

УДК 630*182.59

О. А. СЛИШ[†], В. А. СОЛОДОВНИК, М. І. БУКША*

**МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОФІЛІВ
СТОВБУРІВ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ЇХНЬОЇ СОРТИМЕНТНО-ГАТУНКОВОЇ
СТРУКТУРИ**

Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького

Розглядається використання програмно-технологічного комплексу Field-Mar для встановлення товарної та сортиментно-гатурнкової структури лісосік без рубання модельних дерев. Розраховано математичну модель твірної стовбура на основі дистанційного вимірювання діаметрів. Встановлено, що сумарна різниця в об'ємах сортиментів, визначених за таблицями ГОСТ 2708-75, формулою кінцевих перерізів і твірною стовбура становить -1,2 %.

Ключові слова: дистанційне вимірювання, профіль стовбура, сортиментація, Field-Mar

Вступ. На сучасному етапі розвитку лісового господарства актуальним є достовірне визначення сортиментно-гатурнкової структури запасу на ділянках, що відводяться у рубку. Це потрібно, зокрема, для економічного планування діяльності підприємств із урахуванням попиту на ринках деревної продукції. Для встановлення сортиментної структури деревостанів за загальними нормативами слід взяти до уваги, що в них не враховано регіональні особливості та лісорослинні умови, а також відображено лише один з можливих варіантів розкрязування стовбурів [6].

Достовірність та оперативність одержання даних забезпечують тільки сучасні ГІС-технології, які поєднують картографічну й атрибутивну складові та адекватно представляють лісові об'єкти. Програмні засоби мають бути об'єднані в єдиний технологічний комплекс із сучасними вимірювальними приладами: електронними вилками, висотомірами, далекомірами тощо.

Перспективним для встановлення товарної та сортиментно-гатурнкової структури лісосік є програмно-технологічний комплекс Field-Mar, який розроблено в Інституті досліджень лісових екосистем (IFER, Чеська Республіка). До складу базового комплексу обладнання Field-Mar, яке можна використовувати для визначення сортиментно-гатурнкової структури деревостанів без рубки модельних дерев, входять: польовий комп'ютер Hammerhead, електронний компас MapStar II, лазерний далекомір-висотомір Forest-Pro з оптичним прицілом, який дає змогу проводити дистанційне вимірювання діаметрів.

Field-Mar може працювати з електронними вилками, формуючи перелікові відомості. Через бездротовий зв'язок або кабель до Field-Mar можна приєднувати пристрої для зчитування штрих-кодів чи RFID-міток, що дає можливість здійснювати поштучний облік колод у польових умовах.

Матеріально-грошову оцінку лісосіки розраховують програмними засобами Field-Mar або іншими програмами матеріально-грошової оцінки лісосіки, які можуть підключатися до Field-Mar як окремі модулі. Також є можливість передавати інформацію через мобільний зв'язок на рівень лісництва, лісгоспу чи обласного управління та до централізованої бази даних єдиної системи державного обліку деревини. Завдяки наявності обмінного формату, який підтримується Field-Mar, інформація може бути передана для подальшого використання в різних програмних продуктах – ГІС, СУБД, офісних та бухгалтерських програмах тощо [2].

Співробітниками лабораторії моніторингу і сертифікації лісів у рамках проекту ТехІнЛіс проведено пілотні експерименти із застосування технології Field-Mar для відведення і таксації лісосік у соснових деревостанах. Результати використання Field-Mar, які були одержані в лісах ДП «Вовчанське ЛГ» та «Гутянське ЛГ» Харківської області, а також

[†] Науковий керівник – д-р с.-г. наук В. П. Пастернак

* © О. А. Слиш, В. А. Солодовник, М. І. Букша, 2014

вимірювання у дубових деревостанах ДП «Конотопське ЛГ» довели, що різниця між оцінкою запасів деревини, зробленою за допомогою Field-Mar, та реальним запасом була меншою за 1 %, різниця між оцінкою за сортиментними таблицями становила до 3 %, у той самий час за окремими розмірно-якісними категоріями деревини спостерігали досить суттєві відхилення [5, 8, 9].

Метою наших досліджень є встановлення потенційних можливостей використання технології Field-Mar для відведення і таксації лісосік у дубових деревостанах згідно з чинними нормативними актами. Для цього проведено оцінювання сортиментно-гатункової структури на відведених у рубку ділянках методом сортиментації насаджень за допомогою сортиментних таблиць та методом модельних дерев.

