



# Мультиагентні системи

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>12 Інформаційні технології<sup>1</sup></i>
Спеціальність	<i>124 Системний аналіз</i>
Освітня програма	<i>Системний аналіз та управління. Системний аналіз фінансового ринку</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів / 150 год (лекції 36 год., практикум 18 год., СРС 96 год.)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен, МКР</i>
Розклад занять	<i><a href="https://schedule.kpi.ua/">https://schedule.kpi.ua/</a></i>
Мова викладання	<i>Українська/Англійська/</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: доктор фізико-математичних наук, професор, Лопатін Олексій Костянтинович, <a href="mailto:lopatalalexey142@gmail.com">lopatalalexey142@gmail.com</a> Практичні / Семінарські: доктор фізико-математичних наук, професор, Лопатін Олексій Костянтинович, <a href="mailto:lopatalalexey142@gmail.com">lopatalalexey142@gmail.com</a></i>
Розміщення курсу	<i>Навчальні матеріали розміщені на Googleclassroom</i>

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

**1.1. Дисципліна** "Мультиагентне моделювання" передбачає освоєння основних принципів розроблення імітаційних моделей на базі різних підходів, таких як системна динаміка, дискретно-подієве та агентне моделювання. При цьому в рамках курсу акцент робиться на формування практичних навичок з розроблення моделей логістичних систем різного рівня в спеціальній програмі AnyLogic.

**1.2. Мета** навчальної дисципліни "Мультиагентне моделювання" – формування й удосконалення в магістрантів знань, практичних навичок і вмінь побудови та реалізації динамічних (імітаційних) моделей складних систем і процесів на основі парадигм імітаційного моделювання: системна динаміка та агентне моделювання, а також удосконалення практичних навичок аналізу систем за результатами їхнього комп'ютерного (імітаційного) моделювання.

#### 1.3. Основні завдання навчальної дисципліни:

- формування здібностей самостійно розробляти імітаційні моделі на основі таких підходів, як системна динаміка та агентне моделювання;
- формування здібностей використовувати інструментальні засоби, інформаційні середовища, автоматизовані системи для імітаційного моделювання систем;

- формування здібностей використовувати математичні методи та методи імітаційного моделювання для аналізу сучасних природничо-наукових, економічних, соціально-політичних процесів;
- набуття здібностей самостійно розширювати комп'ютерні математичні знання з подальшим їх використанням при побудові імітаційних моделей, плануванні комп'ютерних імітаційних моделей, плануванні комп'ютерних експериментів і аналізі вихідних даних для широкого кола прикладних задач.

Освоєння навчальної дисципліни " Мультиагентне моделювання " має забезпечити формування таких **компетентностей**:

*ЗК 01 - здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу*

*ЗК 03 - здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел*

*ЗК 04 - здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня (з експертами з інших галузей знань/видів економічної діяльності)*

*ФК 01 - здатність інтегрувати знання та здійснювати системні дослідження, застосовувати методи математичного та інформаційного моделювання складних систем та процесів різної природи*

*ФК 03 - здатність розробляти системи підтримки прийняття рішень та рекомендаційні системи*

*ФК 05 - здатність моделювати, прогнозувати та проектувати складні системи і процеси на основі методів та інструментальних засобів системного аналізу*

*ФК 08 - здатність розробляти і реалізовувати наукові та прикладні проекти в галузі інформаційних технологій та дотичні до неї міждисциплінарні проекти*

*ФК 10 - здатність до самоосвіти та професійного розвитку*

По завершенню курсу здобувачі мають набути такі **програмні результати навчання**:

*ПРН 02 – будувати та досліджувати моделі складних систем і процесів застосовуючи методи системного аналізу, математичного, комп'ютерного та інформаційного моделювання*

*ПРН 03 – застосовувати методи розкриття невизначеностей в задачах системного аналізу, розкривати ситуаційні невизначеності та невизначеності в задачах взаємодії, протидії та конфлікту стратегій, знаходити компроміс при розкритті концептуальної невизначеності*

*ПРН 04 – розробляти та застосовувати методи, алгоритми та інструменти прогнозування розвитку складних систем і процесів різної природи*

*ПРН 09 – розробляти та застосовувати моделі, методи та алгоритми прийняття рішень в умовах конфлікту, нечіткої інформації, невизначеності та ризиків*

У результаті опанування навчальної дисципліни студент магістратури повинен **знати**:

- етапи імітаційного моделювання та принципи їх реалізацій;
- основні принципи та постулати системної динаміки;
- архітектуру агентних моделей;

-методи статистичного аналізу результатів імітаційного моделювання.

