

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра економічної кібернетики та прикладної економіки

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної  
роботи

\_\_\_\_\_ А.В. Пантелеймонов

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Робоча програма навчальної дисципліни

**Імітаційне моделювання**

рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський) \_\_\_\_\_

галузь знань \_\_\_\_\_ 05 «Соціальні та поведінкові науки» \_\_\_\_\_

спеціальність \_\_\_\_\_ 051 Економіка \_\_\_\_\_

освітня програма \_\_\_\_\_ Прикладна економіка \_\_\_\_\_

спеціалізація \_\_\_\_\_

вид дисципліни \_\_\_\_\_ за вибором \_\_\_\_\_

факультет \_\_\_\_\_ економічний \_\_\_\_\_

2018 / 2019 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою економічного факультету

« 22 » червня 2018 року, протокол № 8

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: Біткова Тетяна Вікторівна, к.е.н., доцент, доцент кафедри економічної кібернетики та прикладної економіки

Програму схвалено на засіданні кафедри економічної кібернетики та прикладної економіки

Протокол від « 11 » червня 2018 року № 11

Завідувач кафедри економічної кібернетики та прикладної економіки

\_\_\_\_\_ Меркулова Т.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією економічного факультету

Протокол від « 21 » червня 2018 року № 9

Голова методичної комісії економічного факультету

\_\_\_\_\_ Євтушенко В.А.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “Імітаційне моделювання” складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки

\_\_\_\_\_ другий (магістерський) \_\_\_\_\_  
(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

спеціальності (напряму) \_\_\_\_\_ 051 Економіка \_\_\_\_\_  
освітня програма \_\_\_\_\_ Прикладна економіка \_\_\_\_\_

### 1. Опис навчальної дисципліни

#### 1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни є оволодіння теоретичними знаннями з методології, методики та інструментарію побудови економічних моделей, їх аналізу та використанню, знайомство із сучасними концепціями моделювання економічних процесів і типовими моделями економічних систем різного рівня; формування практичних умінь і навичок побудови системно-динамічних моделей економічних систем і процесів різних рівнів.

#### 1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Знайомство з поняттями, ідеями, концепціями, технікою розробки моделей і підходами до моделювання; придбання навичок проведення імітаційного дослідження складних економічних систем, що дозволяє використати на різних етапах створення моделей все багатство економіко-математичних методів і відкриває широкі можливості комп'ютерного експериментування; набуття навичок застосування різних концепцій та сучасного програмного забезпечення для створення імітаційних моделей, а також знайомство зі світовим досвідом розробки та застосування *прикладних* імітаційних моделей для вирішення реальних проблем.

1.3. Кількість кредитів – 5 (4 для заочної форми)

1.4. Загальна кількість годин 150 (120)

| 1.5. Характеристика навчальної дисципліни |                                     |
|---|-------------------------------------|
| Нормативна / за вибором                   |                                     |
| Денна форма навчання                      | Заочна (дистанційна) форма навчання |
| Рік підготовки                            |                                     |
| 1-й                                       | 1-й                                 |
| Семестр                                   |                                     |
| 1-й                                       | 1-й                                 |
| Лекції                                    |                                     |
| 32 год.                                   | 6 год.                              |
| Практичні, семінарські заняття            |                                     |
| год.                                      | год.                                |
| Лабораторні заняття                       |                                     |
| 32 год.                                   | 6 год.                              |
| Самостійна робота, у тому числі           |                                     |
| 86 год.                                   | 108 год.                            |
| Індивідуальні завдання                    |                                     |
| год.                                      |                                     |

#### 1.6. Заплановані результати навчання

**Компетентності:**

1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу, синтезу та встановлення взаємозв'язків між явищами та процесами; здатність використовувати сучасні інформаційні технології та економіко-математичні методи і моделі для дослідження економічних та соціальних процесів;
2. Здатність до розробки сценаріїв і стратегій розвитку соціально-економічних систем.

**Результати:**

1. Формулювати, аналізувати та синтезувати рішення науково-практичних проблем на абстрактному рівні шляхом декомпозиції їх на складові;
2. Вибирати та використовувати необхідний науковий, методичний і аналітичний інструментарій для управління економічною діяльністю;
3. Застосовувати сучасні інформаційні технології у соціально-економічних дослідженнях.

