

## CURRENT STATE AND PRODUCTIVITY OF MODAL BEECH STANDS IN UKRAINE

O. Bala

**Abstract.** Beech forests are distributed in a large area, both mountainous and plain territory of Ukraine. Investigation of the patterns of growth of modal stands requires a detailed study of their existing condition. Based on the stand-wise database of PA “Ukrderzhlisproekt” (as of 01.01.2011) we have analyzed distribution, current state and detailed mensurational characteristics of beech stands that grow in Ukraine. We have calculated the main mean mensurational indices for beech stands and conducted a detailed analysis of growth of this tree species in terms of origin, type of site conditions, age structure, site index classes, relative stocking and share of the tree species in stand composition. The results show that beech stands grow mainly in rich soil fertility and wet soil moisture conditions (most common conditions  $D_2$ ,  $D_3$ ,  $C_2$  and  $C_3$ ) in which it have the highest productivity. In terms of stand origin, natural seed stands are dominant (87.6 % of the area of beech forests). Distribution by age structure is dominated by middle-aged stands with their considerable dominance of VI, VII and VIII classes of age. The mean site index class equals I,1, mean relative stocking – 0,69, mean growing stock –  $318 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ .

**Keywords:** European beech, Oriental beech, modal stands, origin of stands, type of site conditions, site index class, relative stocking.

УДК 630\*52:582.632.2

## МЕТОДИ ОБРОБКИ ДОСЛІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТВІРНОЇ СТОВБУРІВ ДУБА ЗВИЧАЙНОГО

В. Б. БИЧЕНКО, здобувач \*

Національний університет біоресурсів і природокористування  
України

E-mail: vladimirbb@i.ua

**Анотація.** Проаналізовано різні методи визначення об'єму деревного стовбура в Україні та за кордоном. Обґрунтовано доцільність визначення об'єму стовбура на основі математичної моделі твірної. Визначено етапи підготовки дослідних даних для моделювання твірної стовбура. На прикладі дослідного матеріалу, зібраного в державному підприємстві «Смілянське лісове господарство», проведено узагальнення даних про форму стовбурів дуба за допомогою коефіцієнтів форми у відносній системі координат. Шляхом побудови діаграми та за допомогою  $t$ -критерію Стьюдента встановлено, що немає відмінностей між показниками форми модельних дерев, які належать до різних розрядів висот. За робастним методом, оснований на міжквартильній відстані з

\* Науковий керівник – доктор сільськогосподарських наук, професор П. І. Лакида.

© В. Б. Биченко, 2017

побудовою діаграми розмаху (*box plot*), проведено перевірку дослідного матеріалу на наявність нетипових даних (викидів). Для виявлення викидів обґрунтовано необхідність одночасного аналізу коефіцієнтів форми та видових чисел модельних дерев. Проаналізовано зміну основних статистик вибірки у випадку вилучення виявлених нетипових даних.

**Ключові слова:** твірна стовбура, коефіцієнт форми, *t*-критерій Стьюдента, робастні методи, міжквартильна відстань, *box plot*, нетипові дані.

Визначення об'єму деревного стовбура є одним із важливих завдань лісотаксаційної науки, і на сьогодні існує декілька методичних підходів для його вирішення [1; 2; 3; 9]: шляхом побудови багатомірних моделей ( $V=\psi(d,h,...)$ ), через твірну деревного стовбура ( $V=\int g \cdot dx$ ) та застосування показників форми і повнодеревності, зокрема старого видового числа ( $V=ghf$ ).

Перший підхід є досить поширеним як у країнах Європи, так і в Україні. Обґрунтування параметрів багатомірних моделей нині не є складним завданням, однак основним недоліком цього підходу є неможливість забезпечення нормальності розподілу усіх об'ємоутворювальних факторів, що ставить під сумнів адекватність цих моделей [8].

У багатьох країнах Європи та США об'єм стовбура і його окремих частин встановлюють переважно за допомогою твірної.

В Україні частіше використовують третій підхід – за класичною формулою лісової таксації. За цією методикою було опрацьовано чинні в лісовій галузі нормативи об'єму стовбурів [4].