Матеріали і методи. Проведено роботи на 6 лісосіках суцільних рубок площею від 0,4 до 2,9 га у Радянському, Межиріцькому та Великовисторопському лісництвах ДП «Лебединське ЛГ» Сумської області. Ділянки були розташовані в рівнинній місцевості в умовах свіжого грунту, свіжого та вологого субору (табл. 1). На ділянках за допомогою технології Field-Mar обміряно 19 модельних дерев для визначення профілю стовбура, зрубано та розкріяжено 7 модельних дерев та проведено їхню сортиментацію.

Таблиця 1

Лісівничо-таксаційна характеристика дослідних ділянок

Лісництво	№ п/п	Кв., вид.	Тип лісу	Склад	Бонітет	Повнота
Радянське	1	55/2	V ₃ -дС	6С34Дз+Бп	III	0,62
Великовисторопське	2	92/9	D ₂ -ялД	8Яз1Дз1Бп+Лпд,Клг	II	0,85
Великовисторопське	3	53/27	D ₂ -клД	10Дз+Бп,Лпд	II	0,73
Межиріцьке	4	45/7-1	D ₂ -клД	8Дз1Бп1Клг	II	0,64
Межиріцьке	5	45/7-2	D ₂ -клД	7Дз1Клг1Лпд1Яз	II	0,75
Радянське	6	77/5	V ₂ -дС	5С35Дз+Бп	III	0,64

Межі лісосік було закартовано за допомогою програмно-технологічного комплексу Field-Mar з використанням лазерного далекоміра та електронного компаса. Паспортна точність вимірювань відстані лазерним далекоміром становить 0,05 м, а точність електронного компаса – 0,3°, що відповідає нормативам відведення лісосік. На лісосіках проводили перелік дерев за елементами лісу, ступенями товщини та категоріями технічної придатності (якості). Під час сортиментації насаджень за допомогою сортиментних таблиць на відведеній у рубку ділянці за результатами переліку дерев і встановленого розряду висот визначали вихід окремих розмірно-якісних категорій дерев за ступенями товщини. Вихід сортиментів визначали за таблицями сортиментної структури деревостанів та з урахуванням сортиментного плану. Розрахунки проводили за програмою матеріально-грошової оцінки лісосік [1].

Застосовуючи метод модельних дерев, для встановлення сортиментної структури деревостану підбирали моделі, які відповідали середнім розмірам дерев за ступенями товщини та характеризували їхні якісні ознаки [7]. На модельних деревах проводили побудову профілю стовбура за методом «6 точок» (рис. 1), їхній умовний розподіл на сортименти з урахуванням розміру та якості стовбура, а також вимог стандартів [4]. Дані вимірювань модельних дерев було використано для параметризації рівнянь профілю стовбура, за допомогою яких розраховано об'єми модельних дерев, а також розподіл їх за сортиментами. Приклад даних наведено в таблиці рис. 1.

Об'єм, повнодеревність та збіг стовбурів можуть бути визначені за допомогою математичного моделювання їхньої твірної, визначеної одним або кількома рівняннями (за числом частин, на які розбивають стовбур). Форма твірної є однією з найважливіших характеристик деревного стовбура для встановлення його об'єму. Вона залежить від біологічних та екологічних властивостей деревних порід, віку дерева, впливу внутрішніх і зовнішніх чинників на його ріст та розвиток.

