

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**



**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до виконання практичних, лабораторних та самостійних робіт  
з дисципліни**

**МОДЕЛЮВАННЯ ТА  
ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ  
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

*(для студентів 5 курсу денної форми навчання  
спеціальності 263 – Цивільна безпека)*

Методичні вказівки до виконання практичних занять, курсової та самостійної роботи з дисципліни «Моделювання та прогнозування стану навколишнього середовища» (для студентів 5 курсу денної форми навчання спеціальності 263 – Цивільна безпека) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : В. О. Бараннік. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 15 с.

Укладач канд. фіз.-мат. наук **В. О. Бараннік**

Рецензент канд. техн. наук, доц. **Є. Г. Пономаренко**

*Рекомендовано кафедрою міських і регіональних екосистем, протокол № 6 від 25 грудня 2015 р.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 Методичні вказівки до виконання практичних робіт.....	5
2 Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт.....	7
3 Методичні вказівки до виконання самостійних робіт.....	13

## ВСТУП

Метою викладання навчальної дисципліни «Моделювання та прогнозування стану навколишнього середовища» є формування у студентів теоретичних знань і практичних навичок у галузі математичного моделювання фізичних й біотичних процесів під впливом природних і антропогенних чинників у довкіллі та прогнозування змін його стану на різних рівнях.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Моделювання і прогнозування стану навколишнього середовища» є навчання студентів:

- методам математичного моделювання фізичних процесів у довкіллі;
- методам моделювання біотичних процесів;
- врахуванню в математичних моделях природних та антропогенних чинників, що впливають на досліджувані процеси;
- прогнозуванню наслідків антропогенного впливу на біотичну та абіотичну складові довкілля.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні **знати:**

- основні терміни і поняття, що використовуються в межах означеного курсу, типи моделей, що використовуються в галузі охорони навколишнього середовища; етапи моделювання та їх послідовність
- принципи застосування диференціальних рівнянь при моделюванні екологічних процесів;
- основні положення математичної статистики та умови використання регресійних моделей; процедуру аналізу і моделювання часових рядов;
- методи прогнозування на основі регресійної моделі та моделі часового ряду;
- основні моделі гідро екологічних процесів і водних екосистем;
- моделі екологічних систем, динаміки чисельності популяцій, біоценозів, трофічного ланцюга;

**вміти:**

- визначати тип моделі, виконувати необхідні розрахунки параметрів моделі;
- обирати початкові і граничні умови при верифікації математичних моделей;
- за результатами моделювання визначати фактори антропогенного впливу (забруднень) на стан навколишнього природного середовища та окремих екосистем;
- розробляти і використовувати моделі популяційної екології;
- оцінювати адекватність і ефективність прогностичних схем;

**мати компетентності:**

- застосовувати понятійно-категорійний апарат та методи моделювання і прогнозування у професійній діяльності;
- проводити аналіз та обробку модельної інформації про стан навколишнього природного середовища, представляти її засобами сучасних НТП.

# 1 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

**Практичні заняття** – це важлива частина підготовки майбутнього фахівця, що дозволяє йому оволодіти навичками складання й використання в інженерних розрахунках різноманітних моделей процесів і простих систем. Мета практичних занять досягається спільним розглядом із студентами питань і прикладів математичного моделювання процесів, що відбуваються в природних і біоінженерних системах. З метою продуктивної організації проведення практичних занять методичними вказівками передбачається перелік завдань для виконання та питань для обговорення у відповідності до змістовних модулів і навчальних тем, що передбачені навчальною і робочою програмою.

## 1.1 Місце і види математичного моделювання в системному аналізі проблем забруднення довкілля

### *Запитання до теми:*

- 1) визначення системи;
- 2) види систем;
- 3) класифікація систем;
- 4) визначення моделі;
- 5) види моделей;
- 6) класифікація математичних моделей процесів довкілля;
- 7) стадії створення математичної моделі процесу довкілля;
- 8) використання математичних моделей для вивчення систем довкілля;
- 9) технічні засоби математичного моделювання процесів довкілля.