**уміти:**

розробляти імітаційні моделі та здійснювати їх комп'ютерну реалізацію;

-здійснювати якісний і кількісний аналіз систем на основі імітаційних моделей;

**володіти:**

- методами побудови причинно-наслідкових діаграм і потокових діаграм на основі системно-динамічного підходу;

- методами візуального проектування агентних моделей у середовищі AnyLogic

**досвід:**

створення дослідницької фінансової лабораторії (парадигма організованої співпраці за досвідом провідних національних лабораторій США), де роль кожного члена команди полягає в тому, щоб спеціалізуватися на певній задачі, щоб стати найкращим у ній, маючи при цьому цілісний погляд на весь процес.

**2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Навчальна дисципліна належить до циклу професійної підготовки. Міждисциплінарні зв'язки: викладанню дисципліни «Мультиагентне моделювання» доповнює вивчення дисципліни «Системи і методи підтримки прийняття рішень»

**1. Зміст навчальної дисципліни**

**РОЗДІЛ 1. Імітаційне моделювання**

- Вивчаються переваги імітаційного моделювання.
- Імітаційні моделі дають змогу аналізувати системи та знаходити рішення в тих випадках, коли наявні методи не справляються із завданням.
- Розробляти імітаційну модель набагато простіше, ніж аналітичну,
- Структура імітаційної моделі природним чином відображає структуру модельованої системи.
- Імітаційна модель дає змогу відстежувати всі об'єкти системи, враховані в обраному рівні абстракції, додавати метрики та проводити статистичний аналіз
- Імітаційне моделювання дає можливість програвати модель у часі та анімувати її поведінку.
- Імітаційні моделі набагато переконливіші за електронні таблиці.

**Тема 1. Середовище імітаційного моделювання AnyLogic.**

Установлення та активація AnyLogic

**РОЗДІЛ 2. Системна динаміка**

Системна динаміка найчастіше використовується для розроблення довгострокових стратегічних моделей і передбачає високий рівень агрегації об'єктів: моделі системної динаміки розглядають людей, товари, ресурси та інші окремі елементи в кількісних термінах. Передбачається, що ви:

- Моделюєте систему як закриту структуру, яка сама визначає власну поведінку.
- Виявляєте цикли зворотного зв'язку, врівноважувального або підсилювального типу.

- *Задаєте накопичувачі та потоки, які на них впливають.*

## **Тема 2. Модель поширення епідемії**

*Будується модель, що вивчає поширення інфекційного захворювання серед населення.*

### **РОЗДІЛ 3. Агентне моделювання**

*Агентне моделювання пропонує розробнику моделей альтернативний погляд на поведінку системи. Ви можете не знати ні поведінки системи загалом, ні її головних змінних і залежностей між ними, або не бачити чіткої схеми процесів, але при цьому розуміти, як поведуться окремі елементи системи. У такому разі ви можете почати створення моделі з ідентифікації модельованих об'єктів (агентів) і завдання їхньої поведінки. Іноді вам може знадобитися об'єднати агентів у мережу і дозволити їм взаємодіяти один з одним, або ж помістити агентів у середовище, яке має свою власну динаміку. Таким чином, глобальна поведінка системи формується з багатьох десятків (тисяч, мільйонів) процесів, що протікають паралельно.*

## **Тема 3. Модель споживчого ринку**

*Створюється агентна модель, яка допоможе нам вивчити процес виведення нового продукту на ринок*

### **РОЗДІЛ 4. Дискретно-подієве моделювання в AnyLogic**

*Дискретно-подієве моделювання передбачає представлення модельованої системи у вигляді процесу, тобто послідовності операцій, що виконуються з агентами*

## **Тема 4. Модель заводського цеху**

*Моделюються виробничі процеси в невеликому заводському цеху на базі верстатів із числовим програмним управлінням (ЧПУ)*

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

*Всі необхідні матеріали містяться на платформі Googleclassroom*

*Базова:*

- 1. Grigoryev Ilya, AnyLogic in Three Days: Modeling and Simulation Textbook, 2023.*
- 2. Borshchev Andrei, The Big Book of Simulation Modeling: Multimethod Modeling with AnyLogic 6 Kindle Edition, Anylogic North America в 2013 г. ISBN-13: 978-0-9895731-7-7, ISBN: 0-9895731-7-6*

