

АНАЛІЗ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРОБЛЕННЯ НОРМАТИВІВ ОБ'ЄМУ КРУГЛИХ ЛІСОМАТЕРІАЛІВ

В. А. Свинчук, кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Національний університет біоресурсів і природокористування України

С. М. Кашпор, кандидат сільськогосподарських наук, доцент

В. В. Миронюк, кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mails: Svynchuk@nubip.edu.ua, kashpor51@ukr.net,
victor.myroniuk@nubip.edu.ua

У лісгосподарській практиці України чинними донедавна були два нормативи об'єму круглих ділових лісоматеріалів: ГОСТ 2708–75 та ДСТУ 4020–2–2001. У зв'язку з відміною з 01.01.2019 року в лісовій галузі міждержавних стандартів (ГОСТів), єдиним стандартом в Україні під час обліку об'єму ділових колод став ДСТУ 4020–2–2001 (pr EN 1309-2:1998). Цей норматив передбачає таксацію об'єму колод за їх довжиною та середнім діаметром колоди з корою.

Під час розроблення таблиць ДСТУ 4020–2–2001, було використано таке співвідношення:

$$V = \frac{\pi}{4} * 10^{-4} * \left[d_c * \left(1 - \frac{P_k}{100} \right) \right]^2 * l, \quad (1)$$

де V – об'єм колоди без кори, m^3 ;

l – довжина колоди, m ;

d_c – середній діаметр колоди з корою, cm ;

P_k – відсоток товщини кори відносно діаметра.

З формули (1) видно, що основним, у методичному відношенні, питанням під час розроблення цього стандарту, було моделювання відсотка кори. З цією метою було використано складне степеневе рівняння ($y = a_0 + a_1 * x^{a_2}$). Окрім наведеної вище методики, для розроблення аналогічних таблиць об'єму колод, можна скористатися іншою формулою:

$$V = \frac{\pi}{4} * 10^{-4} * (d_c - \tau)^2 * l, \quad (2)$$

де τ – подвійна товщина кори, cm .

Особливістю цієї методики є необхідність моделювання абсолютного значення товщини кори. Однак відомо, що під час розроблення математичних моделей зручніше користуватися не абсолютними показниками, які, зазвичай, характеризуються високою мінливістю, а відносними. Тому для розроблення проекту таблиць об'єму колод можна використати співвідношення ($\tau_{відн}$) між діаметрами на середині колоди без кори ($d_{бк}$) і з корою (d_c). Використовуючи

для моделювання цього співвідношення, наприклад, рівняння складної гіперболи $y=a_0+a_1/(x+a_2)$, діаметр без кори можна обчислити за формулою $d_{ок} = d_c * (a_0 + \frac{a_1}{d_c + a_2})$, а об'єм колоди з виразу:

$$V = \frac{\pi}{4} * 10^{-4} * l * \left[d_c * \left(a_0 + \frac{a_1}{d_c + a_2} \right) \right]^2. \quad (3)$$

З метою аналізу точності різних методів таксації об'єму круглих ділових лісоматеріалів та удосконалення методик розроблення відповідних нормативів, з бази науково-дослідних даних кафедри таксації лісу та лісового менеджменту НУБіП України випадковим чином було відібрано 200 ділових колод сосни звичайної, яка є одним із головних лісоутворювальних видів деревних рослин України.

Результати аналізу точності різних методів визначення об'єму круглих ділових лісоматеріалів засвідчили обґрунтованість використання під час масової таксації об'ємних таблиць ДСТУ 4020–2–2001. Аналіз різних методик розроблення вказаних нормативів засвідчив, що усі вони характеризуються близькою точністю. Однак у випадку вдосконалення чинних таблиць чи розроблення моделі об'єму колод для інших деревних видів рекомендуємо скористатися формулою (3).

Ключові слова: об'єм, колода, серединний діаметр, довжина, кора, модель, лісоматеріал, стандарт, точність.