## 1.2 Регресійні моделі параметрів стану систем довкілля

### *Запитання до теми:*

- 1) класифікація імовірнісних моделей стану систем довкілля;
- 2) відмінності статистичних моделей процесів довкілля;
- 3) визначення статистик;
- 4) використання інженерних калькуляторів для розрахунку статистик.

**Завдання до теми:** оцінка параметрів лінійної регресії за вибірковими даними спостережень.

### 1.3 Детерміновані моделі процесів у біореакторах

#### **Запитання до теми:**

- 1) використання біореакторів у побуті і промисловості;
- 2) схема і режим роботи ідеального біореактора циклічної дії;
- 3) схема і режим роботи ідеального біореактора-змішувача;
- 4) схема і режим роботи ідеального біореактора-витискувача.

#### **Завдання до теми:**

- 1) розрахунок процесу очистки стічної води у біореакторі циклічної дії за наданими вихідними даними;
- 2) розрахунок процесу очистки стічної води у біореакторі-змішувачі за наданими вихідними даними;
- 3) розрахунок процесу очистки стічної води у біореакторі-витискувачі за наданими вихідними даними.

### 1.4 Детерміновані моделі процесів у водоймах

#### **Запитання до теми:**

- 1) види нереактивних процесів навколишнього середовища;
- 2) види реактивних процесів навколишнього середовища;
- 3) стан динамічної рівноваги.

**Завдання до теми:** розрахунок вмісту неконсервативної речовини у водоймі у стані динамічної рівноваги за наданими вихідними даними.

### 1.5 Список рекомендованих літературних джерел

1. Бараннік В. О. Моделювання і прогнозування стану довкілля : навч. посіб. / В. О. Бараннік. – Харків : ХНАМГ, 2007. – 85 с.
2. Вавилин В. А. Нелинейные модели биологической очистки и процессов самоочищения в реках : моногр. / В. А. Вавилин. – Москва : Наука, 1983. – 158 с.
3. Ковальчук П. І. Моделювання і прогнозування стану навколишнього середовища: навч. посіб. / П. І. Ковальчук. – Київ : Либідь, 2003. – 208 с.
4. Прокопенко А. И. Экономико-экологическое моделирование : учеб. пособ. / А. И. Прокопенко, А. Г. Вайнер, В. Л. Галкин ; Харьк. гос. пед. ун-т им. Г. С. Сковороды. – Харьков : АО «Бизнес Информ», 1997. – 360 с.
5. Примаков А. В. Системный анализ контроля и управления качеством воды и воздуха : моногр. / А. В. Примаков, В. В. Кафаров, К. И. Качиашвили. – Киев : Наук. думка, 1991. – 360 с.
6. Крамер Г. Математические методы статистики : пер. с англ. / Г. Крамер. – Москва : Мир, 1975. – 656 с.
7. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных : пер. с англ. / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М. : Наука, 1989. – 540 с.

## **2 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ**

*Лабораторні роботи* – це важлива частина підготовки майбутнього фахівця, що дозволяє йому оволодіти навичками складання й використання в інженерних розрахунках різноманітних моделей процесів і простих систем. Мета лабораторних робіт досягається спільним використанням із студентами імітаційних моделей для дослідження процесів, що відбуваються в природних і біоінженерних системах. З метою продуктивної організації проведення лабораторних занять методичними вказівками передбачається перелік завдань для виконання та питань для обговорення у відповідності до змістовних модулів і навчальних тем, що передбачені навчальною і робочою програмою.

