

29. Woodruff D.R. Does turgor limit growth in tall trees? / D.R. Woodruff, B.J. Bond, F.C. Meinzer // Plant Cell Environ. – 2004. – Vol. 27. – Pp. 229-236.

Надійшла до редакції 21.03.2016 р.

Прокопук Ю.С., Нецветов М.В. Динамика депонирования углерода в стволовой биомассе *Quercus robur* L. парка "Феофания"

На основе древесно-кольцевой хронологии (1795-2014 гг.) оценена динамика депонирования углерода в стволовой биомассе вековых деревьев *Q. robur* парка "Феофания" в Киеве. Установлена тенденция увеличения прироста стволовой биомассы и соответственно запаса углерода у дуба черешчатого с возрастом. Максимальное накопление углерода в стволовой древесине дуба происходит в возрасте 190-220 лет и составляет около 20 кг/год, что почти вдвое больше, чем в возрасте 60-80 лет. Вековая дубрава парка "Феофания" является высокобиопродуктивной, темпы накопления углерода в стволовой биомассе деревьев дуба значительно выросли за последние десятилетия и составляют около 1,79 т углерода.

Ключевые слова: углерододепонирующая способность, древесно-кольцевая хронология, стволовая древесина, вековые дубы.

Prokopyuk Yu.S., Netsvetov M.V. The Dynamics of Carbon Storage in Oak (*Quercus Robur* L.) Stem Biomass of Theofania Park

Within the last 220 years the dynamics of carbon storage in stem biomass from age-old pedunculate oaks has been assessed using the tree-ring chronology. The study site was an urban forest Theofania Park in Kyiv. In this research we revealed the trend to increase in annual oak stem biomass with the age and respectively increase in the carbon fixation. The maximum carbon storage 20 kg per year occurs in the oak stem at the age of 190-220. An annual value of carbon storage in the stem of old-age oak is almost twice as much as in 60-80 years aged trees. Oak forest of Theofania Park is highly productive and the rates of carbon stocks in the stem biomass of oak trees have considerably grown for the last decades, which constitute about 1.79 tons of carbon per tree.

Keywords: carbon storage, tree-ring chronology, stem wood, age-old oaks.

УДК 630*5

ТАКСАЦІЙНА БУДОВА ЛИПОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ ЗА ДІАМЕТРОМ

О.М. Сошенський^{1,2}

Здійснено статистичний аналіз дослідних даних. Виконано кореляційний аналіз та досліджено взаємозв'язки між основними таксаційними показниками та параметрами будови дослідних лісостанів, на основі чого встановлено закономірності розподілу дерев у деревостанах за діаметром. На основі β -розподілу опрацьовано математичну модель рядів розподілу дерев за діаметром та категоріями технічної придатності. Внаслідок виконаних досліджень побудовано узагальнені ряди розподілу дерев за діаметром, що є основою для подальшого розроблення нормативів товарної структури деревостанів.

Ключові слова: ряд розподілу, діаметр, категорії технічної придатності, коефіцієнт мінливості, редукційні числа, середнє квадратичне відхилення.

Закономірності таксаційної будови насаджень є основою розроблення раціональних способів обліку лісу. У лісовій таксації найбільшу увагу приділяють вивченню таксаційної будови деревостанів за діаметром, оскільки за характером розподілу діаметра дерев опосередковано можна оцінити інші таксаційні

показники [1, 2, 4-7]. Перші дослідження таксаційної будови насаджень здійснив німецький проф. Вейзе у 1880 р. Він встановив, що розподіл дерев за діаметром у чистих одновікових насадженнях є нерівномірним відносно середнього дерева, а саме: дерев з діаметром, меншим від середнього, у насажденні приблизно 55-60 %, а з більшим – 40-45 %. Пізніше, у 1890 р. проф. Вімменауер для ялинових насаджень встановив, що приблизно такий розподіл спостерігається і за об'ємом дерев [1, 2, 5].

Угорський проф. Фекете визначив величину діаметра стовбурів, які розташовані від найтоншого дерева на відстані 10, 20 ... 100 % від загальної кількості їх у насажденні. За отриманими даними автор зробив висновок, що діаметри дерев, котрі займають визначене місце в ряду їхнього відсоткового розподілу, за однакового середнього діаметра є тотожними. У сучасній теорії таксаційної будови насаджень встановлена закономірність дає змогу узагальнити поняття "ранг дерева" [1, 2, 5].