Визначення об'єму стовбура на основі математичної моделі твірної має низку очевидних переваг порівняно з іншими зазначеними методами. На основі твірних можливо визначити не лише об'єм стовбура, а і його довільні частини. Знаючи, наприклад, протяжність ділової частини стовбурів різних категорій можна визначити вихід ділової деревини не тільки з ділових стовбурів, а й із напівділових і дров'яних. Крім того, можна визначити структуру виходу ділової деревини в розрізі сортів, діаметрів та довжин за різних сценаріїв розкрязування. Цей метод побудови таблиць розподілу об'єму ділових стовбурів («адаптивна промислова сортиментація», розвинув О. В. Поляков) ліг в основу чинних нормативів [4; 7].

Закономірності при побудові твірної в Україні в різний час досліджували: О. В. Поляков та М. О. Поляков [7], В. В. Миронюк [5]. Однак на сьогодні не опрацьовано чітку методику обробки вибірових даних і обґрунтованість при цьому тих чи тих статистичних методів. Ці обставини спонукають провести наукові дослідження в частині обробки дослідного матеріалу для його подальшого використання при побудові адекватної математичної моделі твірної.

**Мета досліджень:** визначити метод підготовки та обробки дослідних даних для подальшого математичного моделювання твірної деревного стовбура.

**Матеріал і методика досліджень.** Первинну дослідну інформацію отримали в результаті обміру 98 модельних дерев дуба (МД) на дев'яти тимчасових пробних площах у лісовому фонді державного підприємства «Смілянське лісове господарство». Під час польових досліджень використовували загальновідомі в лісовій таксації методики. Обробку вихідних даних здійснювали з використанням табличного процесора MS Excel та програми PERTA, розробленої кафедрою лісової таксації та лісовпорядкування НУБіП України. Загальну характеристику дослідного матеріалу наведено в табл. 1.

### 1. Таксаційні показники модельних дерев та їх статистики

Статистики *	Таксаційні показники **					
	$d_{1,3}$ , см	$h$ , м	$V_{BK}$ , м <sup>3</sup>	$q_2$	$q_{0,5}$	$f$
<i>max</i>	61,8	33,5	3,720	0,867	0,903	0,614
<i>min</i>	20,2	19,0	0,371	0,491	0,527	0,389
<i>M</i>	33,0	24,6	1,154	0,734	0,783	0,510
$\sigma$	8,9	3,0	0,7	0,064	0,063	0,046
<i>V</i>	27,0	12,0	60,4	8,7	8,0	9,0
<i>A</i>	1,155	0,448	1,661	-1,250	-1,507	-0,394
<i>E</i>	1,069	-0,206	2,635	2,230	2,909	0,103

\* *max*, *min* – максимальне та мінімальне значення; *M* – середнє арифметичне значення;  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення; *V* – коефіцієнт варіації, %; *A* – асиметрія; *E* – ексцес.

\*\*  $d_{1,3}$  – діаметр у корі на висоті 1,3 м, см;  $h$  – висота, м;  $V_{BK}$  – об'єм стовбура в корі, м<sup>3</sup>;  $q_2$  – коефіцієнт форм;  $q_{0,5}$  – клас форми;  $f$  – старе видове число.

**Результати досліджень.** При підготовці статистичних даних для роботи з певною моделлю необхідно вирішити декілька завдань:

1. Забезпечити відповідність цих даних моделі та спільну методичну базу для їх оцінювання: отримані експериментальні дані мають утворювати взаємно узгоджений набір, з однорідною структурою одиниць сукупності. Статистичні дані, яких бракує, можна розрахувати за іншими показниками, якщо між ними існує певна функціональна залежність.

2. Перевірити належність даних одній генеральній сукупності.