Актуальність. У лісогосподарській практиці України чинними донедавна були два нормативи об'єму круглих ділових лісоматеріалів: ГОСТ 2708–75 [2] та ДСТУ 4020-2-2001 [3], співавторами розроблення якого є науковці кафедри таксації лісу та лісового менеджменту НУБіП України [6]. У зв'язку з відміною з 01.01.2019 року в лісовій галузі міждержавних стандартів (ГОСТів), єдиним стандартом в Україні під час обліку об'єму ділових колод став ДСТУ 4020-2-2001 (pr EN 1309-2:1998), який передбачає таксацію об'єму колод за їх довжиною та серединним діаметром колоди з корою. Відповідно питання перевірки точності різних методів таксації об'єму круглих ділових лісоматеріалів та удосконалення методики розроблення таблиць об'єму колод є актуальним лісотаксаційним завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Результати детального аналізу [5] різних методів таксації об'єму лісоматеріалів засвідчили, що введення в дію ДСТУ 4020-2-2001 пов'язано з необхідністю узгодження методичних прийомів обліку заготовленої деревини в Україні з підходами, що

використовуються за кордоном. У більшості країн для визначення об'єму круглих лісоматеріалів використовують просту формулу серединного перерізу (проста формула Губера), тоді як в Україні впродовж тривалого часу базовим був метод таксації колод за діаметром у верхньому відрізі, тобто використання об'ємних таблиць ГОСТ 2708–75. Виявилося, що застосування формули Губера, як математичної моделі об'єму колод у таблицях ДСТУ 4020–2–2001, не лише усуває зазначену вище невідповідність, а й певною мірою дає змогу врахувати збіг колод. Вважається, що саме вказаний фактор зумовлював грубі помилки під час оцінювання об'єму круглих ділових лісоматеріалів за таблицями ГОСТ 2708–75, які в окремих випадках сягали величини $\pm 30\%$ [1]. Варто також зазначити, що високу продуктивність, об'єктивність і точність визначення об'єму колод мають, так звані, безконтактні методи (оптичні, ультразвукові і фотометричні), які забезпечують реєстрацію відбитого випромінювання від об'єкта вимірювання та комп'ютерну обробку отриманих результатів [7, 8]. Однак указані методи характеризуються високою вартістю та необхідністю утримання більш кваліфікованого персоналу, порівняно з традиційними прийомами обліку круглих лісоматеріалів. Більшість розвинених країн Євросоюзу цю проблему вирішили переміщенням процесу обліку лісопродукції з місць заготівлі деревини на склади лісопереробних підприємств, що дало змогу сконцентрувати різні види вимірювань, застосувати сучасніші методи й технології і, як результат, одержати достовірну інформацію про необхідні параметри круглих лісоматеріалів на етапі їхнього сортування. Крім того, сучасні електронні системи сканування також інсталиують в робочі органи харвестерів та сортувально-транспортні машини на лісових складах, що забезпечує можливість автоматизованого обліку та сортування заготовленої деревини безпосередньо під час лісозаготівель.

Мета дослідження – аналіз та удосконалення методики розроблення чинних в Україні нормативів об'єму круглих ділових лісоматеріалів.

Матеріал, методика і основні результати досліджень. Відомо, що під час розроблення таблиць ДСТУ 4020-2-2001, було використано таке співвідношення:

$$V = \frac{\pi}{4} * 10^{-4} * \left[d_c * \left(1 - \frac{P_k}{100} \right) \right]^2 * l, \quad (1)$$

де V – об’єм колоди без кори, м³;

l – довжина колоди, м;

d_c – серединний діаметр колоди з корою, см;

P_k – відсоток товщини кори відносно діаметра.

Із формули (1) видно, що основним, у методичному відношенні, питанням під час розроблення цього стандарту, було моделювання відсотка кори. З цією метою було використано складне степеневе рівняння ($y = a_0 + a_1 * x^{a_2}$). За результатами відповідних досліджень [6] для 10-ти основних лісоутворювальних видів деревних рослин України було обґрунтовано математичну модель відносної величини товщини кори і розроблено таблиці об’єму круглих ділових лісоматеріалів, вхідними параметрами яких стали довжина колоди і її серединний діаметр з корою.

Окрім наведеної вище методики, для розроблення аналогічних таблиць об’єму колод, можна скористатися іншою формулою:

$$V = \frac{\pi}{4} * 10^{-4} * (d_c - \tau)^2 * l, \quad (2)$$

де τ – подвійна товщина кори, см.