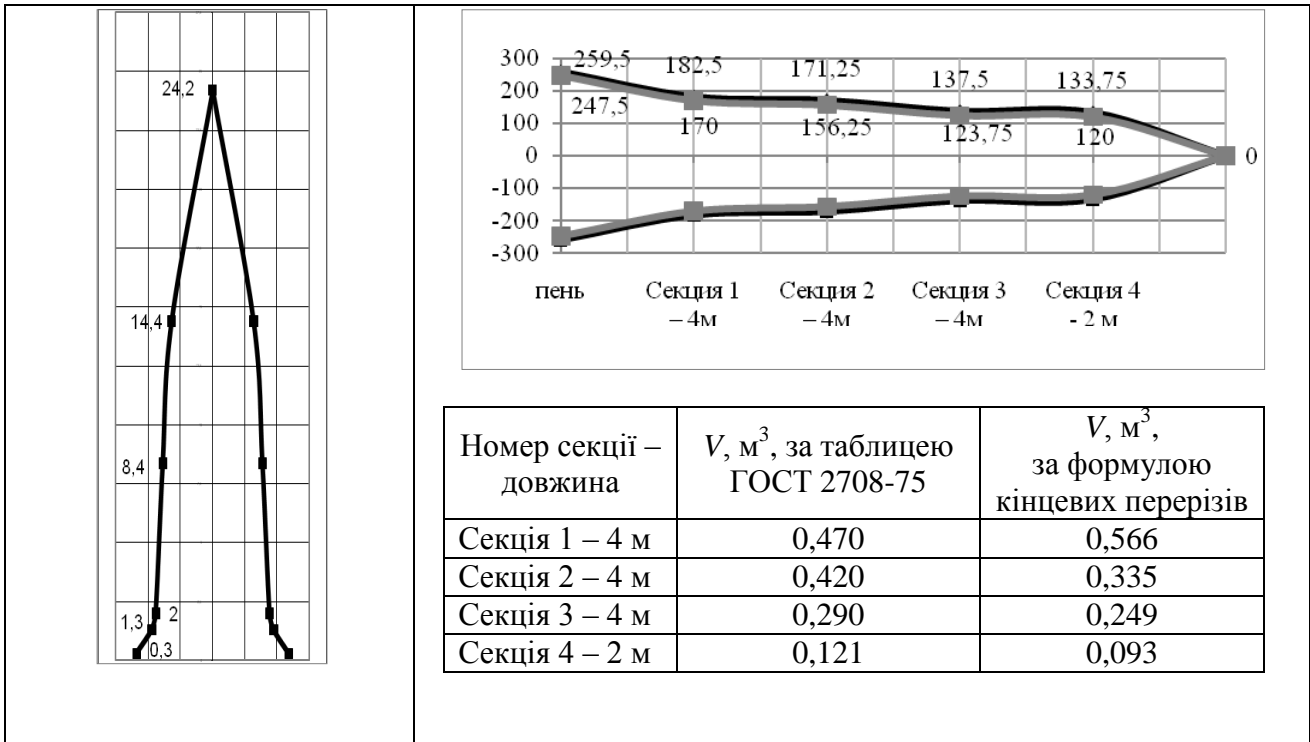


Рис. 1 – Результати вимірювання профілю стовбура за методом 6 точок

Вертикальний розріз стовбура вздовж його серцевини утворює фігуру, яка і визначає форму стовбура і є його твірною. Форму стовбура можна описати такими геометричними фігурами, як нейлоїд, циліндр, паралоїд і конус. При цьому загальне рівняння твірної кривої стовбура дерева матиме такий вигляд [7]:

$$y^2 = A \cdot x^m, \quad (1)$$

де y – радіус поперечного перерізу, см;

A – параметр, що визначає розмір кривої;

x – відстань між перерізом і вершиною кривої, м;

m – показник ступеня, який характеризує форму кривої.

Практично виконати таке розчленування стовбура дуже важко через відсутність чіткої межі між цими частинами стовбура, і тому надалі ускладнює розрахунок об'єму. Тому для побудови твірної стовбура було використано модифіковану функцію Брінка-Гадова [3].

Для модельних дерев було проведено вимірювання діаметрів на різних висотах, за якого на одне дерево припадало в середньому до 5 замірів на висотах 0,30 м; 1,3 м; 2,0 м; на 1/3 та 3/5 висоті дерева та більше. Ці дані використовували для побудови твірної стовбура за допомогою нелінійного регресійного рівняння через оцінювання невідомих параметрів (i , p , q) моделі. Виходячи з фактичної форми стовбура, ця функція описує нижню, середню і верхню частини поздовжнього профілю дерева на основі диференційного рівняння:

$$d_h = 2 \left[\frac{i}{1 - e^{q(1,3-H)}} + \left(\frac{d_{1,3}}{2} - i \right) \left(1 - \frac{1}{1 - e^{p(1,3-H)}} \right) + \frac{\left(\frac{d_{1,3}}{2} - i \right) e^{1,3p}}{1 - e^{p(1,3-H)}} e^{-ph} - \frac{i e^{-qH}}{1 - e^{q(1,3-H)}} e^{qh} \right] \quad (2)$$