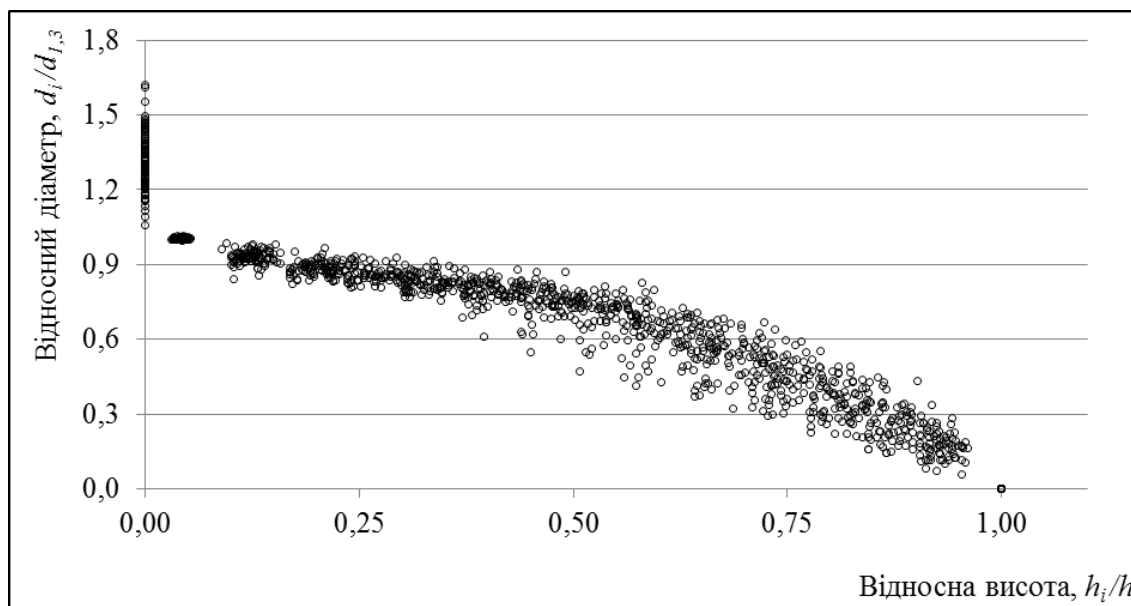
3. Провести виявлення та вилучення (за наявності) нетипових спостережень, які можуть призвести до зміщення оцінок і, як наслідок, до спотворення результатів моделювання.

Для вирішення першого завдання проведено узагальнення даних про форму стовбурів за допомогою коефіцієнтів форми у відносній системі координат. Для цього значення діаметрів і висот кожної секції МД було перераховано у відносних одиницях  $d_i/d_{1,3}$  та  $h_i/h$  відповідно (рис. 1).

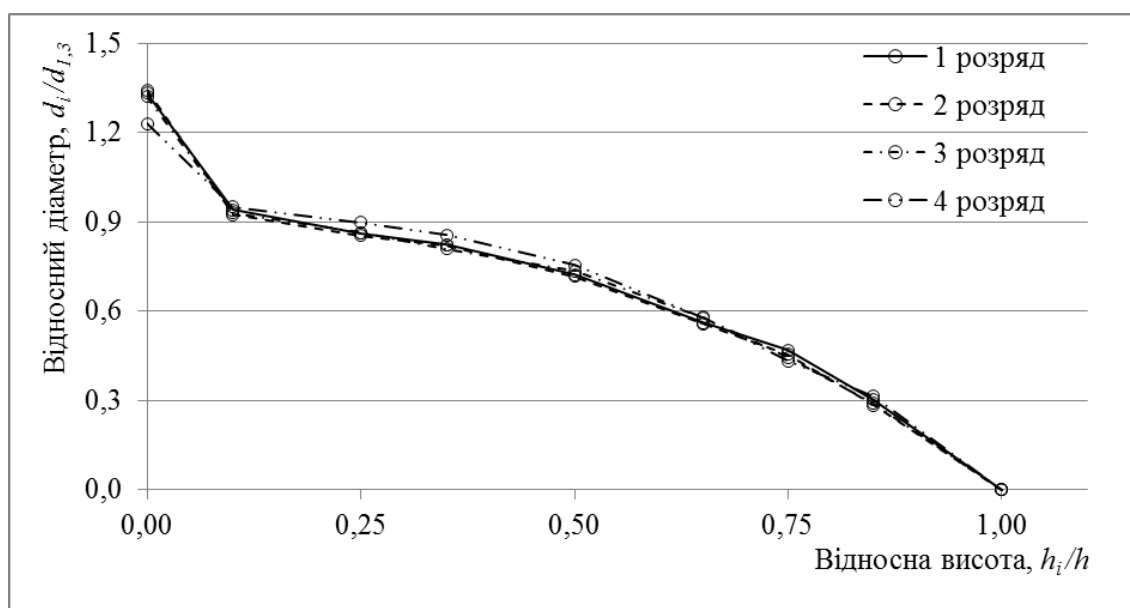
Із наведеного графіка видно, що відносні діаметри на відносній висоті  $0,5h$  і більше, ймовірно, мають значну дисперсію та розмах. Деякими причинами цього може бути: відмінність форми стовбурів, які належать до різних розрядів висот; наявність у вибірці МД з нетиповою формою тощо.

