,407	0,398	0,390	0,383	0,377	0,371
48	–	–	–	0,406	0,397	0,389	0,382	0,376	0,370
50	–	–	–	–	–	0,388	0,381	0,375	0,369
52	–	–	–	–	–	–	–	0,374	0,368

Табл. 13. Залежність старого видового числа (f) від діаметра (dhb) та висоти (th) стовбура для напівділових дерев /
The relationship between breast height form factors (f) and dhb and th of the models semi-technical trees

dhb , см	th , м								
	21	22	23	24	25	26	27	28	29
22	0,456	0,441	0,427	0,413	—	—	—	—	—
24	0,454	0,439	0,425	0,412	0,399	—	—	—	—
26	0,453	0,438	0,424	0,411	0,398	0,386	—	—	—
28	0,452	0,437	0,423	0,410	0,397	0,385	0,374	—	—
30	0,451	0,436	0,422	0,409	0,396	0,384	0,373	0,362	0,352
32	0,450	0,435	0,421	0,408	0,395	0,383	0,372	0,362	0,351
34	0,450	0,435	0,420	0,407	0,395	0,383	0,372	0,361	0,351
36	0,449	0,434	0,420	0,407	0,394	0,382	0,371	0,360	0,350
38	0,449	0,433	0,419	0,406	0,394	0,382	0,371	0,360	0,350
40	0,448	0,433	0,419	0,406	0,393	0,381	0,370	0,359	0,349
42	0,448	0,433	0,419	0,405	0,393	0,381	0,370	0,359	0,349
44	0,447	0,432	0,418	0,405	0,392	0,381	0,369	0,359	0,348
46	0,447	0,432	0,418	0,405	0,392	0,380	0,369	0,358	0,348
48	—	—	—	0,404	0,392	0,380	0,369	0,358	0,348
50	—	—	—	—	—	0,380	0,368	0,358	0,348
52	—	—	—	—	—	—	—	0,358	0,347

Табл. 14. Залежність старого видового числа (f) від діаметра (dhb) та висоти (th) стовбура для дров'яних дерев /
The relationship between breast height form factors (f) and dhb and th of the models firewood trees

dhb , см	th , м								
	21	22	23	24	25	26	27	28	29
22	0,432	0,428	0,425	0,421	—	—	—	—	—
24	0,427	0,423	0,420	0,416	0,413	—	—	—	—
26	0,422	0,419	0,415	0,412	0,409	0,406	—	—	—
28	0,419	0,415	0,411	0,408	0,405	0,402	0,399	—	—
30	0,415	0,411	0,408	0,404	0,401	0,399	0,396	0,393	0,391
32	0,412	0,408	0,405	0,401	0,398	0,396	0,393	0,390	0,388
34	0,409	0,406	0,402	0,399	0,396	0,393	0,390	0,388	0,385
36	0,407	0,403	0,400	0,396	0,393	0,390	0,388	0,385	0,383
38	0,405	0,401	0,398	0,394	0,391	0,388	0,386	0,383	0,381
40	0,403	0,399	0,396	0,392	0,389	0,386	0,384	0,381	0,379
42	0,401	0,397	0,394	0,390	0,387	0,385	0,382	0,379	0,377
44	0,400	0,396	0,392	0,389	0,386	0,383	0,380	0,378	0,375
46	0,398	0,394	0,391	0,387	0,384	0,381	0,379	0,376	0,374
48	—	—	—	0,386	0,383	0,380	0,377	0,375	0,373
50	—	—	—	—	—	0,379	0,376	0,374	0,371
52	—	—	—	—	—	—	—	0,372	0,370

