

МЕТОДИ ОТРИМАННЯ ПАРАМЕТРІВ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМІКИ ДЕРЕВОСТАНІВ

О.С. Токар¹, А.М. Козел², М.М. Король³, А.М. Цуняк⁴

Розроблено методи отримання параметрів математичних моделей динаміки деревостанів за основними лісівничо-таксаційними показниками, а також функції залежності висоти дерева від його діаметра. Для оцінювання параметрів моделей використано метод найменших квадратів. Для знаходження множини початкових наближень застосовано метод диференціальної еволюції. Для знаходження параметрів моделей росту використано також класичний метод знаходження початкового наближення саме для заданого типу задач. Для пришвидшення знаходження початкового наближення враховано фізичний зміст параметрів моделей та їхні межі. Для уточнення початкового наближення застосовано метод Левенберга-Марквардта. Запропоновані методи оптимізації реалізовано в середовищі MS Access на мові програмування Visual Basic for Applications. Створено форму для вибору параметрів алгоритмів. Є можливість фільтрування вибірки за ділянкою і деревною породою.

Ключові слова: деревостан, математичні моделі, параметри моделей, методи оптимізації.

Вступ. Розвиток індустріалізації останніми десятиріччями призвів до зростання викидів парникових газів (ПГ) в атмосферу, які впливають на економічний розвиток людства та екологічний стан довкілля. При цьому важливу роль у підтриманні та збереженні екологічної рівноваги відіграють лісові екосистеми, які виконують захисні, охоронні, киснетворні, рекреаційні та інші корисні функції. Саме тому назріла нагальна потреба збереження лісових екосистем та формування такої структури насаджень, яка забезпечує найповніше виконання функцій, важливих для існування життя на Землі. У вирішенні цих проблем важливим є виконання Рамкової конвенції ООН про зміну клімату та Кіотського протоколу до Рамкової конвенції ООН [1-3], які встановлюють зобов'язання на зниження викидів парникових газів для розвинених країн та країн із перехідною економікою.

Україна також є учасником Кіотського протоколу, згідно із ст. 5 якого мала б до 2012 р. вийти на обсяг викидів парникових газів на рівень 1990 р. На сьогодні залишається актуальним оцінювання емісії ПГ в атмосферу для різних секторів економіки. Методи обчислень емісій парникових газів, які розроблені Міжнародною групою експертів зі зміни клімату (ІРСС), є універсальними і не враховують регіональних особливостей окремих країн [4]. Іншим підходом є використання багаторівневих моделей інвентаризації емісій/стоків ПГ, що базуються на матеріалах статистичної інвентаризації, які несуть, зокрема, інформацію про кожен окрему лісову ділянку. Оскільки ліс є важливим фактором збереження вуглекислого газу в деревині, і для того щоб послабити антропогенний вплив на атмосферу, потрібно раціонально підходити до вибору системи рубок та ведення лісового господарства загалом. Під час використання даних,

¹ ст. викл. О.С. Токар, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

² ст. викл. А.М. Козел – НУ "Львівська політехніка";

³ доц. М.М. Король, канд. с.-г. наук – НЛТУ України, м. Львів;

⁴ зав. відділення землевпорядкування та дизайну А.М. Цуняк – Екологічний коледж Львівського НАУ

які отримано за допомогою статистичної інвентаризації, отримуємо кількісну оцінку про викиди та поглинання парникових газів як за фракціями, так і за урочищами, що дає змогу детальніше відображати відмінності між екосистемами регіону.

Мета роботи – розробити методи визначення основних лісівничо-таксаційних показників насадження та параметрів математичних моделей динаміки деревостанів, здійснити їх програмну реалізацію.

Методи дослідження. Одними з найважливіших ознак (параметрів) під час дослідження деревостану є площа дослідної ділянки, деревна порода, середній діаметр і висота дерев, густина. Інші показники, такі як абсолютна повнота, запас, середній та поточний прирости за запасом, є похідними, тобто такими, що розраховуються на підставі певних функцій та закономірностей. Процес отримання даних є дорогим та затратним. Тому дуже часто, виходячи із точності розрахунку похідних показників, використовують кореляційну залежність між кількісними та якісними ознаками. Так, для визначення запасу насадження не потрібно заміряти висоти всіх дерев на дослідній ділянці, але достатньо мати висоти дерев кількох крайніх і центральних ступенів товщини. Далі можна використовувати моделі зв'язку між діаметром і висотою [5-7]. Висоти решти дерев, які належать до цієї дослідної ділянки, можна отримати аналітичним способом із функціональної залежності. Окрім цього, широке застосування мають моделі для знаходження старого видового числа стовбура дерева, об'єму стовбура та запасу деревостану, знаходження домінантної висоти деревостану тощо.