Особливістю цієї методики є необхідність моделювання абсолютного значення товщини кори. Однак відомо, що під час розроблення математичних моделей зручніше користуватися не абсолютними показниками, які, зазвичай, характеризуються високою мінливістю, а відносними. Тому для розроблення проекту таблиць об’єму колод можна використати співвідношення ($\tau_{відн}$) між діаметрами на середині колоди без кори ($d_{бк}$) і з корою (d_c). Використовуючи для моделювання цього співвідношення, наприклад, рівняння складної

гіперболи $y=a_0+a_1/(x+a_2)$, діаметр без кори можна обчислити за формулою

$d_{\text{ок}} = d_c * (a_0 + \frac{a_1}{d_c + a_2})$, а об'єм колоди з виразу:

$$V = \frac{\pi}{4} * 10^{-4} * l * \left[d_c * \left(a_0 + \frac{a_1}{d_c + a_2} \right) \right]^2. \quad (3)$$

Із метою аналізу точності різних методів таксації об'єму круглих ділових лісоматеріалів та удосконалення методик розроблення відповідних нормативів, з бази науково-дослідних даних кафедри таксації лісу та лісового менеджменту НУБіП України випадковим чином було відібрано 200 ділових колод сосни звичайної, як одного з головних лісоутворювальних видів деревних рослин України. Для кожної колоди було встановлено об'єм за чинними нормативами та різними стереометричними формулами [4]. За основу для порівняння взято об'єм, обчислений за складною формулою серединних перерізів з довжиною секції 1 м. Далі для всієї сукупності колод встановлено систематичну і середньоквадратичну помилки кожного з методів. Узагальнені результати аналізу точності різних методів таксації об'єму круглих ділових лісоматеріалів наведено в табл. 1.

1. Результати порівняння різних методів таксації об'єму колод

Метод таксації об'єму колод	Помилка, %	
	систематична	середньоквадратична
Складна формула серединних перерізів	-	-
Таблиці ДСТУ 4020-2-2001	1,2	7,3
Формула Дементьєва	2,8	8,0
Проста формула Смаліана	7,1	11,9
Проста формула серединного перерізу	-0,2	0,2

Із даних табл. 1 видно, що найточнішим методом таксації об'єму колод є проста формула серединного перерізу, яка має близькі до нуля систематичну і середньоквадратичну помилки. Як уже зазначалося вище, застосування цієї формули певною мірою дає змогу врахувати збіг колод. Результати аналізу точності простої формули Губера окремо для 87 окорених колод, які, як відомо, характеризуються підвищеним збігом (для масиву дослідних даних

середній збіг окорених колод без кори становив $1,8 \text{ см} \cdot \text{м}^{-1}$, а решти – $0,8 \text{ см} \cdot \text{м}^{-1}$), підтвердили вказану особливість. Так, систематична і середньоквадратична помилки цього методу для масиву дослідних колод, заготовлених виключно з окорених частин стовбура, становлять відповідно $-0,3 \%$ і $0,2 \%$, тобто, як і для всього масиву дослідних даних, близькі до нуля. Варто нагадати, що саме просту формулу серединного перерізу використано як математичну модель об'єму колод у таблицях ДСТУ 4020–2–2001.

Результати аналізу точності різних методів таксації об'єму колод також засвідчили, що формула Дементьєва, яка, по-суті, є аналогом таблиць ГОСТ 2708-75, характеризується більш ніж удвічі вищою систематичною помилкою, порівняно з таблицями чинного ДСТУ.

Наступним етапом роботи було моделювання відносного і абсолютного значення товщини кори. Аналогічно до ДСТУ 4020-2-2001, як математичну модель товщини кори було використано складне степеневе рівняння:

$$P_k = 5,36 + 1,211 \cdot 10^{-5} \cdot d_c^{3,159}. \quad (4)$$

$$\tau = 1,00 + 1,542 \cdot 10^{-5} \cdot d_c^{3,159}. \quad (5)$$

Використовуючи співвідношення ($\tau_{відн}$) між діаметрами на середині колоди без кори ($d_{бк}$) і з корою (d_c), на основі масиву дослідних даних було обґрунтовано параметри математичної моделі серединного діаметра без кори:

$$d_{бк} = d_c \cdot \left(0,846 + \frac{9,938}{d_c + 76,84} \right) \quad (6)$$

Варто відзначити, що формули (4-6) дають змогу прогнозувати діаметр на середині колоди без кори з приблизно однаковою точністю, зокрема, середньоквадратична помилка усіх моделей не перевищує $\pm 4 \%$.