Для напівділових дерев різниця між модельованими і нормативними даними також є на користь нормативних і змінюється від 0,7 до 23,4 %. Для дров'яних дерев залежність аналогічна і нормативні дані переважають модельовані від 10,8 до 17,3 %. Порівнюючи модельовані дані для видових чисел дерев загалом із нормативними даними, розробленими для деревостанів сосни звичайної в Польщі, встановлено, для деревостанів з рівнем господарських заходів А та І^а класу бонітету для дерев з аналогічними показниками висоти та діаметра стовбура довідкові перевищують модельовані в межах від 13,7 до 15,8 %, для І – від 12,1 до 15,4 %, ІІ – від 11,0 до 14,6 %, а для ІІІ – від 10,9 до 14,3 % [35]. Для деревостанів з рівнем господарських заходів В та І^а класу бонітету для дерев з аналогічними показниками висоти та діаметра стовбура довідкові перевищують модельовані в межах від 4,8 до 9,7 %, для І – від 9,1 до 13,6 %, ІІ – від 12,9 до 16,4 %, а для ІІІ – від 16,7 до 17,6 % [35].

Порівнюючи модельовані дані для видових чисел ділових дерев із нормативними даними встановлено, що для деревостанів з рівнем господарських заходів А та І^а класу бонітету для дерев з аналогічними показниками висоти та діаметра стовбура довідкові перевищують модельовані в межах від 14,5 до 22,7 %, для І – від

10,6 до 20,9 %, ІІ – від 7,7 до 17,7 %, а для ІІІ – від 5,4 до 14,7 %. Для деревостанів з рівнем господарських заходів В та І^а класу бонітету для дерев з аналогічними показниками висоти та діаметра стовбура довідкові перевищують модельовані в межах від 5,6 до 16,5 %, для І – від 11,7 до 20,5 %, ІІ – від 8,6 до 14,8 %, а для ІІІ – від 10,8 до 19,6 % [35].

Порівнюючи модельовані дані для видових чисел напівділових дерев із нормативними даними встановлено, що для деревостанів з рівнем господарських заходів А та І^а класу бонітету для дерев з аналогічними показниками висоти та діаметра стовбура довідкові перевищують модельовані в межах від 14,9 до 27,8 %, для І – від 10,9 до 24,2 %, ІІ – від 8,2 до 19,1 %, а для ІІІ – від 6,1 до 15,0 %. Для деревостанів з рівнем господарських заходів В та І^а класу бонітету для дерев з аналогічними показниками висоти та діаметра стовбура довідкові перевищують модельовані в межах від 6,1 до 21,0 %, для І – від 11,0 до 23,0 %, ІІ – від 12,0 до 22,6 %, а для ІІІ – від 11,3 до 20,5 % [35].

Порівнюючи модельовані дані для видових чисел дров'яних дерев із нормативними даними встановлено, що для деревостанів з рівнем господарських заходів А та І^а класу бонітету для дерев з аналогічними показниками висоти та діаметра стовбура довідкові перевищу-

ють модельовані в межах від 20,4 до 21,7 %, для I – від 19,2 до 21,5 %, II – від 18,3 до 20,9 %, а для III – від 18,2 до 20,7 %. Для деревостанів з рівнем господарських заходів B та I^a класу бонітету для дерев з аналогічними показниками висоти та діаметра стовбура довідкові перевищують модельовані в межах від 12,4 до 16,2 %, для I – від 16,2 до 19,9 %, II – від 19,9 до 22,5 %, а для III – від 22,1 до 23,7 % [35].

Отже, можна дійти висновку, що для умов Українського Полісся характерні є вищі значення видових чисел дерев сосни звичайної як для деревостанів у штучних деревостанах, так і у деревостанах природного походження. Зважаючи на показники варіації наявні різниці у формуванні стовбурів для дерев різних категорій технічної придатності, які поділяються за категоріями технічної придатності. Модельовані значення видових чисел для дерев загалом порівняно незначно відрізняються від для таблицьних як для дерев у природних деревостанах. Дещо більша різниця виявлена між модельованими значеннями у штучних деревостанах [30].