**2. Тематичний план навчальної дисципліни*****Розділ 1. Введення в імітаційне моделювання. Техніка побудови системно-динамічних моделей.******Тема 1. Введення в імітаційне моделювання. Техніка побудови системно-динамічних моделей***

Цілі та задачі курсу. Імітаційне моделювання та системний аналіз. Функціональні признаки системного підходу. Складні системи. Механізм зворотного зв'язку. Позитивні та негативні зворотні зв'язки. Особливості, переваги та недоліки методу імітаційного моделювання в порівнянні з аналітичними і чисельними методами. Загальна структура імітаційного дослідження (стадії, етапи, їх взаємодія). Засоби імітаційного моделювання.

***Тема 2. Метод системної динаміки.***

Динамічна складність; антиінтуїтивність поведінки складних систем; приклади помсти систем. Історія створення та концептуальні основи системної динаміки. Огляд систем імітаційного моделювання безперервного типу: DYNAMO, iThink, STELLA, POWERSIM, VENSIM. Особливості реалізації етапів імітаційного моделювання при застосуванні метода системної динаміки. Принцип управління системним часом.

***Тема 3. Побудова системно-динамічних моделей в середовищі VENSIM PLE.***

Меню і панелі інструментів VENSIM PLE. Головний рядок меню; головна панель інструментів; Панель інструментів для побудови структурних моделей; статусна панель; панель інструментів аналізу.

Техніка побудови структурної моделі (діаграми причинно-наслідкових зв'язків /діаграми потоків). Аналіз структурної моделі. Алгоритм обчислень в системно-динамічних моделях. Запис рівнянь (операторів моделі-програми). Перевірка моделі. Запуск моделі и перегляд результатів імітації. Графічний вивід, що його формує користувач. Зміна умов прогону моделі.

***Тема 4. Типи динамічної поведінки та типові структури.***

Сімейства базових часових траєкторій: лінійні, телеологічні, експоненціальні траєкторії. Взаємодія базових типів траєкторій: сімейство S-подібних та коливальних траєкторій. Інші типи змішаних траєкторій. Типові системно-динамічні структури, що забезпечують різні моделі поведінки. Приклади реальних процесів.

### *5. Вбудовані функції VENSIM PLE.*

Групи вбудованих функцій Vensim PLE. Математичні функції. Функції затримки. Функції генерування значень випадкових величин. Функції згладжування. Логічні функції. Імпульсні функції. Функції тестування поведінки моделей. Табличні функції. Спеціальні функції Vensim.

### *Тема 6. Техніка побудови елементів стохастичних імітаційних моделей.*

Генерування випадкових подій, дискретних та неперервних випадкових величин із довільними законами розподілу; конгруентні мультиплікативні методи генерування псевдовипадкових величин; методи зворотного перетворення, композиції та відбракування; моделювання випадкових процесів з заданими характеристиками

### *Тема 7. Системні архетипи.*

Поняття архетипу. Якісний аналіз ситуацій із застосуванням моделей архетипів: Балансувальна петля. Зрівноваження з затримкою. Плаваючі цілі. Ескалація. Зникаючі дилеми. Межі успіху. Перенесення тягарю. Успіх успішних. Зростання та недоінвестування. Трагедія общин.

## ***Розділ 2. Специфіка окремих етапів імітаційного дослідження. Прикладні СД моделі.***

### *Тема 8. Тестування та аналіз чуттєвості імітаційних моделей*

Цілі тестування. Застосування стандартних входних збурень. Аналіз чуттєвості імітаційних моделей. Типи чуттєвості. Перевірка адекватності границі; оцінка структури; перевірка відповідності одиниць виміру; оцінка параметрів; перевірка екстремальних умов; оцінка помилки інтегрування; оцінка точності відтворення поведінки; перевірка аномалій поведінки; оцінка «члена родини»; оцінка неочікуваної поведінки. Аналіз чуттєвості чисельної, поведінкової, чуттєвості політики. Статистичні оцінки точності відтворення поведінки.

### *Тема 9. Процедури та функції Reality Check (перевірки реалістичності моделей).*

Вбудовані функції Reality Check. RC рівняння и технологія Reality Check.