Австрійський лісівник А. Шиффель (1903) відобразив діаметри дерев у насадженнях не в абсолютних величинах, а у відносних залежно від величини середнього діаметра. Виражені таким чином відносні діаметри виявились практично однаковими (за винятком насаджень із середнім діаметром меншим аніж 20 см). Такі відносні значення діаметрів у лісовій таксації отримали назву редукційних чисел за діаметром (R_d). Пізніше за такою методикою було вивчено редукційні числа за висотою (R_h), видовим числом (R_f), площею поперечного перерізу (R_g) та об'ємом (R_v) [1, 2, 5]. За даними К.С. Нікітіна, мінливість діаметра дерев у стиглих деревостанах становить 20-25 %, причому з віком цей показник має чітку тенденцію до зменшення. Результати досліджень багатьох авторів засвідчили, що таксаційна будова залежить не лише від породи і середнього діаметра, а й від складу, віку, повноти, густоти, типу лісорослинних умов та інших показників [2, 5].

Починаючи з XIX ст. сформувалися два напрями дослідження таксаційної будови деревостанів: перший – шляхом вивчення рядів розподілу кількості дерев за їх розмірами (насамперед за діаметром) та встановлення місця середнього дерева у насажденні (Вейзе, Вімменауер, Гуттенберг, Гергардт, Тюрін); другий – на основі аналізу редукційних чисел (Шиффель, Третьяков) [4]. Подальше вдосконалення методів вивчення таксаційної будови деревостанів супроводжувалося застосуванням математичних моделей розподілу, функцій, які характеризують зміну редукційних чисел, і множинного регресійного аналізу [4].

Мета дослідження – встановити особливості розподілу дерев липи у деревостанах з її участю за діаметром та категоріями технічної придатності залежно від величини середнього діаметра.

Матеріали та методика дослідження. Вихідною дослідною інформацією для дослідження таксаційної будови липи серцелистої, як елемента лісу, слугували матеріали виробничих переліків рубок головного користування (168 переліків) та закладених автором тимчасових пробних площ (16 переліків). Основні статистичні характеристики таксаційних показників дослідних деревостанів подано у таблиці. Аналіз даних цієї таблиці засвідчив порівняно невисоку мінливість основних таксаційних показників деревостанів, що вказує на

¹ аспір. О.М. Сошенський – НУ біоресурсів і природокористування України, м. Київ

² наук. керівник: проф. О.А. Гірс, д-р с.-г. наук

можливість його наступного оброблення та отримання адекватних математичних моделей. Зібрані дані перелічувально-вимірювальної таксації опрацьовано на персональному комп'ютері з використанням табличного процесора MS Excel та спеціальних програм "STRUC" і "БУДОВА", розроблених на кафедрі лісової таксації та лісовпорядкування НУБіП України.

Табл. Статистична характеристика дослідного матеріалу

Показник	Середнє арифметичне значення	Стандартна помилка	Коефіцієнт мінливості, %
Діаметр (D), см	28,0	5,0	17,7
Частка ділових дерев (P_n), %	21,5	15,5	72,1
Мінімальне редуційне число (R_{\min})	0,35	0,106	30,2
Максимальне редуційне число (R_{\max})	1,79	0,196	11,0
Коефіцієнт мінливості (V)	34,2	6,6	–

Використовуючи програму "STRUC" для кожного насадження обчислено: коефіцієнт мінливості (V), значення асиметрії (A) та ексцесу (E), ранг середнього за діаметром дерева (P_n), мінімальне й максимальне редуційні числа (фактичні – R_{\min} , R_{\max} , і теоретичні – $R_{\max(\text{теорет.})}$), співвідношення між відносними мінливостями діаметра ділових та дров'яних дерев до їхньої загальної кількості, позначені відповідно V'/V і V''/V , а також спеціальний показник – критерій каппа (κ), який характеризує відповідність емпіричних варіаційних рядів теоретичному закону β -розподілу. Указані вище показники розраховано за такими формулами:

- мінімальне й максимальне редуційні числа:

$$R_{\min} = \frac{d_n}{D} \text{ та } R_{\max} = \frac{d_k}{D}, \quad (1)$$

- ранг середнього за діаметром дерева:

$$P_n = \left[\sum_{i=1}^{m-1} n_i + 0,25n_m \cdot (D - d_m + 2) \right] \cdot \frac{100}{N}, \quad (2)$$