Нормативні значення видових чисел для деревостанів із різним рівнем господарських заходів у Польщі також показав різницю із модельованими значеннями для деревостанів на межі поширення соснових типів лісу в Україні [35]. В цьому випадку встановлено, що дерева з аналогічними значеннями діаметра та висоти стовбура для деревостанів із рівнем інтенсивності господарських заходів A із модельованими значеннями для дерев загалом мають вищі значення видових чисел, а різниця зменшується зі зниженням класу бонітету. Для деревостанів із рівнем інтенсивності господарських заходів B із зниженням класу бонітету навпаки – спостерігається збільшення різниці між нормативними даними та модельованими значеннями. Для ділових дерев простежується тенденція до зміни різниці у значеннях видових чисел для модельованих та нормативних значень аналогічна до трендів для дерев загалом. Але значення різниці між модельованими та нормативними значеннями для цього варіанту є нижчими, порівняно із попередньою групою дерев. Для напівділових дерев прослідковується аналогічна тенденція, але мінімальні та максимальні значення різниці між модельованими і нормативними значеннями є вищі, порівняно із групою ділових дерев. Для дров'яних дерев діапазон між максимальним і мінімальним значенням різниці модельованих і нормативних значень є найменший, але ці граничні значення істотно переважають аналогічні для дерев загалом та для ділових і для напівділових дерев.

Обговорення результатів дослідження. Практично в усіх дослідженнях при моделюванні регресійної функції оцінювали кореляції між чинником форми (f), діаметром на висоті 1,3 м (dbh) і висотою дерева (th) [21, 36, 38]. Параметри регресійних моделей оцінювали за допомогою методу найменших квадратів, який базується на зменшенні суми квадратів зсувів для залежної змінної (f) від значень, передбачених моделлю [7, 8, 21]. Для розроблення регресійних моделей, що описують залежність f від параметрів дерева, М. Немчик і А. Брухвальд використовували кілька рівнянь залежності від dbh та th , розроблені ними для селекційних гібридів тополі [24]; J. Pollanschutz запропонував функцію виду (7), яку використав для опису f для дуба звичайного та для твердолистяних порід [26], коротка шведська функція старого видового числа (8) була використана

для опису як дерев шпилькових порід північної частини Європи [20, 26], так і для шпилькових і листяних порід Бутану [36], функція старого видового числа Майєра (10) [26, 36] та австралійська функція Ф. Еверта (11) також знайшли широке застосування для моделювання залежностей старого видового числа для порід різних кліматичних зон та континентів [28].

Разом з тим переважна більшість авторів використовували доволі вузький діапазон дослідних даних [7, 20, 25]. Як правило, більшість із дослідників використовували різні функції залежності старого видового числа від dbh та th та за результатами статистичного оцінювання параметрів рівняння вибирали об'єктивно кращі. За аналогічним алгоритмом діяли і ми, але з уваги на прагнення універсалізувати формулу для дерев різних категорій технічної придатності кращі показники відповідності модельованих значень емпіричним показала функція (9). Зважаючи на те, що результатами багатьох досліджень встановлено чи доведено істотність впливу розташування оточуючих дерев та інші чинники (тип лісорослинних умов, відносна повнота та інші таксаційні показники), які впливають на ріст, призводять до відмінностей у приростах dbh та th [1, 4, 5], ми у своїх дослідженнях обмежилися тільки одним типом лісорослинних умов – свіжим сугрудом, але із значною кількістю модельних дерев. Дослідження особливостей старого видового числа з урахуванням категорій технічної придатності практично не здійснювали.

Отже, за результатами виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – вперше для регіону здійснено дослідження залежності старого видового числа від діаметра та висоти стовбура для дерев сосни звичайної різних категорій технічної придатності.

Практична значущість результатів дослідження – результати дослідження залежності старого видового числа від діаметра та висоти стовбура сосни звичайної на межі поширення соснових типів лісу в Україні подані у вигляді регресійних рівнянь на підставі яких розроблено таблиці вказані залежності як для дерев різних категорій технічної придатності, так і загалом для модельних дерев сосни звичайної.