### **2.1 Понятійний апарат та загальні принципи моделювання і прогнозування стану довкілля**

#### ***Запитання до теми:***

- 1) навести приклади і надати опис відкритих систем довкілля з поясненнями;
- 2) навести приклади і надати опис проточних систем довкілля з поясненнями;
- 3) навести приклади і надати опис непроточних систем довкілля з поясненнями;
- 4) навести приклади і надати опис обміну речовинами в системах;
- 5) навести приклади і надати опис обміну енергією в системах;
- 6) навести приклади і надати опис силової взаємодії в системах;
- 7) надати характеристику термінам «змінна», «вихід», «вхід», «коефіцієнт», «константа» у складі параметрів стану системи.

### **2.2 Понятійний апарат і засади моделювання і прогнозування стану довкілля**

#### ***Запитання до теми:***

- 1) навести приклади і надати фізичних моделей систем навколишнього середовища з поясненнями;
- 2) навести приклади і надати опис аналогових моделей систем навколишнього середовища з поясненнями;
- 3) навести приклади і надати опис ідеальних моделей систем навколишнього середовища;
- 4) навести приклади і надати опис знакових моделей систем навколишнього середовища.

#### ***Завдання до теми:***

- 1) надати опис функцій клавіш інженерного калькулятора;
- 2) надати опис функцій клавіш наукового калькулятора.

## **2.3 Місце і види математичного моделювання в системному аналізі проблем забруднення довкілля**

### ***Запитання до теми:***

- 1) навести приклади і надати опис призначення детермінованих моделей систем довкілля;
- 2) навести приклади і надати опис призначення імовірнісних моделей систем довкілля;
- 3) навести приклади і надати опис призначення динамічних моделей довкілля;
- 4) навести приклади і надати опис статичних моделей довкілля;
- 5) навести приклади і надати опис призначення непереривних моделей систем довкілля;
- 6) навести приклади і надати опис призначення дискретних моделей систем довкілля;
- 7) навести приклади і надати опис призначення моделей систем довкілля з розподіленими параметрами;
- 8) навести приклади і надати опис призначення моделей систем довкілля із зосередженими параметрами.

### ***Завдання до теми:***

- 1) створити послідовність випадкових чисел вказаного викладачем розміру з використанням можливостей інженерного калькулятора;
- 2) перевірити «випадковість» створеної послідовності чисел з використанням відповідних діаграм розсіювання даних.

## **2.4 Системний підхід до побудови математичних моделей**

### ***Запитання до теми:***

- 1) надати опис способів відбору одиниць спостережень з генеральної сукупності, що складають велику систему;
- 2) надати опис простого випадкового відбору одиниць спостережень з генеральної сукупності, що складають велику систему;
- 3) надати опис систематичного випадкового відбору одиниць спостережень з генеральної сукупності, що складають велику систему.

### ***Завдання до теми:***

- 1) створити послідовність випадкових чисел вказаного викладачем розміру з використанням можливостей Excel<sup>®</sup>;
- 2) перевірити «випадковість» створеної послідовності чисел з використанням відповідних діаграм розсіювання даних, створених за допомогою Excel<sup>®</sup>.



## **2.5 Статистичні методи моделювання і прогнозування стану довкілля (регресійні моделі, моделі часової та просторової динаміки)**

### ***Запитання до теми:***

- 1) надати опис визначення і використання статистик «вибіркове середнє», «стандартне відхилення», «коефіцієнт кореляції»;
- 2) надати опис складових статистичного аналізу даних спостережень з метою створення статистичної моделі процесу довкілля.

### ***Завдання до теми:***

- 1) за наведеними викладачем даними простої випадкової вибірки розрахувати вибіркове середнє, стандартне відхилення та границі довірчого (95%) інтервалу, що вміщує параметр розподілу «очікуване середнє»;
- 2) створити діаграму розподілу даних простої випадкової вибірки разом з наведеними розрахованими границями довірчого інтервалу.

## **2.6 Регресійні моделі параметрів стану систем довкілля**

### ***Запитання до теми:***

- 1) надати опис використання методу найменших квадратів і визначення параметрів рівняння регресії  $y(x) = \theta_0 + \theta_1 x$ ;
- 2) надати опис визначення параметрів рівняння лінійної регресії  $y(x) = \theta_0 + \theta_1 x$ .