Перевірити перше припущення можливо, якщо провести групування та усереднення значень відносних діаметрів на фіксованих значеннях відносної

висоти. Графічний аналіз форми стовбурів дуба різних розрядів висот спростовує це припущення (рис. 2).



**Рис. 1. Форма стовбурів дуба у відносній системі координат**



**Рис. 2. Форма стовбурів дуба 1–4 розрядів висот**

На доповнення до графічного аналізу, проведено перевірку гіпотези про рівність середніх коефіцієнтів форми та видових чисел за допомогою  $t$ -критерію Стьюдента. Для цього за результатами обробки моделей за програмою PERTA було отримано три основні коефіцієнти форми ( $q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$ ) і старе видове число ( $f$ ). Слід зауважити, що коефіцієнти форми та інші параметри стовбурів за вказаною програмою розраховують після апроксимації твірної деревного стовбура в окремих зонах за допомогою рівняння:

$$y = a_0 + a_1 e^{a_2 x}, \quad (1)$$

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

Значення  $t$ -критерія для різних попарних комбінацій розрядів висот наведено в табл. 2.

## 2. Значення $t$ -критерію для коефіцієнтів форми та видових чисел

Розряди висот	$q_1$		$q_2$		$q_3$		$f$	
	$t_{обч.}$	$t_{кр.}$	$t_{обч.}$	$t_{кр.}$	$t_{обч.}$	$t_{кр.}$	$t_{обч.}$	$t_{кр.}$
1–2	0,313	2,010	0,048	2,010	1,628	2,010	0,564	2,010
1–3	0,223	2,011	0,246	2,011	0,603	2,011	0,027	2,011
1–4	1,873	2,040	1,129	2,040	0,922	2,040	0,646	2,040
2–3	0,678	1,998	0,395	1,998	1,194	1,998	0,680	1,998
2–4	<b>2,443</b>	<b>2,013</b>	1,436	2,013	0,504	2,013	1,201	2,013
3–4	1,984	2,014	1,131	2,014	0,467	2,014	0,682	2,014

У більшості випадків (крім 2–4 для  $q_1$ ), а для видових чисел – для всіх комбінацій,  $t_{обч.} < t_{кр.}$ . Тому на 5-відсотковому рівні значущості можна стверджувати, що середні значення коефіцієнтів форми та видових чисел, а відповідно і форми стовбурів, які належать до різних розрядів висот, не відрізняються. Встановлено, що немає відмінностей між показниками форми МД, що обґрунтовує доцільність подальшої обробки дослідних даних одним масивом.

Перевірку припущення про наявність нетипових даних у вибірці було проведено за методом, основаним на міжквартильній відстані з побудовою діаграми розмаху (box plot), розробленої Д.Тьюки [10]. Згідно з цим методом розраховують 1-й ( $Q_1$ ) і 3-й ( $Q_3$ ) квартилі розподілу даних і різницю  $Q_3 - Q_1$  – міра розподілу даних, так званий міжквартильний розмах ( $IQR$ ). Границі розраховують за рівнянням:

$$X_1 = Q_1 - k(Q_3 - Q_1), \quad X_2 = Q_3 + k(Q_3 - Q_1), \quad (2)$$

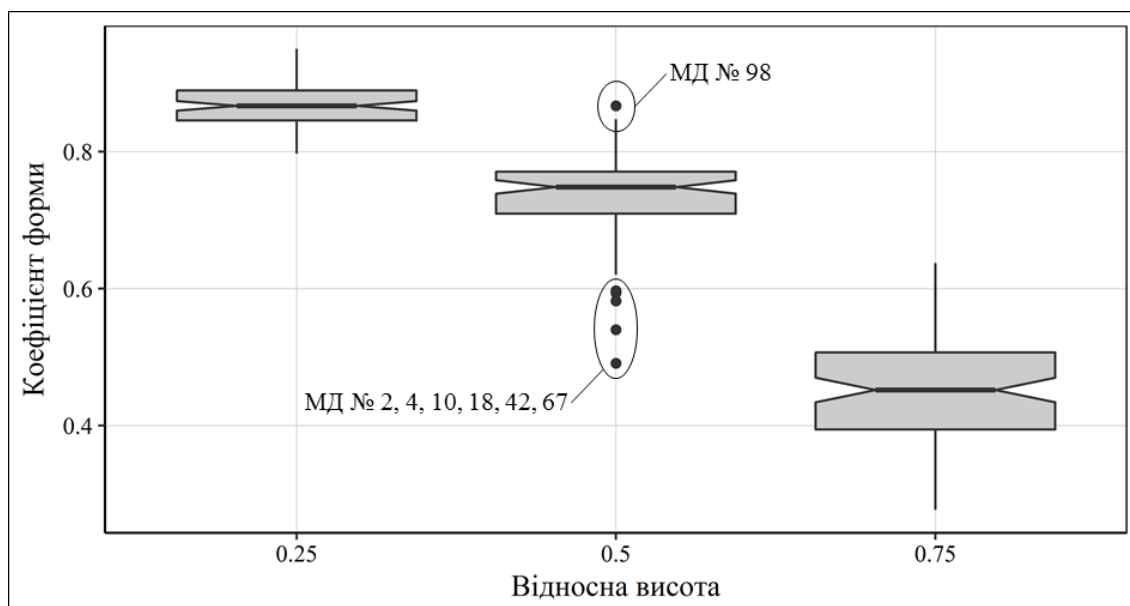
де  $X_1$ ,  $X_2$  – відповідно нижня і верхня внутрішні границі,  $Q_1$ ,  $Q_3$  – відповідно 1-й і 3-й квартилі,  $k$  – коефіцієнт (як правило, 1,5).

$IQR$  стійкий до екстремальних значень розподілу (тобто робастний), на відміну від стандартної помилки, яка більш чутлива до викидів. Усі значення, які виходять за внутрішні границі діапазону  $X_1 - X_2$ , вважають нетиповими. Виявлені в результаті такої перевірки модельні дерева наведено в табл. 3 і на рис. 3.

## 3. Нетипові значення коефіцієнтів форми та видових чисел

№ моделі	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$f$
2	0,816	<b>0,491</b>	0,329	0,398
4	0,821	<b>0,597</b>	0,286	0,389
10	0,881	<b>0,540</b>	0,277	0,413
18	0,840	<b>0,582</b>	0,282	0,411
42	0,889	<b>0,594</b>	0,403	0,444
67	0,865	<b>0,595</b>	0,361	0,427
98	0,911	<b>0,867</b>	0,587	0,607

Як видно з табл. 3 і рис. 3, за межі діапазону виходять деякі значення лише другого коефіцієнта форми (в табл. 3 позначені напівжирним шрифтом, на рис. 3 – напівжирними крапками).



**Рис. 3. Діаграма розмаху (box plot) коефіцієнтів форми**

Для встановлення відмінностей необхідно проаналізувати узагальнений показник форми – видове число. У МД № 2, 4 значення  $f$  не виходить за інтервал, але знаходиться близько до його нижньої границі, а у № 98 – до верхньої (табл. 4). Тому ці МД можливо вилучити з вибірки. Значення основних таксаційних показників до та після такого вилучення наведено в табл. 4.

#### 4. Основні статистики розподілу коефіцієнтів форми та видових чисел

Статистики*	Уся вибірка				Вибірка без нетипових значень			
	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$f$	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$f$
$n$	98	98	98	98	95	95	95	95
$M$	0,867	0,734	0,450	0,510	0,868	0,736	0,452	0,512
$s$	0,031	0,064	0,084	0,046	0,031	0,056	0,081	0,043
$max$	0,950	0,867	0,637	0,614	0,950	0,847	0,637	0,614
$Q3+1,5IQR$	0,955	0,862	0,675	0,633	0,951	0,856	0,672	0,630
$Q1-1,5IQR$	0,780	0,618	0,226	0,387	0,785	0,628	0,232	0,392
$min$	0,797	0,491	0,277	0,389	0,797	0,540	0,277	0,400
$A$	0,169	-1,250	0,003	-0,394	0,187	-1,132	0,017	-0,306
$E$	-0,356	2,230	-0,454	0,103	-0,230	1,484	-0,348	-0,052

\*  $n$  – кількість МД, шт;  $s$  – стандартне відхилення;  $Q3+1,5IQR$  та  $Q1-1,5IQR$  – верхня та нижня внутрішні границі діапазону; інші статистики – відповідно до табл. 1.