Висновки / Conclusions

Для реалізації поставленої мети дослідження було здійснені комплексні дослідження дендрометричних показників дерев сосни звичайної з їхнім поділом за категоріями технічної придатності а також дослідження впливу діаметра на висоті 1,3 м та загальної висоти стовбура на старе видове число. На підставі виконаних досліджень можна зробити висновки, що визначають особливості моделювання видових чисел дерев сосни звичайної в умовах свіжого сугрудку:

1. Здійснено обмір модельних дерев, поділ за категоріями технічної придатності та визначено такі дендрометричні показники: dbh – діаметр на висоті 1,3 м, см; th – загальна висота стовбура, м; V_{st} – об'єм стовбура, м³; f – старе видове число; $g_{1,3}$ – площа поперечного перерізу на висоті 1,3 м, м².
2. Здійснено статистичний та кореляційний аналіз обчислених дендрометричних показників. За результатами здійснення аналізів підтверджено можливість використовувати dbh та th для моделювання залежності від них

старого видового числа та встановлено характер цих залежностей.

3. За аналізом середніх таксаційних показників виявлено відмінність певних дендрометричних показників у дерев різних категорій технічної придатності: ділових, напівділових та дров'яних. Статистична оцінка діаметрів та висот стовбурів дерев відповідних категорій технічної придатності за допомогою *t*-тесту, на 5 %-му рівні значущості, підтвердила наявність відмінностей. Виявлено також особливості результатів кореляційного аналізу між таксаційними показниками для дерев різних категорій технічної придатності. Отже, моделювання залежності видових чисел доцільно виконувати від висоти та діаметра стовбура.
4. Отримані моделі (9), опрацьовані загалом для дерев сосни звичайної і окремо за категоріями технічної придатності засвідчили досить високу точність. Отримані рівняння здатні ефективно відображати динаміку видових чисел.
5. Розроблені на підставі отриманих моделей таблиці залежності старого видового числа як для дерев сосни звичайної загалом, так і за окремими категоріями технічної придатності, дають можливість підвищити точність визначення об'ємів стовбурів у корі в умовах свіжого сугруду на території Волинської височини.