Використовуючи розроблені моделі та формули (1–3) для кожної колоди з масиву дослідних даних було обчислено об'єм, встановлено відхилення порівняно із складною формулою серединних перерізів і загалом систематичну та середньоквадратичну помилки. Виявилося, що таксація об'єму колод за формулами (1–3) характеризується близькою точністю, зокрема, статистично незначущою систематичною ($0,1\text{--}0,3 \%$) і не більше $7,2 \%$

середньоквадратичною помилками. Однак зауважимо, що формула (6) дає змогу прогнозувати діаметр колоди без кори з високою точністю, зокрема, систематична і середньоквадратична помилки цієї моделі для масиву дослідних даних становлять відповідно 0,2 % і 3,6 %. Точність формул (1–3) було проаналізовано також окремо для колод, заготовлених з окоренкової і серединної частин стовбурів. За усіма моделями об'єму отримано близькі результати. Варто відзначити, що визначення об'єму колод із серединної частини стовбура характеризується незначною середньоквадратичною помилкою (до 4 %).

Висновки і перспективи. Результати аналізу точності різних методів визначення об'єму круглих ділових лісоматеріалів засвідчили обґрунтованість використання під час масової таксації об'ємних таблиць ДСТУ 4020–2–2001, оскільки в основу їхнього розроблення покладено просту формулу серединного перерізу, яка показала найвищу точність з усіх методів. Аналіз різних методик розроблення зазначених нормативів засвідчив, що усі вони характеризуються приблизно однаковою точністю, причому, як для колод, заготовлених з окоренкової частини стовбура, так і для решти. Однак у випадку вдосконалення чинних таблиць чи розроблення моделі об'єму колод для інших видів деревних рослин, відсутніх у чинному стандарті, рекомендуємо скористатися формулою (3), яка передбачає моделювання відносного співвідношення між діаметрами на середині колоди без кори і з корою.

Список використаних джерел

1. Анучин Н. П. Лесная таксация. Москва : Лесная промышленность, 1982. 552 с.
2. ГОСТ 2708–75. Лесоматериалы круглые. Таблицы объемов. [Действующий от 1997-01-01]. Москва : Стандартинформ, 2006. 19 с.
3. ДСТУ 4020–2–2001. Лісоматеріали круглі та пиляні. Методи обмірювання та визначення об'ємів. Ч. 2. Лісоматеріали круглі. [Чинний від 2001-04-05]. Київ : Держстандарт України, 2001. 70 с.
4. Миронюк В. В., Свинчук В. А. Лісова таксація : конспект лекцій для студентів напряму підготовки: 6.090103 – «Лісове і садово-паркове господарство». Київ : НУБіП України, 2016. 105 с.

5. Свинчук В. А., Кашпор С.М., Миронюк В. В. Модель об'єму круглих лісоматеріалів за діаметром у верхньому відрізі та довжиною. *Науковий вісник НУБіП України*. 2014. Вип. 198. Ч. 1. С. 37–43.

6. Строчинський А. А., Маніта О. Г. Нові нормативи об'єму круглих лісоматеріалів. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. 1999. Вип. 20. С. 225–231.

7. Самойлов А. Н. Классификация и определение основных направлений развития методов измерения объема круглого лесоматериала. *Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. URL: <http://ej.kubagro.ru/2006/08/pdf/13.pdf> (дата звернення 15.11.2019).

8. Janak K. Round wood measurement system. URL: <http://www.intechopen.com/books/advanced-topics-in-measurements/round-wood-measurement> (дата звернення 15.11.2019).

References

1. Anuchin N.P. (1982). *Lesnaya taksatsiya* [Forest Mensuration]. Moscow, Russia: Forest Industry, 552.

2. GOST 2708–75. *Lesomaterialyi kruglyie. Tablitsyi ob'emov* [Roundwood. Volume Tables]. Moscow, Russia: Standartinform, 2006. 19.