- критерій каппа:

$$\kappa = 0,25 \cdot \frac{r_3^2 \cdot (r_4 + 3)^2}{(4r_4 - 3r_3^2)(2r_4 - 3r_3^2 - 6)}, \quad (3)$$

- середнє арифметичне значення діаметра:

$$\bar{D} = \frac{D}{\sqrt{1 + (V/100)^2}}; \quad (4)$$

- середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma = \bar{D} \cdot V / 100. \quad (5)$$

де: d_n і d_k – відповідно перший і останній діаметри за даними переліку; D – середнє квадратичне значення діаметра; m – порядковий номер ступеня, верхня межа якого вперше перебільшує D ; n_i – частота (кількість дерев у i -му ступені товщини); N – загальна кількість дерев; r_3 і r_4 – відповідно третій і четвертий основні моменти розподілу.

Результати дослідження. Аналізуючи результати розрахунків, отримані за допомогою програми "STRUC", можна зробити певні висновки про закономірності розподілу дерев за діаметром в об'єкті дослідження. Коефіцієнт мінливості змінюється від 19,9 % до 50,8 %, у 50 % переліків він становить від 30 % до 40 %, у 14 % – у межах до 30 % та у 36 % мінливість за діаметром становить понад 40 %, що є характерним явищем для мішаних деревостанів. Показник асиметрії змінюється в межах $-0,38 \div 1,84$, а ексцесу – від $-0,98$ до 4,55. Показники асиметрії у 51 % спостережень та ексцесу у 7 % перебільшують відповідні критичні значення, що вказує на відмінність емпіричних рядів від закону нормального розподілу [3].

У лісовій таксації відомо, що межі мінливості редуційних чисел за діаметром становлять $0,5 \div 1,7$, тоді як отримані за результатами досліджень значення мінімального та максимального редуційних чисел знаходяться в межах $0,2 \div 3,0$ [5]. Окрім цього, було встановлено, що ранг середнього дерева змінюється в межах $51 \div 70$ %. Від'ємне значення критерію каппа вказує на можливість застосування β -розподілу для моделювання таксаційної будови деревостанів. Оскільки у переважній більшості дослідних деревостанів указаний критерій є від'ємним, то для подальших досліджень доцільним є використання зазначеного теоретичного закону, щільність якого виражається формулою

$$f_B(x) = \frac{\Gamma(b_1 + b_2)}{\Gamma(b_1) \cdot \Gamma(b_2)} \cdot \frac{(x - l_1)^{b_1 - 1} \cdot (l_2 - x)^{b_2 - 1}}{(l_2 - l_1)^{b_1 + b_2 - 1}}, \quad (6)$$

де: $\Gamma(\dots)$ – гама-функція (розширене поняття факторіалу); l_1 і l_2 – початкове й кінцеве значення кривої розподілу, котрі можна ототожнювати (теоретично вони нерідко збігаються) з аналогічними реальними показниками.

Значення коефіцієнтів b_1 і b_2 розраховано із співвідношень:

$$b_1 = \frac{(\bar{X} - l_1) \cdot [(\bar{X} - l_1) \cdot (l_2 - \bar{X}) - \sigma^2]}{\sigma^2 \cdot (l_2 - l_1)}, \quad (7)$$

$$b_2 = b_1 \cdot \frac{l_2 - \bar{X}}{\bar{X} - l_1}. \quad (8)$$

Отже, β -розподіл визначається чотирма параметрами: середнім арифметичним значенням (\bar{X}), середнім квадратичним відхиленням (σ), початковим і кінцевим значеннями.