References

1. Aakala, T., Berninger, F., & Starr, M. (2018). The roles of competition and climate in tree growth variation in northern boreal old-growth forests. *Journal of Vegetation Sciences*, 29, 1040–1051. <https://doi.org/10.1111/jvs.12687>
2. Biging, G. S., & Dobbertin, M. (1995). Evaluation of competition indices in individual tree growth models. *Forest Science*, 41(2), 360–377. URL: <https://academic.oup.com/forestscience/article-abstract/41/2/360/4627255>
3. Burkhart, H. E., & Tomé, M. (2008). Modeling Forest Trees and Stands. Textbook, 458 p. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3170-9>
4. Canham, C. D., Lepage, P. T., & Coates, K. D. (2004). A neighborhood analysis of canopy tree competition: Effects of shading versus crowding. *Canadian Journal*, 34, 778–787. <https://doi.org/10.1139/x03-232>
5. Coomes, D.A., Allen, R.B. (2007). Effects of size, competition and altitude on tree growth. *Journal of Ecology*, 95, 1084–1097. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2007.01280.x>
6. Ďurský, J. (2000). Einsatz von Waldwachstumssimulatoren für Bestand, Betrieb und Großregion. Dissertation, Technische Universität München, 223 p. URL: https://waldwachstum.wzw.tum.de/fileadmin/publications/Dursky_2001.pdf
7. Endalamaw, B., Nigatu, A., Ferede, T., & Kasa G. (2019). Developing A Form Factor Function for Acacia Decurrens in Southwestern Amhara National Regional State, Ethiopia. *The International Research Journal of Debre Berhan University*, 3(1), 126–138. URL: <https://www.researchgate.net/publication/340078040>
8. Evert, F. (1969). Estimating stand volume by measuring form class without measuring diameters. *Forest Science*, 15(2), 145–148. <https://doi.org/10.1093/forestscience/15.2.145>
9. Fonweban, J., Gardiner, B., & Auty, D. (2012). Variable-top merchantable volume equations for Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in Northern Britain. *Forestry*, 85(2), 237–253. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpr069>
10. Fonweban, J., Gardiner, B., Macdonald, E., & Auty, D. (2011). Taper functions for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in Northern Britain. *Forestry*, 84(1), 49–60. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpq043>
11. Gadov K., Goroshko, M. P., & Korol, M. M. (2003). Quantitative description of spruce crowns in the Ukrainian Carpathian Mountains. *Scientific Bulletin of USUFW*, 13(3), 264–273. [In Ukrainian]. URL: https://nv.ntu.edu.ua/Archive/2003/13_3/264_Gadov_13_3.pdf
12. Gromyak, O. Yu., Hrynyk, H. H., & Yarosh, M. I. (2013). Research of morphological-assessments structure features of pine forests stands in subir site conditions. *Scientific Bulletin of UNFU*, 23(1), 84–89. [In Ukrainian]. URL: https://nv.ntu.edu.ua/Archive/2013/23_1/84_Gro.pdf
13. Gromyak, O. Yu., Hrynyk, H. H., Mosejchuk, P. P., & Shishkin, A. V. (2014). Research and Statistical Analysis of Morphological and Assessment Structure of Scotch Pine Forest Stands in Sugrud Type Side Conditions. *Scientific Bulletin of UNFU*, 24(1), 39–44. [In Ukrainian]. URL: https://nv.ntu.edu.ua/Archive/2014/24_1/39_Gro.pdf
14. Hasenauer, H., & Monserud, R. A. (1996). A crown ratio model for Austrian forests. *Forest Ecology and Management*, 84, 49–60. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(96\)03768-1](https://doi.org/10.1016/0378-1127(96)03768-1)
15. Kashpor, S. M., & Storchynskyi, A. A. (Eds). (2013). *Forest inventory handbook*. Kyiv: Vinichenko, 496 p. [In Ukrainian].
16. Kershaw, J. A., Ducey, M. J., Beers, T., & Hush, B. (2015). *Forest Mensuration*. (5th ed.). Hoboken, NJ, USA: Wiley-Blackwell. 36 p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1166.4081>
17. Kofman, B. (1986). *Growth and Tree Form*. Novosibirsk: Science, 211 p. [In Russian].
18. Li, R., & Weiskittel, A. R. (2010). Comparison of model forms for estimating stem taper and volume in the primary conifer species of the North American Acadian Region. *Annals of Forest Science*, 67(3), 302–302. <https://doi.org/10.1051/forest/2009109>
19. Li, R., & Weiskittel, A. R. (2011). Estimating and predicting bark thickness for seven conifer species in the Acadian Region of North America using a mixed-effects modeling approach: comparison of model forms and subsampling strategies. *European Journal of Forest Research*, 130, 219–233. <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0423-y>
20. Luoma, V., Saarinen, N., Kankare, V., Tanhuanpää, T., Kaartinen, H., Kukko, A., Holopainen, M., Hyypä, J., & Vastaranta, M. (2019). Examining changes in stem taper and volume growth with two-date 3D point clouds. *Forests*, 10, 382. <https://doi.org/10.3390/f10050382>
21. Mochamed, N. M. (2016). Determining The Best Form Factor Equation for Some Tree Species Commonly Used in Egypt to Fit The Actual Volume. *Alexandria Journal of Agricultural Sciences*, 61(2), 83–91. <https://doi.org/10.21608/alexja.2016.244428>
22. Muukkonen, P. (2007). Generalized allometric volume and biomass equations for some tree species in Europe. *Europien Journal of Forest Research*, 126, 157–166. <https://doi.org/10.1007/s10342-007-0168-4>
23. Nagel, J. (1999). Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines waldwachstumskundlichen Simulationssystems für Nordwestdeutschland. Band 128, I. D. Sauerländers Verlag, Frankfurt am Main, 122 p. URL: <https://www.isbn.de/buch/9783793951285/konzeptionelle-ueberlegungen-zum-schrittweisen-aufbau-eines-waldwachstumskundlichen-simulationssystems-nordwestdeutsche>
24. Niemczyk, M., & Bruchwald, A. (2017). Wzory do określania pierścniowej liczby kształtu mieszańców selekcyjnych topoli [Equations for diameter at the breast height form factor of poplar and its hybrids]. *Sylvan*, 161(5), 413–421. <https://doi.org/10.26202/sylvan.2017020>
25. Petrin, R., & Bogdanov, K. (2017). Comparative investigations of the form factor for different tree species. Uniform average form factor. *Management and sustainable development 2/2017* (63), 55–60. URL: https://jmsd.bg/files/articles/63/63-10_R_Petrin_K_Bogdanov.pdf
26. Pollanschütz, J. (1965). A new method of determining stem form factors of standing trees. In: *Proceedings of the 2d conference of the International Advisory Group of Forest Statisticians, I.U.F.R.O.*; 1965 September 27-October 1; Stockholm, Sweden. Res. Note 9. Stockholm, Sweden: Institutionen för Skoglig Matematisk Statistik, Skogshögskolan, pp. 266–276.
27. Poudel, K. P., Temesgen, H., & Gray, A. N. (2018). Estimating upper stem diameters and volume of Douglas-fir and Western hemlock trees in the Pacific northwest. *Forest Ecosystems*, 5(1), pp. 12. <https://doi.org/10.1186/s40663-018-0134-2>
28. Pretzsch, H. (1992). Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. FFM 115, 332 p.
29. Pukman, V. V., & Hrynyk, H. H. (2013). Models dynamics of basic morphological crown indexes of maple-sycamore trees in