### ***Завдання до теми:***

- 1) за наведеними викладачем даними простої випадкової вибірки розрахувати коефіцієнт кореляції, визначити наявність лінійної регресії і розрахувати величини параметрів регресії  $\theta_0$  і  $\theta_1$ ;
- 2) створити діаграму розподілу даних простої випадкової вибірки разом з графіком лінійної регресії.

## **2.7 Моделі Монте-Карло**

***Запитання до теми:*** надати опис створення і використання емпіричної функції розподілу даних спостережень, що складають просту випадкову вибірку.

***Завдання до теми:*** за наданою викладачем простою випадковою вибіркою даних спостережень створити графік емпіричної функції розподілу і розрахувати імовірність визначених викладачем випадкових подій.

## **2.8 Марковські моделі процесів у довкіллі**

***Запитання до теми:*** надати опис матричної моделі Уільямсона щодо динаміки популяції комах з трьохрічним життєвим циклом.

**Завдання до теми:** за наданими викладачем даними щодо початкового розподілу комах за віком розрахувати динаміку подальшого їх розподілу на протязі заданої кількості років.

## **2.9 Моделювання і прогнозування наслідків антропогенного впливу на довкілля**

**Запитання до теми:**

1) надати опис і навести приклади нереактивних процесів довкілля (адвекція, дифузія, адсорбція - десорбція, абсорбція – звітрювання);

2) надати опис і навести приклади нереактивних процесів довкілля (осідання – зависання, біологічне поглинання – біологічне вивільнення).

**Завдання до теми:** за наданими викладачем даними розрахувати щільності потоків речовини і питомі швидкості нереактивних процесів довкілля.

## **2.10 Аналітичне моделювання фізичних і біотичних процесів у довкіллі**

**Запитання до теми:**

1) надати опис і навести приклади реактивних процесів довкілля (хімічні перетворення, гідроліз, фотоліз);

2) надати опис і навести приклади реактивних процесів довкілля (ферментативні реакції, біотрансформація).

**Завдання до теми:** за наданими викладачем даними розрахувати питомі швидкості реактивних процесів довкілля.

## **2.11 Принципи складання детермінованих моделей процесів у довкіллі**

**Запитання до теми:**

1) надати опис складових рівняння матеріального балансу речовини для елемента системи;

2) надати опис закону діючих мас;

3) надати опис принципу стехіометричних обмежень.

**Завдання до теми:** за наданими викладачем вихідними даними розрахувати складові рівняння матеріального балансу і питому швидкість зміни вмісту речовини в елементі системи.

## **2.12 Детерміновані моделі процесів у біореакторах**

**Запитання до теми:**

1) надати опис і навести приклади біореакторів циклічної дії;

2) надати опис і навести приклади біореакторів – змішувачів;

3) надати опис і навести приклади біореакторів – визискувачів.

**Завдання до теми:** за наданими викладачем вихідними даними розрахувати величини вмісту субстрату і біомаси мікроорганізмів в біореакторі циклічної дії у визначені моменти часу і побудувати графіки залежності вмісту від часу.

### **2.13 Детерміновані моделі процесів у водоймах**

**Запитання до теми:** надати опис складових рівняння балансу маси неконсервативної речовини у водоймищі у стані динамічної рівноваги.

**Завдання до теми:** за наданими викладачем вихідними даними розрахувати залежність сталого вмісту неконсервативної речовини у водоймі від величини випаровування і побудувати відповідний графік.

### **2.14 Математичні моделі популяційної екології. Моделювання і прогнозування глобальних біосферних процесів**

**Запитання до теми:** надати опис складових динамічної моделі величини біомаси популяції організмів загального виду.

**Завдання до теми:** за наданими викладачем вихідними даними та користуючись засобами Excel<sup>®</sup> виконати перетворення матриць, які передбачені у бібліотеці Excel<sup>®</sup>.