У дослідженні для оцінювання залежності висоти від діаметра використано низку моделей [8]: Гомперца, Госфельда, логістичну, мономолекулярну, фон Берталафлі, Чампман-Ріхардса, Леваковіча, Корфа, які мають складну нелінійну структуру (табл. 1).

Табл. 1. Основні рівняння росту

Назва рівняння	Рівняння росту	Назва рівняння	Рівняння росту
Госфельд IV	$y = \frac{t^c}{b + t^c / a}$	фон Берталафлі	$y = a(1 - ce^{-bt})^3$
Гомперц	$y = ae^{-be^{-at}}$	Чампман-Ріхардс	$y = a(1 - e^{-bt})^c$
Логістична	$y = \frac{a}{1 + ce^{-bt}}$	Леваковіч III	$y = a \left(\frac{t^2}{b + t^2} \right)^c$
Мономолекулярна	$y = a(1 - ce^{-bt})$	Корф	$y = ae^{-bt^c}$

Для оцінки параметрів моделей a, b, c використано метод найменших квадратів [9], застосування якого вимагає розв'язання системи нелінійних рівнянь. Під час розв'язання системи нелінійних рівнянь традиційно спочатку знаходять множину початкових наближень. На початковому етапі проводять ітерації будь-яким з методів спуску, і таким чином отримують задовільне початкове наближення. Потім уточнення розв'язку знаходять за допомогою методу Ньютона.

Для знаходження множини початкових наближень у роботі застосовано метод диференціальної еволюції [10], який є новітнім стохастичним методом прямого пошуку. Його ідея бере початок у роботі "Симплекс метод для мінімізації функції" Й. Нелдера і Р. Міда 1965 р. [11]. Він простий у реалізації, не використовує значення похідних функції, має швидку збіжність, а також претендує на універсальність. Але, з іншого боку, будь-який універсальний метод розв'язання задач оптимізації має недоліки. Для знаходження параметрів моделей росту довелося застосувати також класичний метод знаходження початкового наближення саме для заданого типу задач. Для швидшої роботи знаходження початкового наближення враховано фізичний зміст параметрів моделей та їхні межі. Збіжність класичних методів оптимізації забезпечується достатньо вдалими знаходженням початкового наближення.

У роботі для уточнення початкового наближення застосовано метод Левенберга-Марквардта [12] (модифікований метод Ньютона). Це адаптивний метод, у якому параметри оцінюються на основі величини нев'язки – суми квадратів відхилень методу найменших квадратів. За зменшення параметра величина кроку алгоритму збігається до величини кроку методу Ньютона-Гауса, а за збільшення алгоритм Левенберга-Марквардта стає подібним до методу найшвидшого спуску. Ця особливість дає змогу швидше проходити яр мінімізуючої функції.

Результати дослідження. Методи оптимізації, які описано вище, реалізовані в середовищі MS Access на мові програмування Visual Basic for Applications. У роботі використано дані статистичної інвентаризації Спаського лісництва ДП "Брошнівське ЛГ" Івано-Франківської обл., які опрацьовано та внесено до розробленої бази даних "Лісові екосистеми" [13-15]. Для обчислення параметрів моделей створено форму "моделі" (рис. 1), окрім цього, є можливість фільтрування вибірки за ділянкою (пробними площами) і породою дерева. Результат роботи алгоритмів представляє графік функції нелінійної моделі.

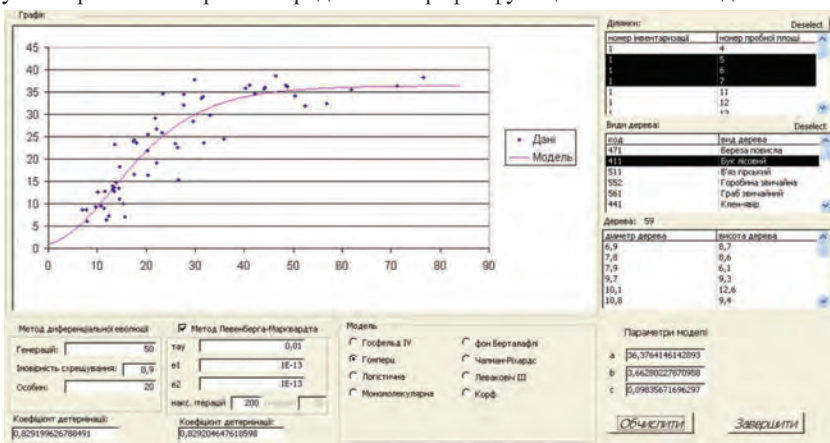


Рис. 1. Методи відбору даних і визначення параметрів математичних моделей динаміки деревостанів

При запуску форми "моделі" ініціалізуються списки "ділянки" і "породи дерев" шляхом виконання запитів до бази даних:

- SELECT код, вид_дерева FROM порода_дерева WHERE код in (select порода from дерева where висота_дерева > 0 and діаметр_дерева > 0 group by порода) ORDER BY вид_дерева;
- SELECT номер_інвентаризації, номер_пробної_площі FROM дерева WHERE висота_дерева>0 AND діаметр_дерева>0 GROUP BY номер_інвентаризації, номер_пробної_площі ORDER BY номер_інвентаризації, номер_пробної_площі.