### *Тема 10. Планування експерименту з імітаційною моделлю.*

Задача планування експерименту. Функція відгуку. Повні факторні (чинникові) експерименти  $2^K$ . Дробовий факторний експеримент. Латинські квадрати. Проблеми планування експерименту. Дослідження поверхні відгуку: пошук екстремуму функції відгуку. Процедура Бокса-Уїльсона.

### *Тема 11. Статистичні методи в імітаційному моделюванні.*

Статистичні методи на різних етапах імітаційного дослідження: верифікація, оцінка придатності моделі, планування експериментів. Методи обробки результатів машинних експериментів: F-критерій, множинне порівняння, множинне упорядкування, послідовний і спектральний аналіз. Методи пониження дисперсії. Стратегія запуску моделі. Правила зупинки. Статистичні проблеми імітаційного моделювання.

### *Тема 12. Застосування методу імітаційного моделювання для вирішення реальних економічних проблем.*

Приклади застосування імітаційного моделювання для вирішення реальних проблем (кейси). Моделі функціонування фірми, індустріальна динаміка; аналіз розвитку міста; світова динаміка; моделі еколого-економічних систем; моделі споживчого ринку, моделі управління запасами і ін. Моделі систем технологічного типу і мереж масового

обслуговування. Задачі на мережах. Задачі розміщення ресурсів і аналізу ризику, аналіз потоку запитів фірми.

### 3. Структура навчальної дисципліни

| Назви розділів  | Кількість годин |              |   |      |      |       |              |              |    |      |      |       |
|---|-----------------|--------------|---|------|------|-------|--------------|--------------|----|------|------|-------|
|   | денна форма     |              |   |      |      |       | заочна форма |              |    |      |      |       |
|   | 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>Розділ 1.</b> Введення в імітаційне моделювання. Техніка побудови системно-динамічних моделей. |                 |              |   |      |      |       |              |              |    |      |      |       |
| Разом за розділом 1   | 60              | 18           |   | 16   |      | 51    | 60           | 3            |    | 3    |      | 54    |
| <b>Розділ 2.</b> Специфіка окремих етапів імітаційного дослідження. Прикладні СД моделі.          |                 |              |   |      |      |       |              |              |    |      |      |       |
| Разом за розділом 2   | 60              | 14           |   | 16   |      | 35    | 60           | 3            |    | 3    |      | 54    |
| <b>Усього годин</b>   | 150             | 32           |   | 32   |      | 86    | 120          | 6            |    | 6    |      | 108   |

### 4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

| № з/п | Назва теми  | Кількість годин |
|-------|---|-----------------|
|       | <i>Тема 3. Побудова системно-динамічних моделей в середовищі VENSIM PLE.</i>  |                 |
| 1     | Знайомство з панелями інструментів пакета Vensim (інструкція – додається). Лабораторна робота №1. (см. Методичні вказівки)  | 2               |
| 2     | Побудова детермінованої системно-динамічної моделі в середовищі VENSIM PLE. Лабораторна робота № 2 (см. Методичні вказівки) | 4               |
|       | <i>Тема 6. Техніка побудови елементів стохастичних імітаційних моделей.</i>   |                 |
| 3     | Лабораторна робота № 3  | 4               |
| 4     | Захист лабораторних робіт   | 2               |
|       | <i>Тема 7. Системні архетипи</i>  |                 |
| 5     | Запис операторів моделей системних архетипів на основі структурних моделей, наведених у презентації                         | 4               |
| 6     | Модульна контрольна робота: побудова моделей з використанням пакету Vensim  | 2               |
|       | <i>Тема 9. Процедури та функції Reality Check</i>   |                 |
| 7     | Лабораторна робота №4. Процедури Reality Check  | 2               |
|       | <i>Тема 10. Планування експерименту з імітаційною моделлю.</i>  |                 |
| 8     | Лабораторна робота № 4. Експериментування і обробка результатів експерименту  | 2               |
|       | Розрахункове завдання   | 2               |
|       | Захист лабораторної роботи  | 2               |
|       | <i>Тема 11. Статистичні методи в імітаційному моделюванні.</i>  |                 |
| 8     | Оцінки значущості регресійних мета-моделей та співвідношення модельних та мета-модельних даних                              | 2               |
|       | <i>Тема 12. Застосування методу імітаційного моделювання для вирішення реальних економічних проблем.</i>                    |                 |
| 9     | Критичний аналіз системно-динамічних моделей  | 4               |
|       | <b>Разом</b>  | 32              |