Вирівнювання проводили за допомогою функції Riemer-Gadow-Sloboda, де параметри i , p , q розраховували за такими формулами [2] (табл. 2):

$$\begin{aligned} d_{\text{нмз}} &= A_0 \cdot d_{1,3}^A \\ p &= f(d_{\text{нмз}}) \end{aligned} \quad \begin{aligned} i &= A_0 \cdot d_{1,3}^A \cdot H^A \\ q &= A_0 \cdot d_{1,3}^A \cdot H^A \end{aligned} \quad (3)$$

Таблиця 2

Коефіцієнти для розрахунку диференціального рівняння

Порода	Параметр	A_0	A_1	A_2
Дуб звичайний	i	0,7911602	0,9698869	-0,1232333
	q	0,5571349	-0,6056255	-0,0066802
	$d_{дня}$	1,1720870	1,0044430	–

Значення об'ємів сортиментів розраховували за допомогою таблиць ГОСТ 2708-75, формули кінцевих перерізів та програмного забезпечення Field-Map Stem Analyst (SA) (табл. 3).

Таблиця 3

Результати обчислення об'ємів сортиментів різними методами

Метод обчислення	Номер модельного дерева на пробній площі							Разом
	1	2	3	4	5	6	7	
V , м ³ згідно з ГОСТ 2708-75, без кори	0,678	0,919	0,357	0,638	0,591	0,473	0,567	4,223
V , м ³ секцій за формулою кінцевих перерізів, без кори	0,769	1,001	0,417	0,711	0,654	0,452	0,613	4,617
V , м ³ SA, тільки секції	0,648	0,877	0,393	0,562	0,578	0,498	0,616	4,172
Різниця об'ємів SA-ГОСТ, м ³	-0,030	-0,042	0,036	-0,076	-0,013	0,025	0,049	-0,051
Різниця об'ємів SA-ГОСТ, %	-4,6	-4,8	9,2	-13,5	-2,2	5,0	8,0	-1,2

Різниця, що спостерігається в розрахунках об'ємів сортиментів, пояснюється особливостями форми стовбура в нижній його частині. В окоренковій частині стовбура об'єм, встановлений за таблицями ГОСТ 2708-75, як правило, є заниженим, а за формулою кінцевих перерізів – дещо завищеним. У середній частині стовбура відхилення в об'ємах сортиментів є незначними. Сумарне відхилення результатів розрахунків об'єму сортиментів за ГОСТ 2708-75 та Field-Map Stem Analyst становить -1,2 %.

Висновки. Застосування програмно-технологічного комплексу Field-Map є доцільним та перспективним для оцінювання лісових ресурсів у дубових деревостанах, оскільки дає можливість визначати сортиментну структуру деревостану без рубання модельних дерев, а також проводити розрахунки різних сценаріїв сортиментації, враховуючи запити споживачів деревини. У подальших дослідженнях необхідно встановити особливості сортиментної структури дубових деревостанів, враховуючи можливі приховані вади стовбурів. Розрахунки об'єму сортиментів, проведені за таблицями ГОСТ 2708-75, формулою кінцевих перерізів і твірною стовбура, показали, що сумарна різниця в об'ємах сортиментів, визначених різними методами, становить близько 1 %.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Інформаційні системи у лісовому господарстві. Матеріально-грошова оцінка лісосіки: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів лісогосподарського факультету / В. Г. Ємельянов, І. В. Жадан, А. В. Полупан, М. В. Любчич. – Х.: ХНАУ, 2007. – 34 с.
2. Информационный стандарт для лесного хозяйства Украины – основа интеграции данных и развития ГИС / М. Черны, И. Ф. Букша, В. П. Пастернак, Р. Русс // Лісівництво і агролісомеліорація. – 2005. – Вип. 108. – С. 9–16.
3. Клаус фон Гадов. Залежність збігу стовбура від показників деревостану / Клаус фон Гадов, М. П. Горошко, М. М. Король // Лісівництво і агролісомеліорація. – 2004. – Вип. 107. – С. 43-48.
4. Лесоматериалы круглые лиственных пород, размеры и технические требования: ГОСТ 9462-88. – [Введ в действ. 1991-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 10 с. – (Межгосударственный стандарт).
5. Лісівничо-таксаційна характеристика та картування деревостанів за допомогою польової ГІС «Field-

Мар» / І. Ф. Букша, В. П. Пастернак, Т. С. Мешкова, М. І. Букша // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість. – 2006. – Вип. 30. – С. 240–245.

