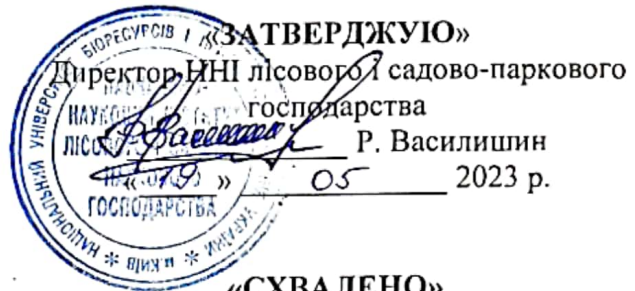


НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Кафедра таксації лісу та лісового менеджменту



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ННІ лісового і садово-паркового господарства  
Р. Васишин  
«10» 05 2023 р.

«СХВАЛЕНО»

на засіданні кафедри таксації лісу та лісового менеджменту

Протокол № 11 від «10» 05 2023 р.

Т.в.о. завідувача кафедри

В. МIRONIUK

«РОЗГЛЯНУТО»

Гарант ОП О. Бала

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Моделювання продуктивності лісів

спеціальність 205 – «Лісове господарство»

освітня програма «Лісове господарство»

ННІ лісового і садово-паркового господарства

Розробники: професор, докт. с.-г. наук, проф. МIRONIUK Віктор Валентинович  
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

Київ – 2023 р.

## 1. Опис навчальної дисципліни

### Моделювання продуктивності лісів

(назва)

Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітній ступінь		
Освітній ступінь	«Магістр»	
Спеціальність	205 – «Лісове господарство»	
Освітня програма	«Лісове господарство»	
Характеристика навчальної дисципліни		
Вид	Вибіркова	
Загальна кількість годин	150	
Кількість кредитів ECTS	5,0	
Кількість змістових модулів	2	
Форма контролю	Екзамен	
Показники навчальної дисципліни для денної та заочної форм навчання		
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Рік підготовки	2	2
Семестр	3	3
Лекційні заняття	20 год.	6 год.
Практичні, семінарські заняття	30 год.	8 год.
Лабораторні заняття	–	–
Самостійна робота	100 год.	136 год.
Індивідуальні завдання	–	–
Кількість тижневих аудиторних годин для денної форми навчання	5 год.	

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета дисципліни «Моделювання продуктивності лісів» полягає в оволодінні методами і технікою математичного моделювання продуктивності насаджень як визначального критерію господарської діяльності фахівців лісової справи.

Завданнями вивчення курсу моделювання продуктивності лісів є:

- ознайомлення з основними теоретичними і методичними напрямами його застосування в лісовому господарстві;
- оволодіння основними принципами математичного моделювання на системній основі, включаючи аналіз взаємозв'язку біометричних ознак;
- засвоєння методики розробки моделей у вигляді диференційних рівнянь і ростових функцій, планування активного та пасивного експериментів;
- вивчення теорії та практики побудови моделей методами математичної статистики як основного класу моделей, що застосовуються в лісовій справі;
- набуття навичок верифікації, інтерпретації та практичного застосування математичних моделей;

У результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти повинен

**знати:**

- основні таксаційні показники, які характеризують продуктивність лісових насаджень;
- теоретичні основи використання методів математичного моделювання з метою вивчення продуктивності лісових насаджень;
- техніку побудови математичних моделей росту й динаміки таксаційних показників насаджень;
- особливості пошуку закономірностей під час аналізу часових рядів спостережень;

**вміти:**

- правильно тлумачити результати кореляційного і регресійного аналізів, що застосовуються в моделювання показників продуктивності лісових насаджень;
- застосовувати методи моделювання для розв'язування конкретних прикладних задач;
- оцінювати та інтерпретувати багатомірні моделі системного плану, одержувані за допомогою сучасної обчислювальної техніки;
- розробляти найпростіші математичні моделі задач лінійного програмування;
- використовувати отримувані результати для прийняття рішень у конкретних виробничих та дослідницьких ситуаціях.