## 5. Завдання для самостійної роботи

| № з/п | Назва теми  | Кількість годин |
|-------|---|-----------------|
| 1     | Тема 2. Метод системної динаміки. Робота з літературою [2,3,6,8] і інформаційними ресурсами [1-6]   | 6 (9)           |
| 2     | Тема 3. Побудова системно-динамічних моделей в середовищі VENSIM PLE. Детальне освоєння панелей інструментів VENSIM PLE   | 10 (10)         |
| 3     | Тема 4. Типи динамічної поведінки та типові структури. Побудова фрагментів діаграм потоків, що відповідають різним типам динамічної поведінки. Самостійна побудова міні-моделей.  | 10 (10)         |
| 4     | Тема 6. Техніка побудови елементів стохастичних імітаційних моделей. Детальне вивчення роботи вбудованих функцій, побудова відповідних міні-моделей. Самостійний розбір варіантів третьої лабораторної роботи та побудова відповідних фрагментів моделей. | 15 (15)         |
| 5     | Тема 7. Системні архетипи. Побудова моделей системних архетипів.  | 10 (10)         |
| 6     | Тема 10. Планування експерименту з імітаційною моделлю. Робота з літературою. Оцінка головних ефектів та ефектів взаємодії факторів [3]   | 10 (18)         |
| 7     | Тема 11. Статистичні методи в імітаційному моделюванні. Самостійне вивчення матеріалу щодо методів зниження дисперсії [3].  | 10 (16)         |
| 8     | Тема 12. Застосування методу імітаційного моделювання для вирішення реальних економічних проблем. Знайомство з матеріалами щорічних наукових конференцій Міжнародного товариства системної динаміки.  | 15 (20)         |
|       | <b>Разом</b>  | <b>86 (108)</b> |

## 6. Індивідуальні завдання

Індивідуальні завдання планом на 2018/2019 р. не передбачені.

## 7. Методи контролю

У цілому знання студентів з дисципліни оцінюються як з теоретичної, так і з практичної підготовки за наступними критеріями:

«*відмінно*» - студент міцно засвоїв теоретичний матеріал, глибоко і всебічно знає зміст навчальної дисципліни, основні положення наукових джерел та рекомендованої літератури, вільно використовує набуті знання при виконанні практичних та лабораторних завдань, може спілкуватися з викладачем на професійному рівні, демонструє високий рівень засвоєння практичних навичок і ініціативу при виконанні самостійних завдань.

«*добре*» - студент добре засвоїв теоретичний матеріал, володіє основними положеннями з рекомендованої літератури, може їм користатися та аргументовано викладати; має практичні навички, але припускає певних неточностей при виконанні практичних та лабораторних завдань.

«*задовільно*» - студент в основному опанував теоретичними знаннями, орієнтується у джерелах та рекомендованої літературі, але плутає поняття, демонструє невпевненість або відсутність стабільних знань, припускається поважних помилок при виконанні практичних та лабораторних завдань.

«незадовільно» - студент не опанував навчальний матеріал дисципліни, не володіє поняттями, не має навичок, необхідних для виконання практичних та лабораторні завдань; не виконав запланованих завдань та отримав менш ніж 40 балів за результатами поточного та підсумкового контролю у семестрі.

Методи контролю включають обов'язковий захист лабораторних робіт, поточний контроль (виконання індивідуальних завдань з побудови імітаційних моделей, тестові завдання з теоретичного матеріалу розділу) та підсумковий контроль (тестування з теоретичних питань по усьому курсу, виконання індивідуального завдання на побудову імітаційної моделі). Умовами допуску студента до підсумкового семестрового контролю є отримання протягом семестру не менш 40 балів.