Аналіз табл. 4 свідчить, що після вилучення нетипових даних спостерігається зменшення стандартного відхилення ( $s$ ) і абсолютних значень асиметрії ( $A$ ) та ексцесу ( $E$ ).

**Висновки і перспективи.** Залежність діаметра стовбура від висоти у відносній системі координат дає змогу узагальнити дані про його форму. Форма стовбурів дуба, які належать до різних розрядів висот, не відрізняється (на 5-відсотковому рівні значущості). Перевірка вибірки робастним за методом, оснований на міжквартильній відстані, дає змогу виявляти нетипові значення (викиди) коефіцієнтів форми, незважаючи на відмінність їх розподілу від нормального. Поряд із перевіркою коефіцієнтів форми на викиди, необхідно проводити аналіз значень видового числа як узагальнювального показника. За подальшого збирання та обробки дослідного матеріалу за цим методом, рішення про вилучення нетипових даних потрібно приймати лише у випадку деякого покращення статистичних показників розподілу.

#### **Список використаних джерел**

1. Zianis D. Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Silva Fennica Monographs* 4 / D. Zianis, P. Muukkonen, R. Makipaa, M. Mencuccini. – 2005. – 63 p.
2. Анучин Н. П. Лесная таксация / Н. П. Анучин. – М. : Лесн. пром-сть, 1982. – 550 с.
3. Кофман Г. Б. Рост и форма деревьев / Г. Б. Кофман. – Новосибирск : Наука, 1986. – 211 с.
4. Лісотаксаційний довідник : затв. Державним агентством лісових ресурсів України / [за ред. С. М. Кашпора, А. А. Строчинського]. – К. : Видавничий дім «Вініченко», 2013. – 496 с.
5. Миронюк В. В. Порівняльний аналіз різних підходів до моделювання твірної стовбурів берези повислої [Електронний ресурс] / В. В. Миронюк, В. В. Поліщук // Лісове і садово-паркове господарство. – 2016. – № 9. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/licgoc\\_2016\\_9\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/licgoc_2016_9_9).
6. Никитин К. Е. Методы и техника обработки лесоводственной информации / К. Е. Никитин, А. З. Швиденко. – М. : Лесн. пром-сть, 1978. – 272 с.
7. Поляков О. В. Адаптивна промислова сортиментация лісосічного фонду: нормативно-довідкові дані / О. В. Поляков, М. О. Поляков // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К., 2008. – Вип. 122. – С. 153–158.
8. Свинчук В. А. Математичні моделі об'єму деревних стовбурів основних лісоутворювальних порід України / В. А. Свинчук, С. М. Кашпор, В. В. Миронюк // Науковий вісник НУБіП України. – 2014. – № 198. – Ч. 2. – С. 58–64.
9. Строчинський А. А. Таксация зеленых насаждений на территории міста Києва : монографія / А. А. Строчинський, В. В. Миронюк. – Корсунь-Шевченківський : ФОП Гаврищенко В. М., 2013. – 179 с.
10. Тьюки Дж. Анализ результатов наблюдений. Разведочный анализ. – М. : Мир, 1981. – 693 с.