На рис. 2. відображено списки ділянок (пробних площ) і порід дерев, які є критеріями здійснення вибірки. Перед тим, як виконати оптимізацію, натиснувши на клавішу "Обчислити", потрібно ввести параметри методів і вибрати модель. На рис. 3 і 5 зображено елементи форми для настройки методів. Після виконання обчислень наводяться коефіцієнти детермінації R^2 для кожного методу оптимізації, які вказують, наскільки отримані спостереження підтверджують модель.

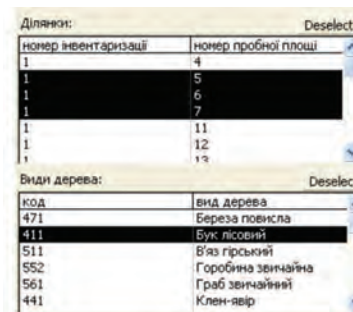


Рис. 2. Списки вибору

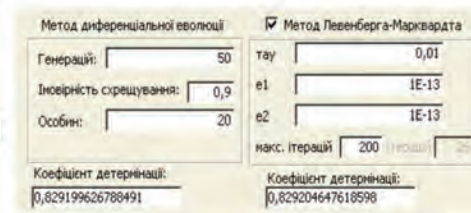


Рис. 3. Параметри методів оптимізації

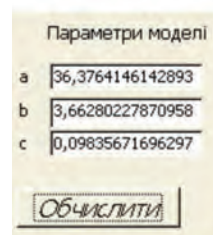


Рис. 4. Обчислені параметри вибраної моделі

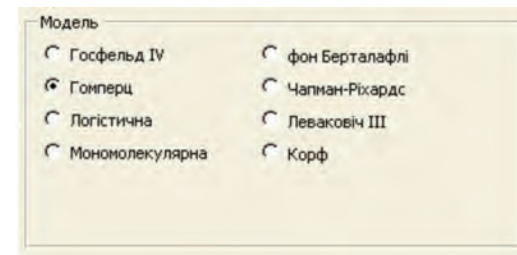


Рис. 5. Вибір моделі

Результатом виконання програми на рис. 4 є також числові параметри обраної моделі, на основі яких може бути побудований графік (рис. 6) і які будуть слугувати для подальших обчислень та аналізу.

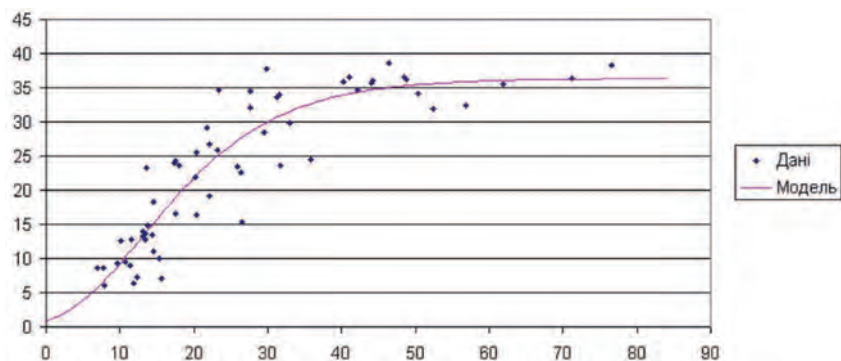


Рис. 6. Графік моделі і масив даних

Отже, розроблена форма дає можливість вибору моделі, знаходження числових параметрів цієї моделі, а також представити результати графічно як для окремої ділянки за породами, так і для цілого масиву із врахуванням породи дерев.

Висновки. Розроблені методи визначення параметрів математичних моделей залежності висоти дерева від його діаметра та їх програмна реалізація є ефективними для вибору оптимальної моделі. Саме використання математичних моделей, які враховують регіональну специфіку лісових насаджень, дасть змогу підвищити точність оцінювання запасів і стоків вуглецю у лісових екосистемах для підтримання прийняття рішень у галузі лісового господарства та природоохоронної діяльності, зокрема, для планування довготермінових екологічних, економічних та природоохоронних програм як на локальному, так і на регіональному рівнях, що, водночас, забезпечить екологічну стійкість регіону.