6. Любчик М. В. Застосування сучасних технологій для підвищення ефективності використання лісових ресурсів / М. В. Любчик, І. Ф. Букша, В. П. Пастернак // Тези наук. конф., присвяченої 85-річчю з дня народження Б. Ф. Остапенка. – Х., 2007. – С. 77–78.

7. Любчик М. В. Обґрунтування принципів відбору модельних дерев для встановлення сортиментно-гатункової структури деревостанів / М. В. Любчик, І. Ф. Букша, В. П. Пастернак // Лісівництво і агролісомеліорація. – 2008. – Вип. 114. – С. 74–79.

8. Сlish О. А. Досвід застосування програмно-технологічного комплексу Field-Map при відведенні лісосік у ДП «Конопотське ЛГ» / О. А. Сlish, В. Ю. Яроцький // Наук. вісн. НУБіП України. Серія «Лісівництво та декоративне садівництво». – 2012. – Вип. 171, Ч. 3. – С. 84–90.

9. Сlish О. А. Особливості повнодеревності та сортиментної структури стовбурів дуба у різних лісорослинних умовах / О. А. Сlish, В. Ю. Яроцький, М. І. Букша // Матеріали читань з нагоди дня народження Б. Ф. Остапенка: «Лісова типологія: наукові, виробничі, навчальні аспекти розвитку», 14 березня 2014 р. – Х. : ХНАУ, 2014. – С. 110–113.

Slysh O. A., Solodovnik V. A., Buksha M. I.

METHODS OF REMOTE MEASUREMENT AND MODELING OF STEM PROFILES TO EVALUATE THEIR ASSORTMENT AND QUALITY STRUCTURE

Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

The usage of programming software Field-Map to establish commodity and assortment-quality structure on cutting areas without logging model trees is discussed. Mathematical model forming the trunk is calculated on the base of distance measuring diameter.

Building generatrix of stem trunk conducted using non-linear regression equation by assessing the unknown parameters (i , p , q) model. Based on the actual shape of the stem, this feature describes the lower, middle and upper parts of the longitudinal profile of a tree based on the differential equation. Alignment was performed using the Riemer-Gadow-Sloboda, where the parameters i , p , q calculated by the formulas. The value of assortment volumes calculated using tables of State Standard GOST 2708-75, the formula of finite cross section and software Field-Map Stem Analyst. The difference observed in the calculation of the assortment volumes is due to the peculiarities of form at the bottom part of the stem. In bottom part of the stem the volume set using tables of State Standard GOST 2708-75 is usually underestimate, while using the formula of finite cross section gives somewhat overestimate results. In the middle part of the stem the deviation in assortment volumes is small.

Application of programming software Field-Map is feasible and promising for the assessment of forest resources in oak stands, since it allows to define assortment-quality stand structure without cutting of model trees and perform calculations considering different scenarios of assortment for consumer demands for wood. In further research it is necessary to determine the features of assortment-quality structure of oak stands taking into account possible hidden defects of stems. Calculations of volume assortments using the tables of State Standard GOST 2708-75, the formula of finite cross section, and generatrix of stem showed that the total difference in assortments' volume determined by different methods is about 1%.

К е у w o r d s : remote measurement, stem profile, evaluation of assortment structure, Field-Map.

Сльш А. А., Солодовник В. А., Букша М. И.

МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОФИЛЕЙ СТВОЛОВ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ИХ СОРТИМЕНТНО-СОРТНОЙ СТРУКТУРЫ

Украинский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г. Н. Высоцкого

Рассматривается использование программно-технологического комплекса Field-Map для установления товарной и сортиментно-сортной структуры лесосек без рубки модельных деревьев. Рассчитана математическая модель образующей ствола на основе дистанционного измерения диаметров. Установлено, что суммарная разница в объёмах сортиментов, определенных по таблицам ГОСТ 2708-75, формуле конечных сечений и образующей ствола, составляет -1,2%.

К л ю ч е в ы е с л о в а : дистанционное измерение, профиль ствола, сортиментация, Field-Map

E-mail: monitoring@uriffm.org.ua

Одержано редколегією 03.09.2014