### **2.15 Дискретні моделі динаміки чисельності окремих популяцій**

**Запитання до теми:** Надати опис складових дискретної моделі Мея динаміки популяції організмів з коротким періодом часу розмноження у річному життєвому циклі

**Завдання до теми:** за наданими викладачем вихідними даними розрахувати зміни чисельності модельної популяції організмів на протязі заданого інтервалу часу та побудувати відповідний графік.

### **2.16 Непереривні моделі динаміки біоценозів з урахуванням міжвидових відносин**

**Запитання до теми:** надати опис складових моделі динаміки простої екологічної системи, що описується рівняннями Вольтера.

**Завдання до теми:** за наданими викладачем вихідними даними та користуючись засобами Excel<sup>®</sup> виконати числові розрахунки змін у часі біомаси популяції організмів за динамічним рівнянням, що апроксимоване скінченими різницями.

## 2.17 Моделювання трофічного ланцюга на прикладі моделей «хижак-жертва»

*Завдання до теми:* за наданими викладачем вихідними даними розрахувати зміни у часі величини біомаси «хижака» і біомаси «жертви» за різними величинами співвідношень коефіцієнта розмноження «жертви» до коефіцієнта відмирання «хижака», побудувати відповідні графіки і надати коментарі за результатами їх споглядання.

## 2.18 Список рекомендованих літературних джерел

1. Бараннік В. О. Моделювання і прогнозування стану довкілля : навч. посіб. / В. О. Бараннік. – Харків : ХНАМГ, 2007. – 85 с.
2. Экология города : учеб. / [Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ф. В. Стольберга]. – Киев: Либра, 2000. – 464 с.
3. Вавилин В. А. Нелинейные модели биологической очистки и процессов самоочищения в реках : моногр. / В. А. Вавилин. – Москва : Наука, 1983. – 158 с.
4. Ковальчук П. І. Моделювання і прогнозування стану навколишнього середовища: навч. посіб. / П. І. Ковальчук. – Київ : Либідь, 2003. – 208 с.
5. Прокопенко А. И. Экономико-экологическое моделирование : учеб. пособ. / А. И. Прокопенко, А. Г. Вайнер, В. Л. Галкин ; Харьк. гос. пед. ун-т им. Г. С. Сковороды. – Харьков : АО «Бизнес Информ», 1997. – 360 с.
6. Примак А. В. Системный анализ контроля и управления качеством воды и воздуха : моногр. / А. В. Примак, В. В. Кафаров, К. И. Качиашвили. – Киев : Наук. думка, 1991. – 360 с.
7. Крамер Г. Математические методы статистики : пер. с англ. / Г. Крамер. – Москва : Мир, 1975. – 656 с.
8. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных : пер. с англ. / Дж. Бендат, А. Пирсол. – Москва : Наука, 1989. – 540 с.

### **3 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ**

*Самостійна робота студента* – це важлива частина підготовки майбутнього фахівця, що дозволяє йому навчитися роботі з різноманітними науковими й літературними джерелами, а також вмінню обробляти й аналізувати отриману інформацію. З метою продуктивної організації самостійної роботи студентів методичними вказівками передбачається перелік питань для самостійного вивчення і для обговорення у відповідності до змістовних модулів і навчальних тем, що передбачені навчальною і робочою програмою.

#### **3.1 Понятійний апарат і засади моделювання і прогнозування стану довкілля**

*Завдання до теми:* вивчення сучасних напрямків і ознайомлення з засобами використання математичних моделей для діагнозів і прогнозів екологічних процесів довкілля.

#### **3.2 Місце і види математичного моделювання в системному аналізі проблем забруднення довкілля**

*Завдання до теми:* вивчення сучасних моделей і ознайомлення з засобами візуалізації даних спостережень екологічних процесів довкілля.

#### **3.3 Системний підхід до побудови математичних моделей**

*Завдання до теми:* ознайомлення з прикладами використання математичних моделей у дослідженнях складних систем довкілля.