- sycamore forests stands of Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of UNFU*, 23(17). 58–66. [In Ukrainian]. URL: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_17/58_Puk.pdf
30. Shvidenko, A. Z., Storchynskyy, A. A., Savych, Yu. N., & Kashpor, S. N., (1987). *Normative and reference materials for taxing forests of Ukraine and Moldova*. Kyiv: Urozhay, 560 p
 31. Socha, J. (2002). A taper model for Norway Spruce (*Picea Abies* (L.) Karst.). *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 5(2), pp. 19 URL: <http://www.ejpau.media.pl/volume5/issue2/forestry/art-03.html>
 32. SOU 02.02-37-476:2006. (2006). The trial plots of the forests inventoried. Installation method. Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine, 32 p. [In Ukrainian]. (Actual as of: 2007-05-01)
 33. Sterba, H., & Monserud, R. A. (1997). Applicability of the forest stand growth simulator PrognAus for the Austrian part of the Bohemian Massif. *Ecological Modelling*, 98, 23–34. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(96\)01934-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(96)01934-5)
 34. Svychnyk, V. A., Kashpor, S. M., & Myroniuk, V. V. (2014). Mathematical Models of Tree Stems Volumes of Main Forest-Forming Species of Ukraine. *Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*, 198(2), 58–64. [In Ukrainian].
 35. Szymkiewicz, B. (2001). *Tablice zasobności i przyrostu drzewostanów ważniejszych gatunków drzew leśnych*. Warszawa. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, 179 p.
 36. Tenzin, J., Wangchuk, T., & Hasenauer, H. (2017). Form factor functions for nine commercial tree species in Bhutan. *Forestry*, 90, 359–366. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpw044>
 37. Tirang, T., Khasanah, L., Rahaju, S., & Priyanto, M. (2021). Form factors and volume models for estimating tree bole volume of mahogany at community forests in central Java. *Indonesian Journal of Forest Research*, 8(2), 199–211. URL: <https://media.neliti.com/media/publications/417569-form-factors-and-volume-models-for-estim-86b7141d.pdf>
 38. Turski, M. (2005). Dalsze badania nad zmiennością z wiekiem właściwych liczb kształtu dębu oraz zależnością pomiędzy nimi a niektórymi cechami wymiarowymi drzew. *Acta Scientiarum Polonorum*, 4(2), 123–133. URL: https://www.forestry.actapol.net/pub/10_2_2005.pdf
 39. Wątroba, J. (2011). Prosto o dopasowaniu prostych, czyli analiza regresji liniowej w praktyce. In: *Analiza danych w programie STATISTICA – przegląd*. Statsoft Polska, 31–44. URL: https://media.statsoft.pl/_old_dnn/downloads/analiza_regresji liniowej_w_praktyce.pdf
 40. Yeshchenko, V. O., Kopytko, P. G., Kostogryz, P. V., & Opryshko, V. P. (2014). Basics of scientific research in agronomy. Textbook. Vinnytsia: "Edelweiss and K" Publishing House, 332 p. [In Ukrainian]. URL: <https://z-lib.io/book/16420705>