3. DSTU 4020–2–2001. *Lisomaterialy kruhli ta pyliani. Metody obmiriuvannia ta vyznachennia ob'iemiv. Ch. 2. Lisomaterialy kruhli*. [Roundwood and Lumber. Methods for Measurements and Volume Calculation. Part. 2. Roundwood] Kyiv, Ukraine: State Standard of Ukraine. 2001. 70.

4. Myroniuk, V.V., Svynchuk, V.A. (2016). *Lisova taksatsiia: konspekt lektsii dlia studentiv napriamu pidhotovky: 6.090103 – «Lisove i sadovo-parkove hospodarstvo»* [Forest Mensuration: Lecture notes]. Kyiv, Ukraine: NUBiP of Ukraine, 105.

5. Svynchuk, V.A., Kashpor, S.M., Myroniuk, V.V. (2014). *Model ob'iemu kruhlykh lisomaterialiv za diametrom u verkhnomu vidrizi ta dovzhynoiu* [Model volume of round timber with a diameter in the upper cut and length]. *Scientific Bulletin of NUBiP of Ukraine*, 198/1, 37-43.

6. Storchynskyi, A.A., Manita, O.G. (1999). *Novi normatyvy obiemu kruhlykh lisomaterialiv* [New standards for the volume of round timber]. *Scientific Bulletin of the National Agrarian University*, 20, 225-231.

7. Samoilov A.N. Classification and determination of the main directions of development of methods for measuring the volume of round timber. Available at: <http://ej.kubagro.ru/2006/08/pdf/13.pdf>.

8. Janak K. Round wood measurement system. Available at: <http://www.intechopen.com/books/advanced-topics-in-measurements/round-wood-measurement>.

АНАЛИЗ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАЗРАБОТКИ НОРМАТИВОВ ОБЪЕМА КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

В. А. Свинчук, С. Н. Кашипор, В. В. Миронюк

В лесохозяйственной практике Украины действующими до недавнего времени были два норматива объема круглых деловых лесоматериалов ГОСТ 2708-75 и ДСТУ 4020-2-2001. В связи с отменой с 01.01.2019 года в лесной отрасли межгосударственных стандартов (ГОСТов), единственным стандартом в Украине при учете объема деловых бревен стал ДСТУ 4020-2-2001 (pr EN 1309-2: 1998). Этот норматив предусматривает таксацию объема бревен по их длине и срединным диаметром бревна с корой.

При разработке таблиц ДСТУ 4020-2-2001, было использовано следующее соотношение:

$$V = \frac{\pi}{4} * 10^{-4} * \left[d_c * \left(1 - \frac{P_k}{100} \right) \right]^2 * l, \quad (1)$$

где V – объем бревна без коры, m^3 ;

l – длина бревна, m ;

d_c – срединный диаметр бревна с корой, cm ;

P_k – процент толщины коры по отношению к диаметру.

Из формулы (1) следует, что основным, в методическом отношении, вопросом при разработке этого стандарта, было моделирование процента коры. С этой целью было использовано сложное степенное уравнение ($y = a_0 + a_1 * x^{a_2}$). Кроме приведенной выше методики, для разработки аналогичных таблиц объема бревен, можно воспользоваться другим подходом:

$$V = \frac{\pi}{4} * 10^{-4} * (d_c - \tau)^2 * l, \quad (2)$$

где τ – двойная толщина коры, cm .

Особенностью этой методики является необходимость моделирования абсолютного значения толщины коры. Однако известно, что при разработке математических моделей удобнее пользоваться не абсолютными показателями, которые, как правило, характеризуются высокой изменчивостью, а относительными. Поэтому для разработки проекта таблиц объема бревен можно использовать соотношение ($\tau_{отн}$) между диаметрами на середине бревна без коры ($d_{ок}$) и с корой (d_c). Используя для моделирования указанного соотношения, например, уравнение сложной гиперболы $y = a_0 + a_1/(x + a_2)$, диаметр без коры можно вычислить по формуле $d_{ок} = d_c * (a_0 + \frac{a_1}{d_c + a_2})$, а объем бревна как соотношение:

$$V = \frac{\pi}{4} * 10^{-4} * l * \left[d_c * \left(a_0 + \frac{a_1}{d_c + a_2} \right) \right]^2. \quad (3)$$