Отже, задача з визначення частот кривої β -розподілу зводиться до встановлення для певного середнього (квадратичного) діаметра деревостану (D) і коефіцієнта мінливості (V) відповідних значень початку і кінця кривої l_1 і l_2 . Для цього скористаємося переходом до вирівняних частот, що ґрунтується на одній із властивостей щільності розподілу і статистичному визначенні ймовірності. В цьому разі такий перехід набуває вигляду:

- для першого ступеня товщини:

$$n_1 = n \cdot y \cdot (1 - x/l_2)^{b_2} \cdot [(x_1 + c/2)/l_1 - 1]^{b_1} \cdot l_1/b_1, \quad (9)$$

- для ступенів від другого до передостаннього:

$$n_i = c \cdot n \cdot f_B(x_i), \quad (10)$$

- для останнього ступеня

$$n_k = n \cdot y \cdot (x_k / l_1 - 1)^{b_1} \cdot [1 - (x_k - c / 2) / l_2]^{b_2} \cdot l_2 / b_2, \quad (11)$$

де: x_1 – перший ступінь товщини; n – обсяг вибірки (загальна кількість дерев); c – величина ступеня товщини; x_i – ступені товщини (окрім першого і останнього); x_k – останній ступінь товщини.

Коефіцієнт мінливості значуще на 5 %-му рівні (коефіцієнти кореляції: $r_{обч} = -0,24$, а $r_{кр} = 0,15$) залежить від середнього діаметра (рис. 1).

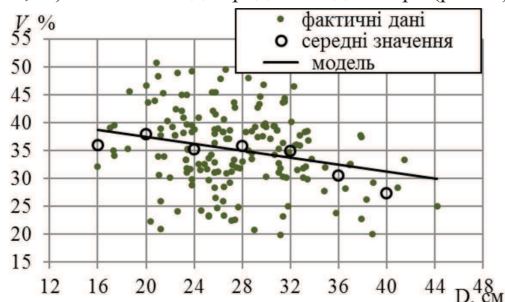


Рис. 1. Взаємозв'язок між коефіцієнтом мінливості і середнім квадратичним значенням діаметра

Указану залежність можна описати рівнянням

$$V = 43,6 - 0,310 \cdot D. \quad (12)$$

Для моделювання параметрів початку і кінця кривої (l_1 та l_2) використано відповідні їм мінімальне та максимальне редуційні числа. Залежність R_{\min} та R_{\max} від D є статистично значущою на 5 %-му рівні, оскільки коефіцієнти кореляції відповідно дорівнюють $-0,25$ та $-0,40$ ($r_{кр} = 0,15$). Залежність між мінімальним та максимальним редуційними числами від діаметра наведено на рис. 2.

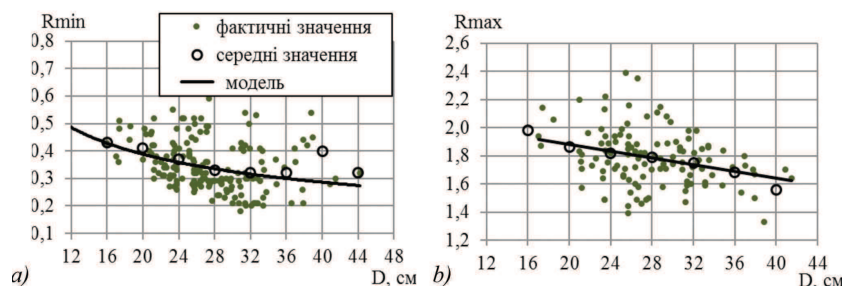


Рис. 2. Ілюстрація зв'язку: а) між мінімальним редуційним числом і середнім квадратичним значенням діаметра; б) максимальним редуційним числом і середнім квадратичним значенням діаметра

Указана вище залежність відображається рівняннями:

$$R_{\min} = 1,45 \cdot D^{-0,440}, \quad (13)$$

$$R_{\max} = 2,12 \cdot D - 0,0119. \quad (14)$$

Після апроксимації відносної мінливості за співвідношенням (12) і редуційних чисел за рівняннями (13, 14), використовуючи рівняння (6)-(8), (9)-(11) розраховано теоретичні частоти кожного ступеня товщини для деревостану з певним середньоквадратичним діаметром (D). При цьому загальну кількість дерев прийнято 1000 шт., кількість ділових дерев встановлено за їхньою часткою в деревостані ($P_{\text{діл.}}$) $n=1000 \cdot P_{\text{діл.}}$, кількість дров'яних дерев – за різницею загальної та ділової кількості дерев.