**Набуття компетентностей:**

**інтегральна компетентність (ІК):**

- здатність розв'язувати складні задачі і проблеми у галузі лісового та мисливського господарства або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень або здійснення інновацій та характеризується невизначеністю умов і вимог;

**загальні компетентності (ЗК):**

- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК2);

**спеціальні компетентності (СК):**

- здатність інтегрувати знання та розв'язувати складні задачі лісового господарства у широких або мультидисциплінарних контекстах (СК5).

**Програмні результати навчання (ПРН):**

- відшукувати необхідні дані в науковій літературі, базах даних та інших джерелах, аналізувати та оцінювати ці дані (РН4);
- застосовувати сучасні експериментальні та математичні методи, цифрові технології та спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язання складних задач лісового та мисливського господарства (РН11).

### **3. Програма та структура навчальної дисципліни**

#### **ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 1.**

#### **МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ПРОДУКТИВНОСТІ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ**

##### **Тема лекційного заняття 1.**

##### **Математичне моделювання як основний метод дослідження лісових об'єктів**

Поняття моделі. Аналітичні, табличні та графічні моделі. Внутрішні (теоретичні) та зовнішні (емпіричні) математичні моделі. Моделювання як основний процес дослідження лісових об'єктів. Етапи процесу моделювання. Використання програмного забезпечення для розроблення математичних моделей у дослідженні продуктивності лісових насаджень.

**Тема лекційного заняття 2.**  
**Апроксимації дослідних даних**

Пошук параметрів математичних моделей на основі методу найменших квадратів. Обмеження методу найменших квадратів під час апроксимації моделей динаміки. Метод деформованого многогранника як один із класичних методів знаходження нелінійних параметрів. Сучасні підходи підгонки математичних моделей та їхня реалізація в програмному забезпеченні.

Множинний регресійний аналіз. Розробка моделей множинної регресії сучасними математичними методами. Поняття про «обов'язкові» та «вільні» змінні.

Показникові та степеневі рівняння. Монотонні рівняння, непідвладні методу найменших квадратів. Апроксимація монотонних рівнянь на персональних комп'ютерах.

**Тема лекційного заняття 3.**  
**Методи аналізу часових рядів**

Приклади часових рядів. Обмеження статистичних методів під час аналізу рядів динаміки. Поняття автокореляції та її використання в моделюванні. Сезонність і стаціонарність даних. Крос-кореляція двох часових рядів.

Моделювання часових рядів.

**Тема лекційного заняття 4.**  
**Оцінювання неадекватності моделей**

Оцінювання неадекватності моделей статистичними методами. Графічні методи аналізу неадекватності прогнозу.

Невизначеність математичних моделей. Помилки параметрів рівняння та довірчий інтервал прогнозування. Використання бутстрепінгу для побудови довірчого інтервалу прогнозування.

**ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2**  
**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ ДЛЯ**  
**ОПТИМІЗАЦІЇ ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ**

**Тема лекційного заняття 5.**  
**Методи вивчення росту і продуктивності лісових насаджень**

Поняття продуктивності. Таксаційні показники продуктивності насаджень, взаємозв'язок між ними і рештою біометричних ознак.

Нормативи, котрі відображають продуктивність лісових насаджень. Таблиці ходу росту нормальних і модальних деревостанів. Використання моделей росту деревостанів в практичних і наукових завданнях.

**Тема лекційного заняття 6.**  
**Збір та первинна обробка дослідного матеріалу**

Дослідний матеріал, покладений в основу моделювання продуктивності насаджень, його первинна обробка і систематизація. Таксаційна будова дослідних насаджень. Закон розподілу ключових біометричних ознак.

Коефіцієнт кореляції та кореляційне відношення, їхня схожість. Коефіцієнт детермінації. Передумови застосування статистик зв'язку.