Література

1. United Nations Framework Convention on Climate Change. – United Nations, 1992. – 24 p. [Electronic resource]. – Mode of access <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>.
2. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. – United Nations, 1998. – 20 p. [Electronic resource]. – Mode of access <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
3. Doha amendment to the Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change – United Nations, 2012. – 6 p. [Electronic resource]. – Mode of access http://unfccc.int/files/kyoto_protocol/application/pdf/kp_doha_amendment_english.pdf
4. Игглестон Х.С. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006 г. – В 5-ти т. – Т. 4: Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования / Х.С. Игглестон, Л. Буэндиа, К. Мива, Т. Нгара, К. Танабе (редакторы). – ИГЕС, Япония, 2006. – 309 с.
5. Jiang L. Application of Nonlinear Mixed-Effects Modelling Approach in Tree / L. Jiang // Journal of computers. – 2010. – Vol. 5. – No. 10. – Pp. 1575-1581.
6. Misir N. Generalized height-diameter models for Populus tremula L. stands / N. Misir // African Journal of Biotechnology. – 2010. – Vol. 9(28). – Pp. 4348-4355. [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.academicjournals.org/AJB>
7. Nanos N. Geostatistical prediction of height/diameter models / N. Nanos, R. Calama, G. Montero, L. Gil // Forest Ecology and Management. – 2004. – Vol. 195. – Pp. 221-235.
8. Pretzsch H. Modellierung des Waldwachstums / H. Pretzsch. – Parey Buchverlag Berlin. – 2001. – 341 p.

9. Madsen K. Methods for Non-Linear Least Squares Problems / K. Madsen, H.B. Nielsen and O. Tingleff // Technical University of Denmark, 2004. Lecture notes. [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.imm.dtu.dk/courses/02611/nllsq.pdf>
10. Storn R. Differential revolution – a simple and efficient heuristic for global optimization continuous spaces / R. Storn // Journal of global optimization. – 1997. – Vol. 11. – Pp. 341-359.
11. Nelder John A. A simplex method for function minimization / John A. Nelder; R. Mead // Computer Journal. – 1965. – Vol. 7. – Pp. 308-313.
12. Marquardt D. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters / D. Marquardt // SIAM Journal on Applied Mathematics. – 1963. – Vol. 11, No. 2. – Pp. 431-441.
13. Токар О.Є. Автоматизація збирання та оброблення даних при дослідженні лісових масивів / О.Є. Токар, М.І. Густі, М.М. Король // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2007. – № 598. – С. 171-175.
14. Tokar O. Information technology for studying carbon sink in stemwood of forest ecosystems / O. Tokar, M. Lesiv, M. Korol // Econtechmod. – 2014. – Vol. 3, No. 1. – Pp. 113-121.
15. Токар О.Є. Визначення запасів вуглецю у фітомасі лісових насаджень із використанням інформаційних технологій / О.Є. Токар, М.М. Король, І.М. Шпаківська, В.М. Дичкевич // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.4. – С. 351-358.

Надійшла до редакції 04.04.2016 р.

Токар О.Є., Козел А.Н., Король М.Н., Цуняк А.Н. Методы получения параметров математической модели динамики древостоев

Разработаны методы получения параметров математических моделей динамики древостоя основных таксационных показателей, а также функции зависимости высоты дерева от его диаметра. Для оценки параметров моделей использован метод наименьших квадратов. При нахождении множества начальных приближений применен метод дифференциальной эволюции. Для нахождения параметров моделей роста использован также классический метод нахождения начального приближения именно для заданного типа задач. Для ускорения нахождения начального приближения учтен физический смысл параметров моделей и их пределы. Для уточнения начального приближения применен метод Левенберг-Марквардта. Предложенные методы оптимизации реализованы в среде MS Access на языке программирования Visual Basic for Applications. Также создана форма для выбора параметров алгоритмов. Есть возможность фильтрации выборки по участку и типу древесины.

Ключевые слова: древостой, математические модели, параметры моделей, методы оптимизации.

Tokar O.Ye., Kozel A.M., Korol M.M., Cunjak A.M. Some Methods for Determining the Parameters of Mathematical Models of Forest Growth

Some methods for determining the parameters of mathematical models of forest stand dynamics by main forest inventory indices, and a tree height function of tree diameter are developed. A least square method is applied for the parameter estimations. A differential evolution method is used for obtaining a set of initial values of the parameters. For estimation of the parameters of forest growth models a classic method of initial set identification that is specific for such model types is used. For minimizing the time of the initial set identification physical meaning of the parameters and their limits are taken into account. For more precise identification of the initial set the Levenberg-Marquardt algorithm is applied. The proposed optimization methods are programmed in Visual Basic for Applications in the MS Access environment. An interface for choosing of the algorithm parameters and selection of the input data by location or tree species is developed.

Keywords: forest stand, mathematical model, model parameters, optimization methods.