#### **3.4 Регресійні моделі стану систем довкілля**

*Завдання до теми:*

- 1) ознайомлення з прикладами використання регресійних моделей;
- 2) оцінювання величини індикаторів стану великих систем довкілля.

#### **3.5 Моделі Монте-Карло**

*Завдання до теми:* знайомлення з прикладами використання моделей Монте-Карло для вивчення статистичних характеристик процесів довкілля.

#### **3.6 Марковські моделі процесів у довкіллі**

*Завдання до теми:* ознайомлення з прикладами використання Марковських моделей динаміки систем довкілля.

#### **3.7 Аналітичне моделювання фізичних і біотичних процесів у довкіллі**

*Завдання до теми:* ознайомлення з прикладами використання моделей фізичних і біотичних процесів у довкіллі.

### **3.8 Принципи складання детермінованих моделей процесів у довкіллі**

*Завдання до теми:* ознайомлення з прикладами використання принципу матеріального балансу, закону діючих мас і принципу стехіометричних обмежень в детермінованих моделях систем навколишнього середовища.

### **3.9 Детерміновані моделі процесів у біореакторах**

*Завдання до теми:* ознайомлення з прикладами практичного використання детермінованих моделей для вивчення процесів у біореакторах.

### **3.10 Детерміновані моделі процесів у водоймах**

*Завдання до теми:* ознайомлення з прикладами використання детермінованих моделей для імітації процесів формування якості води у водоймах.

### **3.11 Дискретні моделі динаміки чисельності окремих популяцій**

*Завдання до теми:* ознайомлення з прикладами використання моделей динаміки чисельності окремих популяцій організмів у навколишньому середовищі.

### **3.12 Непереривні моделі динаміки біоценозів**

#### **з урахуванням міжвидових відносин**

*Завдання до теми:* ознайомлення з прикладами моделей динаміки біоценозів з урахуванням міжвидових відносин.

### **3.13 Моделювання трофічного ланцюга**

#### **на прикладі моделей «хижак-жертва»**

*Завдання до теми:* ознайомлення з прикладами моделювання трофічних ланцюгів з використанням динамічних моделей.

### **3.13 Список рекомендованих інформаційних джерел**

1. Моделювання і прогнозування стану довкілля: підруч. / [Лаврик В. І. та ін.] ; за ред. докт. техн. наук В. І. Лаврика. – Київ : ВЦ «Академія», 2010. – 400 с.
2. Пэнтл Р. Методы системного анализа окружающей среды : пер. с англ. / Р. Пэнтл. – Москва : Мир, 1979. – 214 с.
3. Прокопенко А. И. Экономико-экологическое моделирование : учеб. пособ. / А. И. Прокопенко, А. Г. Вайнер, В. Л. Галкин ; Харьк. гос. пед. ун-т им. Г. С. Сковороды. – Харьков : АО «Бизнес Информ», 1997. – 360 с.
4. Вавилин В. А. Нелинейные модели биологической очистки и процессов самоочищения в реках : моногр. / В. А. Вавилин. – Москва : Наука, 1983. – 158 с.
5. Лаврик В. І. Методи математичного моделювання в екології : моногр. / В. І. Лаврик. – Київ : Фітосоціоцентр, 1998. – 131с.

*Навчальне видання*

Методичні вказівки  
до виконання практичних, лабораторних та самостійних робіт  
з дисципліни

**«МОДЕЛЮВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ  
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА»**

*(для студентів 5 курсу денної форми навчання  
спеціальності 263 – Цивільна безпека)*

Укладач **БАРАНІК** Валерій Олександрович

Відповідальний за випуск *Ф. В. Стольберг*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2015, поз. 65 М

---

Підп. до друку 10.02.2016  
Друк на різнографі  
Зам. №

Формат 60x84/16  
Ум. друк. арк. 0,54  
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002  
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 5328 від 11.04.2017 р.