### 8. Схема нарахування балів

| Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання |    |    |          |     |     |     | Контрольна робота | Разом | Екзамен | Сума |
|--|----|----|----------|-----|-----|-----|-------------------|-------|---------|------|
| Розділ 1   |    |    | Розділ 2 |     |     |     |                   |       |         |      |
| T3   | T6 | T7 | T9       | T10 | T11 | T12 |                   |       |         |      |
| 5  | 10 | 5  | 5        | 15  | 5   | 5   | 10                | 60    | 40      | 40   |

### Шкала оцінювання

| Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру | Оцінка                              |                                  |
|--|-------------------------------------|----------------------------------|
|  | для чотирирівневої шкали оцінювання | для дворівневої шкали оцінювання |
| 90 – 100   | відмінно                            | зараховано                       |
| 70-89  | добре                               |                                  |
| 50-69  | задовільно                          |                                  |
| 1-49   | незадовільно                        | не зараховано                    |

**Бали за темами** надаються за наступне:

Лабораторні завдання, передбачені за темами 3,6,7,9, 10,11,12 у цілому оцінюються за підсумками захисту робіт (максимально – 5-15 балів). Бали за першу та другу лабораторну роботу надаються за результатами першого поточного контролю (відповідні питання входять до тестового завдання). Максимальна кількість балів надається, якщо студент виконав лабораторну роботу без помилок та вірно відповів на усі запитання у ході захисту роботи. Якщо у лабораторній роботі були технічні помилки, які призвели до невірному результату, але були виправлені студентом за підказкою викладача, і відповіді на запитання під час захисту у цілому були вірними, бал понижується на 10-15%; якщо у роботі були принципові помилки, які студент не може виправити без допомоги викладача, і не може вірно відповісти на запитання у ході захисту роботи, бал понижується до 20-30% від максимального. Робота з поважними помилками, яка не захищена, отримує не біль 40% від максимального балу. Тема 10 передбачає індивідуальне розрахункове завдання, яке оцінюється в 5 балів.

У випадку не виконання лабораторної роботи вона не зараховується, що призводить до зниження кількості балів, отриманих протягом семестру.



Самостійна робота за дисципліною «Імітаційне моделювання» пов'язана в основному з роботою з літературою та з самостійним виконанням двох лабораторних робіт згідно з детальними інструкціями (теми 3, 7). Знання, набуті у ході самостійної роботи, перевіряються в основному при поточному тестовому контролі і оцінюються в долях максимальної кількості балів відповідно до % вірних відповідей на тестові запитання.

## 9. Рекомендована література

### Основна література

1. Біткова Т.В. Системно-динамічне моделювання. Техніка побудови імітаційних моделей з використанням Vensim PLE. Навчальний посібник з дисципліни «Імітаційне моделювання» для студентів спеціальності 051 «Економіка» спеціалізацій «Економічна кібернетика» та «Прикладна економіка». – Харків, ХНУ, 2017. – 208 с.
2. Біткова Т.В. Case-study. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи за курсом “Економічне моделювання”. – Харків: ХНУ, 2018. – 24 с.
3. Клейнен Дж. Статистические методы в имитационном моделировании. Т.1, 2.—М.: Статистика, 1978.
4. Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование. 3-е изд. – СПб.: ПИТЕР; Киев: Изд группа ВНУ, 2004. – 847 с.
5. Прицкер А. Введение в имитационное моделирование и язык СЛАМ II.— М.: Мир, 1987.
6. Сенге П. Пятая дисциплина. Искусство и практика самообучающейся организации. /Пер. с англ. – М. ЗАО «Олимп-Бизнес», 2003. -408 с.

### Допоміжна література

1. Нейлор Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем. — М.: Мир, 1975.
2. Мидоуз Д.Х. Пределы роста.— М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1991.
3. Мидоуз Д.Х. За пределами роста. — М.: 1994.
4. Прицкер А. Введение в имитационное моделирование и язык СЛАМ II.— М.: Мир, 1987.
5. Сидоренко В.Н. Системная динамика. – М.: ТЕИСБ, 1998.- 206 с.
6. Форрестер Дж. Динамика развития города. — М.: Прогресс, 1974.
7. Форрестер Дж. Мировая динамика. — М.: Наука, 1978.
8. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (индустриальная динамика). —М.: Прогресс, 1971.
9. E.F. Wolfstenholme. System Enquiry, a System Dynamic Approach.: John Wiley & Sons, NY 1990.
10. Sterman J. Business Dynamics. Systems Thinking and Modelling for a Complex World. – McGraw-Hill, 2000. – 982 p.

## 10. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. <http://www.vensim.com>
2. <http://www.vensim.com/sdmail.html>
3. <http://www.std.com/vensim>
4. <http://sysdin.mit.edu>
5. <http://www.hps-inc.com/hps.html>
6. <http://www.systemdynamics.org>