## References

1. Zianis, D., Muukkonen, P., Makipaa, R., Mencuccini, M. (2005). Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Silva Fennica Monographs* 4. 63.
2. Anuchyn, N. P. (1982). *Lesnaia taksatsyia* [Forest inventory]. Moskva, 550.
3. Kofman, H. B. (1986). *Rost y forma derevev* [Growth and shape of trees]. Novosybyrsk, 211.
4. Kashpora, S. M., Strochynskoho, A. A. (eds.). (2013). *Lisotaksatsiinyi dovidnyk : zatv. Derzhavnym ahentstvom lisovykh resursiv Ukrainy* [Forest tacing guide: shuttle. State Forest Resources Agency of Ukraine]. Kyiv, 496.
5. Myroniuk V. V., Polishchuk, V. V. (2016). Porivnialnyi analiz riznykh pidkhodiv do modeliuvannia tvirnoi stovburiv berezy povysloi [Comparative analysis of different approaches to modeling the creature trunks of birch veneers]. *Forestry and gardening*, 9. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/licgoc\\_2016\\_9\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/licgoc_2016_9_9).
6. Nyktyyn, K. E., Shvydenko, A. Z. (1978). *Metody i tehnika obrabotki lesovodstvennoj informacii* [Methods and techniques for forestry information processing]. Moskva, 272.
7. Poliakov, O. V., Poliakov, M. O. (2008). *Adaptyvna promyslova sortymentatsiia lisosichnoho fondu: normatyvno-dovidkovi dani* [Adaptive industrial sorting of the forestry fund: reference data]. *Scientific bulletin of National Agrarian University*. Kyiv, 122, 153–158.
8. Svynchuk, V. A., Kashpor, S. M., Myroniuk, V. V. (2014). *Matematychni modeli obiemu derevnykh stovburiv osnovnykh lisoutvoriuvalnykh porid Ukrainy* [Mathematical models of the volume of tree trunks of the main forest-forming breeds of Ukraine]. *Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Natural Resources of Ukraine*, 198, 2, 58–64.
9. Strochynskiy, A. A., Myroniuk, V. V. (2013). *Taksatsiia zelenykh nasadzhen na terytorii mista Kyieva* [Taxation of green plantations in the city of Kiev]. *Korsun-Shevchenkivskiy*, 179.
10. Tukey, John (1981). *Analyz rezultatov nabliudenyi. Razvedochnij analiz* [Analysis of the results of observations. Exploration analysis]. Moskva, 693.

## МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБРАЗУЮЩЕЙ СТВОЛОВ ДУБА ОБЫКНОВЕННОГО

**В. Б. Быченко**

*Аннотация.* Проанализированы различные методы определения объема древесного ствола в Украине и за рубежом. Обоснована целесообразность определения объема ствола на основе математической модели образующей. Определены этапы подготовки опытных данных для моделирования образующей ствола. На примере исследовательского материала, собранного на территории государственного предприятия «Смелянское лесное хозяйство», проведено обобщение данных о форме стволов дуба с помощью коэффициентов формы в относительной системе координат. Путем построения диаграммы и с помощью *t*-критерия Стьюдента



установлено отсутствие различий между показателями формы модельных деревьев, принадлежащих к различным разрядам высот. С помощью робастного метода, основанного на межквартильном расстоянии с построением диаграммы размаха (box plot), проведена проверка собранного материала на наличие нетипичных данных (выбросов). Для выявления выбросов обоснована необходимость одновременного анализа коэффициентов формы и видовых чисел модельных деревьев. Проанализировано изменение основных статистик выборки в случае исключения выявленных нетипичных данных.

**Ключевые слова:** образующая ствола, коэффициент формы, t-критерий Стьюдента, робастные методы, межквартильное расстояние, box plot, нетипичные данные.

## METHODS OF EXPERIMENTAL DATA PROCESSING FOR MODELING GENERATRIX OF PEDUNCULATE OAK TRUNKS

V. Bychenko

**Abstract.** Different methods of determining the volume of tree trunk in Ukraine and abroad are analyzed within this research. The expediency of determining volumes of trunks based on mathematical model of its generatrix is substantiated. Stages of preparation of experimental data for modeling of trunk generatrix are determined. On the example of research material collected at the state enterprise "Smila forest economy", a generalization of data on shape of oak tree trunks using form quotients in a relative coordinate system was performed. By constructing a diagram and using Student's t-criterion, it was found that there is no difference between shape indices of model trees belonging to different height classes. By means of a robust method based on interquartile distance with development of a box plot, the research material has been tested for presence of non-typical data ("overshoots"). For detection of overshoots, the necessity of simultaneous analysis of form quotients and form factors of model trees was substantiated. The analysis of changes in main statistics of the sample have been analyzed in case of elimination of the detected non-typical data.

**Keywords:** trunk generatrix, form quotient, Student's t-criterion, robust methods, interquartile distance, box plot, non-typical data.