С целью анализа точности различных методов таксации объема круглых деловых лесоматериалов и усовершенствования методик разработки соответствующих нормативов, из базы научно-исследовательских данных кафедры таксации леса и лесного менеджмента НУБиП Украины случайным образом было отобрано 200 деловых бревен сосны обыкновенной, которая является одной из главных лесообразующих древесных пород Украины.

Результаты анализа точности различных методов определения объема круглых деловых лесоматериалов показали обоснованность использования во время массовой таксации объемных таблиц ДСТУ 4020-2-2001. Анализ различных методик разработки указанных нормативов показал, что все они характеризуются практически одинаковой точностью. Однако в случае совершенствования действующих таблиц или разработки модели объема бревен для других древесных видов рекомендуем воспользоваться формулой (3).

Ключевые слова: объем, бревно, срединный диаметр, длина, кора, модель, лесоматериал, стандарт, точность.

ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF METHODOLOGY FOR DEVELOPING ROUNDWOOD VOLUME TABLE

V. Svynchuk, S. Kashpor, V. Myroniuk

Currently there are two State Standards being in force in forestry of Ukraine for roundwood volume estimation: the Interstate standard GOST 2708–75 and the State standard of Ukraine DSTU 4020–2–2001. In consequence of cancelation in forest practice from January 1, 2019 interstate standards (GOSTs), DSTU 4020–2–2001 (pr EN 1309-2:1998) will remain the only one volume tables that are valid for timber volume calculation in Ukraine. This standard uses log length and midpoint diameter outside bark measurements to get volumes.

The following equation was applied in DSTU 4020-2-2001 to derive roundwood volumes:

$$V = \frac{\pi}{4} * 10^{-4} * \left[d_m * \left(1 - \frac{P_b}{100} \right) \right]^2 * l, \quad (1)$$

where V – log volume inside bark, m^3 ;

l – log length, m;

d_m – midpoint diameter of log outside bark, cm;

P_b – percent of bark thickness.

It follows from equation (1) that the most important methodological issue for constructing the volume tables was modelling bark thickness. The authors incorporated complex exponent equation $y = a_0 + a_1 * x^{a_2}$ for that task.

Besides described methodology, another approach is possible to construct roundwood volume tables based on midpoint diameter:

$$V = \frac{\pi}{4} * 10^{-4} * (d_m - \tau)^2 * l, \quad (2)$$

de τ – bark thickness, cm.

The specific of this methodology is direct modelling of bark thickness. As it is known, relative rather than absolute values are more appreciable for modelling since they are less variable. From that point of view, the ratio (τ_r) between log midpoint diameters inside bark (d_{ib}) and outside bark (d_{ob}) could be applied. For example,

based on complex hyperbola equation $y = a_0 + \frac{a_1}{x + a_2}$ being used to fit abovementioned ratio, diameter inside bark could be calculated by formula $d_{ib} = d_m * \left(a_0 + \frac{a_1}{d_m + a_2} \right)$.

and log volume as follows

$$V = \frac{\pi}{4} * 10^{-4} * l * \left[d_m * \left(a_0 + \frac{a_1}{d_m + a_2} \right) \right]^2. \quad (3)$$

In order to assess the accuracy of different approaches of roundwood volume estimation aimed to improve methodology for volume tables construction, we selected randomly 200 merchantable pine logs from experimental dataset collected by department of forest mensuration and forest management of NUBiP of Ukraine. It should be mentioned that pine is among main forest forming tree species in Ukraine.

The accuracy analysis of different approaches for roundwood volume calculation has proved substantiations of application of DSTU 4020–2–2001 for operational use in forestry. The comparison of different principles for construction volume tables has showed that they are nearly of the same accuracy. Nevertheless, in case of development new volume tables for other tree species or for improvements of existing ones we recommend applying formula (3).

Keywords: volume, log, middle diameter, length, bark, model, timber, standard, accuracy.