### Тема лекційного заняття 7.

#### Моделі динаміки і прогнозу в лісовій справі

Особливості розробки моделей динаміки і прогнозу в лісовій справі. Задачі вивчення закономірностей росту насаджень, що призводять до моделей з нелінійними параметрами. Функції росту.

Особливості моделювання динаміки таксаційних показників за рівнями продуктивності. Використання моделей змішаного ефекту для відтворення динаміки таксаційних показників насаджень різних рівнів продуктивності.

### Тема лекційного заняття 8.

#### Уніфікація системи бонітування лісових насаджень

Природні та штучні класифікації лісових насаджень за продуктивністю. Недоліки і переваги лісотипологічного та бонітетного підходів до класифікації насаджень. Уніфікація нормативів за рівнями продуктивності. Методика моделювання бонітетних шкал.

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин													
	денна форма							Заочна форма						
	тижні	усього	у тому числі					усього	у тому числі					
			л	п	лаб	інд	с.р.		л	п	лаб	інд	с.р.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
<b>Змістовий модуль 1. Методичні основи моделювання показників продуктивності лісових насаджень</b>														
Тема 1. Математичне моделювання як основний метод дослідження лісових об'єктів	1	14	2	2	–	–	10	14	–	–	–	–	14	
Тема 2. Апроксимація дослідних даних	2–3	30	4	6	–	–	20	28	2	–	–	–	26	
Тема 3. Методи аналізу часових рядів	4	16	2	4	–	–	10	16		2	–	–	14	
Тема 4. Оцінювання неадекватності моделей	5	14	2	2	–	–	10	16		2	–	–	14	
<b>Разом за змістовим модулем 1</b>	–	<b>74</b>	<b>10</b>	<b>14</b>	–	–	<b>50</b>	<b>74</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	–	–	<b>68</b>	
<b>Змістовий модуль 2. Моделювання продуктивності лісових насаджень для оптимізації її використання</b>														
Тема 5. Методи вивчення росту і продуктивності лісових насаджень	6	16	2	4	–	–	10	16	2	–	–	–	14	
Тема 6. Збір та первинна обробка дослідного матеріалу	7–8	30	4	6	–	–	20	28	2	–	–	–	26	
Тема 7. Моделі динаміки та прогнозу в лісовій справі	9	14	2	2	–	–	10	16	–	2	–	–	14	
Тема 8. Уніфікація системи бонітування лісових насаджень	10	16	2	4	–	–	10	16	–	2	–	–	14	
<b>Разом за змістовим модулем 2</b>	–	<b>76</b>	<b>10</b>	<b>16</b>	–	–	<b>50</b>	<b>76</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	–	–	<b>68</b>	
<b>Усього годин</b>	–	<b>150</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	–	–	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	–	–	<b>136</b>	

#### 4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Моделювання динаміки верхньої висоти деревостану	4
2	Обґрунтування математичної моделі динаміки середньої висоти деревостану	4
3	Закономірності зміни середнього діаметра деревостану з віком	4
4	Моделювання динаміки суми площ перерізів дерев у насадженні	4
5	Взаємозв'язок середнього видового числа деревостану з віком	2
6	Динаміка кількості дерев, запасу і зміни запасу деревостану за десятирічними періодами	2
7	Моделювання динаміки таксаційних показників частини деревостану, що вибирається	4
8	Обчислення загальної продуктивності, середнього і поточного приростів деревостану	4
9	Нормативи динаміки таксаційних показників деревостану	2
	Разом	30

#### 5. Теми самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вивчення типів даних системи R і принципів роботи з ними: числові вектори та списки	10
2	Вивчення типів даних системи R і принципів роботи з ними: матриці і таблиці даних	20
3	Користувацькі функції системи R	20
4	Обробка графічної інформації в системі R	20
5	Цикли і умовні оператори системи R	20
6	Реалізація вибіркового методів в системі R	10
	Разом	100