V. V. Kyslyuk, H. H. Hrynyk

Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine

THE BREAST HEIGHT FORM FACTORS OF SCOTS PINE TREES IN FRESH MIXED BROAD-LEAF FORESTS ON THE BORDER OF THE DISTRIBUTION OF PINE FOREST TYPES IN THE VOLHYNIAN UPLAND

The study of the characteristics of the growth and development of trees and stands of Scots pine on the border of the distribution of pine forest types in the conditions of mixed broad-leaf forests and broad-leaf forests has not been sufficiently researched to date. One of the most important dendrometric indicators for an individual tree is its volume, and for tree stands – stock per unit area. Increasing the accuracy of the calculation of these indicators is one of the decisive indicators for assessing the correctness of the implementation of economic measures. The object of the study is the peculiarities of the formation of breast height form factors of Scots pine trees in the conditions of fresh mixed broad-leaf forests on the border of the distribution of pine forest types in the Volhynian Upland. The subject of the study is the methods and means of analysis and modeling of the dependence of the breast height form factors of Scots pine trees of different categories of technical suitability on the diameter and height of the trunk in the tongues of fresh mixed broad-leaf forests on the border of the distribution of pine forest types of the Volhynian Upland. The purpose of the work is to establish the peculiarities of the breast height form factors of Scots pine trees in the stands on the border of the distribution of pine forest types in the Volhynian Upland. Trial plots were laid out in stands dominated by Scots pine and a small proportion of admixtures – pedunculate oak and silver birch. The age of the stands was in the range of 87–95 years, the relative stocking was 0.55–0.72, the total stock of wood in the plots was 267–357 m³·ha⁻¹. Scots pine trees grew mainly in the I and I^a classes of bonitation, oak – mainly in the II–III, and birch – in the III. The trees were divided into categories of technical suitability. Tree trunk diameters were measured at respective heights in 1-m increments from the base of the trunk to the base of the top and diameter at breast height (*dbh*). A total of 190 model trees were measured. According to the results of the study of tree trunks of different categories of technical suitability, their dendrometric indicators were determined, in particular: average values of diameter at breast height (*dbh*), cross-sectional area at breast height (*g_{1.3}*), total trunk height (*th*), breast height form factors (*f*) and volumes (*v*). A statistical and correlational analysis of the research material was carried out both for all model trees in general and within the relevant categories of technical suitability. Statistically substantiated differences in the dendrometric index of the studied trees of the corresponding categories of technical suitability were established. Based on the results of studying the dependence of *f* on the *dbh* and *th*, models of such dependences were developed both for trees in general and for trees of the corresponding categories of technical suitability. The obtained models are the basis for the creation of reference materials for trees in Scots pine forests-stands on the edge of their distribution in the type of site conditions (TSC) – fresh broad-leaf forests. On the basis of the developed regression equations, tables of the dependence of the *f* on the *dbh* and *th* in the studied TSC on the border of the distribution of pine forest types were developed. The obtained results are compared with domestic data for artificial and natural stands of Scots pine in Ukraine and Polish normative and reference materials for Scots pine forests stands with different levels of management. On the basis of the performed research, two main conclusions can be made, which determine the special. The following are the models of breast height form factors of Scots pine trees in the studied TSC: 1. According to the analysis of the average dendrometric indicators, differences were revealed between trees of different categories of technical suitability: technical, semi-technical and firewood trees. Statistical assessment of *dbh* and *th* of the corresponding categories of technical suitability using the *t*-test, at the 5 % level of significance, under there was a strong presence of differences. Peculiarities of the results of the correlation analysis between dendrometric indicators for trees of different categories of technical suitability were also revealed. Thus, it is advisable to model the dependence of breast height form factors on the *dbh* and *th*. 2. The obtained models (9), processed in general for all trees and separately by categories of technical suitability, proved quite high accuracy. The obtained equations are capable of effectively describing the dynamics of breast height form factors.

Keywords: categories of technical suitability; dendrometric indicators; statistical regularity; types of site conditions; Ukrainian Polissia; Forest Steppe of Ukraine.