З метою встановлення розподілу дерев у деревостанах на ділові та дров'яні використано методику, яку запропонував С.М. Кашпор [2], що полягає в дослідженні співвідношень V'/V та V''/V – відповідно відносної мінливості діаметра частки ділових та дров'яних стовбурів до мінливості діаметра загальної кількості стовбурів, які за даними множинного регресійного аналізу істотно залежать лише від частки ділових (P') чи дров'яних (P'') дерев. Наявність вирівняних значень V' та V'' дає змогу визначити інший параметр розподілу для частини деревостану – середні значення діаметра ділових (\bar{D}') та дров'яних \bar{D}'' стовбурів. Оскільки залежності між відносними мінливостями діаметра ділових і дров'яних дерев та їхньої загальної кількості від якісного складу лісостану виявились значущими на 5 %-му рівні (коефіцієнти кореляції дорівнюють відповідно $-0,24$ та $0,28$), то їх можна виразити рівняннями:

$$V' / V = 0,340 \cdot P' - 0,959, \quad (15)$$

$$V'' / V = 0,421 + (1 - 0,421) \cdot P', \quad (16)$$

де P' – частка ділових дерев.

Опрацьовані математичні моделі зображено на рис. 3

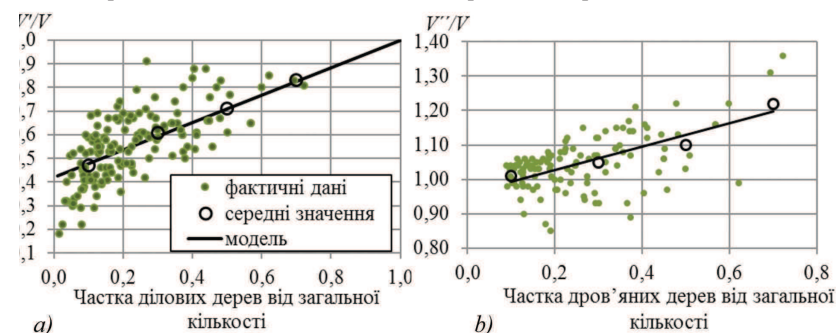


Рис. 3. Ілюстрація залежності співвідношень між відносними мінливостями: а) діаметра ділових дерев та їхньої загальної кількості від якісної структури лісостанів; б) діаметра дров'яних дерев та їхньої загальної кількості від якісної структури лісостанів

Перехід до вирівняних частотей здійснюється шляхом множення обчислених за рівнянням (6) значень $f(x)$ на величину ступеня товщини, а для ділових та дров'яних дерев ще й на їхню частку в лісостані [2]. За результатами роботи

отримано узагальнені ряди розподілу дерев за ступенями товщини та категоріями технічної придатності. Графічну інтерпретацію кривих розподілу дерев у насадженні залежно від середнього діаметра наведено на рис. 4.

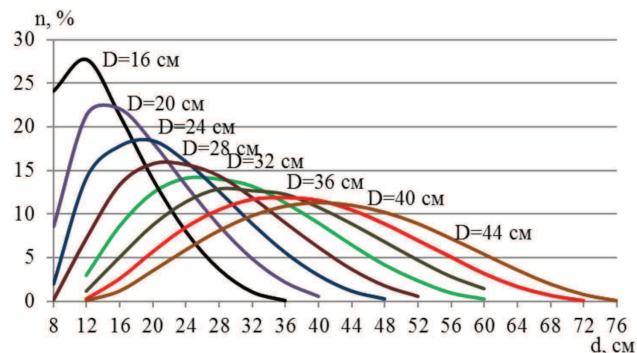


Рис. 4. Графічна ілюстрація моделей розподілу кількості стовбурів за ступенями товщини

Як видно із рис. 4, зі збільшенням середнього діаметра деревостану збільшується розмах кривої, а кількість стовбурів у центральних ступенях товщини зменшується, про що свідчить зменшення випуклості кривих. Графічну ілюстрацію розподілу кількості дерев за ступенями товщини та категоріями технічної придатності залежно від середнього діаметра насадження та відсотка ділових дерев зображено на рис. 5.