#### 6. Контрольні запитання

1. Що таке «модель»? Наведіть приклади матеріальних моделей.
2. Наведіть класифікацію моделей. Які моделі найпоширеніші в лісовій справі?
3. На які етапи поділяється процес моделювання?
4. Які показники відображають продуктивність насаджень?
5. Чому верхня висота є одним із ключових показників дослідження продуктивності лісових насаджень?
6. Яким критеріям повинні відповідати оптимальні насадження?
7. Наведіть і розтлумачте формулу обчислення поточного приросту за сумарними корисностями.
8. Наведіть приклади нормативів, котрі відображають продуктивність лісових насаджень.
9. Які чинники слугують передумовою проведення кореляційного та регресійного аналізів?
10. Наведіть і розтлумачте універсальну формулу для обчислення основних статистик зв'язку.
11. Сформулюйте суть методу найменших квадратів, його переваги і недоліки.
12. Наведіть приклади показникових і степеневих рівнянь, що застосовуються для моделювання зв'язку між біометричними ознаками.

13. Як усуваються недоліки методу найменших квадратів?
14. Що таке «множинний регресійний аналіз»?
15. Наведіть схему сучасної розробки моделей множинної регресії.
16. Які змінні у моделюванні зв'язку вважаються «обов'язковими», а які «вільними»?
17. Наведіть приклади розповсюджених під час моделювання у лісовій справі монотонних рівнянь.
18. Що таке «загальна» і «внутрігрупова» девіати?
19. Як здійснюється оцінювання неадекватності математичної моделі?
20. В чому полягає принципова відмінність евристичних і математичних методів прогнозування?
21. В чому полягає особливість розробки моделей динаміки і прогнозу в лісовій справі?
22. Чому наслідком вивчення закономірностей росту насаджень є моделі з нелінійними параметрами?
23. Наведіть і охарактеризуйте функцію Мітчерліха.
24. Наведіть і охарактеризуйте функцію Томазіуса.
25. Наведіть і охарактеризуйте функцію Річардса.
26. В чому полягає суть методу деформованого многогранника?
27. За яких умов у методі деформованого многогранника відбувається операції віддзеркалення, стискання, розтягнення, редукції?
28. За якою схемою необхідно здійснювати моделювання функцій росту сучасними засобами обчислювальної техніки?
29. В чому полягає суть уніфікації системи бонітування лісових насаджень?
30. В чому суть теорії випадкових процесів?
31. Яким чином визначаються помилки прогнозування?
32. Що таке автокореляція?
33. В чому полягає особливість дослідження часових рядів?
34. Поясніть для чого застосовуються моделі змішаного ефекту.
35. Які методи оцінювання невизначеності моделей ви знаєте?

## 7. Методи навчання

Під час вивчення дисципліни використовуються словесні, наочні та практичні методи навчання.

## 8. Форми контролю

Основною формою контролю засвоєння дисципліни є екзамен. Після завершення вивчення навчального матеріалу в межах кожного змістовного модуля проводиться контроль знань у вигляді тесту, розробленого на ЕНК. Хід виконання індивідуальних завдання систематично контролюється викладачем під час занять.

## 9. Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти

Оцінювання знань студента відбувається за 100-бальною шкалою і переводиться в національні оцінки згідно з табл. 1 «Положення про екзамени та заліки у НУБіП України» (затверджено вченою радою НУБіП України від 26.04.2023 р. протокол № 10 ).

Для визначення рейтингу здобувачів вищої освіти з навчальної роботи та дисципліни використовуються наступна методика:

Поточний контроль		Рейтинг з навчальної роботи ( $R_{НР}$ )	Рейтинг з додаткової роботи ( $R_{ДР}$ )	Рейтинг штрафний ( $R_{ШТ}$ )	Підсумкова атестація (екзамен) ( $R_A$ )	Загальна кількість балів ( $R_{Дис}$ )
Змістовий модуль 1 ( $R_{M_1}$ )	Змістовий модуль 2 ( $R_{M_2}$ )					
0–100	0–100	0–70	0–20	0–5	0–30	0–100

$$R_{HP} = 0,7 \cdot \frac{R_{M_1} \cdot 2,5 + R_{M_2} \cdot 2,5}{5,0} + R_{ДР} - R_{ШТ}$$

$$R_{ДИС} = R_{HP} + R_{АТ}$$

**КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ  
з дисципліни «Моделювання продуктивності лісів»**

Лабораторні роботи (Самостійна робота)	Кількість балів	Проміжний контроль	Всього
<b>МОДУЛЬ 1</b>		<b>Годин/кредитів ECTS</b>	
<b>60/2,0</b>			
1. Моделювання динаміки верхньої висоти деревостану	10		
<i>Завдання 1. Вивчення типів даних системи R і принципів роботи з ними: числові вектори та списки</i>	5		
2. Обґрунтування математичної моделі динаміки середньої висоти деревостану	10		
<i>Завдання 2. Вивчення типів даних системи R і принципів роботи з ними: матриці і таблиці даних</i>	5		
3. Закономірності зміни середнього діаметра деревостану з віком	5		
4. Моделювання динаміки суми площ перерізів дерев у насадженні	10		
5. Взаємозв'язок середнього видового числа деревостану з віком	5		
<i>Завдання 3. Користувацькі функції системи R</i>	5		
<b>Разом</b>	<b>55</b>	<b>45</b>	<b>100</b>
<b>МОДУЛЬ 2</b>		<b>Годин/кредитів ECTS</b>	
<b>60/2,0</b>			
6. Динаміка кількості дерев, запасу і зміни запасу деревостану за десятирічними періодами	10		
<i>Завдання 4. Обробка графічної інформації в системі R</i>	5		
7. Моделювання динаміки таксаційних показників частини деревостану, що вибирається	10		
<i>Завдання 5. Цикли і умовні оператори</i>	5		
8. Обчислення загальної продуктивності, середнього і поточного приростів деревостану	10		
<i>Завдання 6. Реалізація вибіркового методу в системі R</i>	5		
9. Нормативи динаміки таксаційних показників деревостану	10		
<b>Разом</b>	<b>55</b>	<b>45</b>	<b>100</b>



## 10. Методичне забезпечення

1. Моделювання продуктивності лісів : Методичні вказівки для виконання практичних робіт у програмному забезпеченні R / НУБіП України ; розроб. : В. В. Миронюк, С. М. Кашпор, В. А. Свинчук, М. М. Кутя. К., 2015. 30 с. ULR: <http://dspace.nubip.edu.ua:8080/jspui/handle/123456789/618> .
2. Моделювання продуктивності лісів [Електронний ресурс]. ULR: <http://elearn.nubip.edu.ua/course/view.php?id=1550>

## 11. Рекомендована література

### – основна

1. Кивисте А. К. Функции роста леса : учебно-справочное пособие. Тарту : Изд. Эстонской с.-х. академии, 1988. 108 с.
2. Burkhart Н.Е. Modeling Forest Trees and Stands. 2012. 457 p.
3. Ritz С., Streibig J. С. Nonlinear Regression with R. 2008. 148 p.
4. Shumway R.Н., Stoffer D.С. Time series analysis and its applications. With R examples. 2011. 575 p.

### – допоміжна

1. Лісотаксаційний довідник / уклад. А.М. Білоус, С.М. Кашпор, В.В. Миронюк, В.А. Свинчук, О.М. Леснік. Київ : Видавничий дім «Вініченко», 2021. 424 с.
2. Модели роста и продуктивность оптимальных древостоев. К.: УСХА, 1992. 144 с.
3. Никитин К. Е., Швиденко А. З. Методы и техника обработки лесоводственной информации. М. : Лесн. пром-сть, 1978. 272 с.

### – інтернет-джерела

1. RStudio. [Заголовок з екрану]. ULR : <http://www.rstudio.com>
2. Introduction to Environmental Data Science. [Заголовок з екрану]. ULR : <https://bookdown.org/igisc/EnvDataSci>