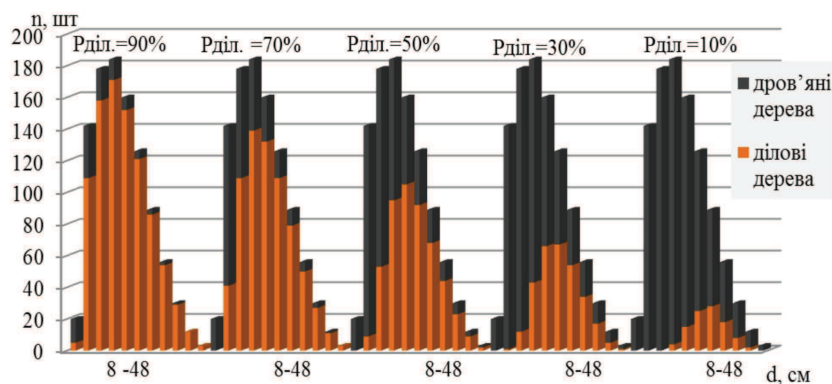


Рис. 5. Розподіл дерев у деревостанах із середнім діаметром 24 см

Із наведених рисунків видно, що із зменшенням відсотка ділових стовбурів ряди розподілу ділових дерев у деревостані зміщуються на 1-6 ступенів праворуч, відповідно їх середній діаметр збільшується. Також у деревостанах з однаковим середнім діаметром зі збільшення частки дров'яних дерев збільшується вихід грубої ділової деревини та зменшується вихід середньої та дрібної (відносно запасу ділової деревини).

Висновки:

1. За результатами виконаних досліджень встановлено закономірності розподілу дерев липи у насадженнях за товщиною залежно від величини середнього діаметра.
2. На основі виконаних досліджень побудовано узагальнені ряди розподілу дерев за діаметром.
3. Пізнання закономірностей будови деревостанів, зокрема розподілу дерев за діаметром, є основою для розроблення товарних таблиць.

Література

1. Ануцин Н.П. Лесная таксация / Н.П. Ануцин. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1982. – 550 с.
2. Кашпор С.М. Методичні основи складання нормативів динаміки товарної структури насаджень / С.М. Кашпор // Науковий вісник НАУ : зб. наук. праць. – К. : Вид-во НАУ. – 1999. – Вип. 17. – С. 265-268.
3. Лакин Г.Ф. Биометрия : учеб. пособ. [для студ. биол. спец. ВУЗов]. – Изд. 4-ое, [перераб. и доп.]. – М. : Изд-во "Высш. шк.", 1990. – 352 с.
4. Макаренко А.А. Строение древостоев : сб. науч. тр. / А.А. Макаренко. – Алма-Ата : Изд-во "Кайнар", 1982. – С. 5-7.
5. Никитин К.Е. Лиственница на Украине / К.Е. Никитин. – К. : Изд-во "Урожай", 1966. – 331 с.
6. Рубцов В.Г. Расчет товарной структуры древостоев на ЭВМ при лесоустройстве. Методические указания / за ред. В.Г. Рубцова. – Ленинград, 1973. – 46 с.
7. Швиденко А.З. Теоретическое и экспериментальное обоснование системы инвентаризации горных лесов зоны интенсивного ведения хозяйства : дисс. ... д-ра с.-х. наук: спец. 06.03.02 / Швиденко Анатолий Зиновьевич. – К., 1981. – 300 с.

Надійшла до редакції 31.03.2016 р.

Сошеникий А.М. Таксационное строение липовых древостоев по диаметру

Проведен статистический анализ опытных данных. Выполнен корреляционный анализ и исследованы взаимосвязи между таксационными показателями и параметрами строения опытных древостоев, на основании чего установлены закономерности распределения деревьев в древостоях по диаметру. На основании β -распределения разработана математическая модель рядов распределения деревьев по диаметру и категориям технической принадлежности. В результате выполненных исследований построены обобщенные ряды распределения деревьев по диаметру, что является основой для последующей разработки нормативов товарной структуры древостоев.

Ключевые слова: ряд распределения, диаметр, категории технической принадлежности, коэффициент вариации, редукционные числа, среднее квадратическое отклонение.

Soshenskiy O.M. Biometrics Structure of Linden Tree Stands according to the Diameter

Statistical analysis of research data and also correlation analysis were done. Inter-relationships between the main biometrics indicators and constitution parameters of stands under the research were discovered, on the basis of which standards of tree distribution in the stands according to diameter were defined. On the basis of β -distribution mathematical model of distribution series of trees according to diameter and categories of technical competence was studied. Based on the research data summarized distribution series of trees according to diameter were built, on the basis of which the development of merchantable tables.

Keywords: series distribution, diameter, categories of technical competence, changeability ratio, reduction rates, mean square deviation.