*Допоміжна:*

- 1. Sterman, J. (2000). Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world. New York: McGraw. Sun Microsystems, Inc. (1999).*
- 2. Code Conventions for the Java TM Programming Language. [Online]. <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/documentation/codeconvtoc-136057.html>*
- 3. System Dynamics Society, Inc. (2014). System Dynamics Society [Online]. [www.systemdynamics.org](http://www.systemdynamics.org)*
- 4. The AnyLogic Company. (2014). AnyLogic Help. [Online]. <http://www.anylogic.com/anylogic/help>*

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

#### 5.1. Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Імітаційне моделювання. Середовище імітаційного моделювання AnyLogic [1,2] (2 год)
	Агентне моделювання. Модель споживчого ринку
2	Створення популяції агентів [1,2] (2 год)
3	Завдання поведінки споживачів[1,2] (2 год)
4	Додавання графіка для візуалізації результатів моделювання [1,2] (2 год)
5	Додавання ефекту рекомендацій [1,2] (2 год)
6	Облік повторних продажів продукту [1,2] (2 год)
7	Облік часу доставки продукту [1,2] (2 год)
8	Моделювання відмов від купівлі товару[1,2] (2 год)
9	Порівняння прогонів моделі [1,2] (2 год)
	Системна динаміка. Модель поширення епідемії
10	Створення діаграми потоків і накопичувачів[1,2] (2 год)
11	Додавання графіка для візуалізації динаміки процесу[1,2] (2 год)
12	Експеримент варіювання параметрів[1,2] (2 год)
13	Калібрування параметрів моделі[1,2] (2 год)
	Дискретно-подієве моделювання в AnyLogic. Модель заводського цеху.
14	Створення простої моделі [1,2] (2 год)
15	Додавання ресурсів [1,2] (2 год)
16	Створення тривимірної анімації [1,2] (2 год)
17	Моделювання доставки піддонів фурами [1,2] (2 год)
18	Моделювання коливального процесу [1,2] (2 год)

#### 5.2. Практичні заняття

Метою проведення практичних занять є закріплення знань, надбаних на лекційних заняттях, здобуття умінь розв'язувати реальні проблеми за допомогою середовища імітаційного моделювання AnyLogic.

№ з/п	Назва теми заняття (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Середовище імітаційного моделювання AnyLogic. [1,2] (1 год)
2	Системна динаміка [1,2] (1 год)
3	Діаграми запасів і потоків з автоматичною перевіркою узгодженості [1,2] (1 год)
4	Масиви (підмножини) з розмірностями типу перерахування та діапазону. [1,2] (1 год)
5	Табличні функції (таблиці пошуку) [1,2] (1 год)

6	Системні архетипи. [1,2] (1 год)
7	ODD-протокол для опису агентних моделей. [1,2] (1 год)
8	Використання карт станів (стандарт UML) в імітаційних моделях. [1,2] (1 год)
9	Модель дорожнього руху. [1,2] (1 год)
10	Моделі логістичних процесів на підприємстві. [1,2] (1 год)
11	Імітаційне моделювання потоків людей. [1,2] (1 год)
12	Імітаційне моделювання поширення епідемій. [1,2] (1 год)
13	ГІС модель ланцюга поставок.[1,2] (1 год)
14	Модель робочого цеху. [1,2] (1 год)
15	Модель сортувальної станції. [1,2] (1 год)
16	Модель банківського офісу.[1,2] (1 год)
17	Модель дифузії Басса.[1,2] (1 год)
18	Модель технічного обслуговування вітрогенератора.[1,2] (1 год)

## 6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студентів полягає в підготовці до аудиторних занять, МКР та екзаменаційної роботи.

### Політика та контроль

#### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

**Правила відвідування занять.** Очікується, що студент відвідуватиме кожне аудиторне заняття, робитиме це вчасно, без запізень. У разі особливих обставин студент, за узгодженням з викладачем, може бути відсутнім на занятті, але це не може бути систематично.

**Правила поведінки на заняттях.** На заняттях передбачається активність студентів, пов'язана з навчальним процесом, включення в інтерактивні форми та методи навчання.

Під час виконання лабораторних/практичних завдань, окрім наявного в аудиторії обладнання, студент може користуватися власним ноутбуком.

**Правила виконання і захисту лабораторних/практичних робіт.** До захисту роботи допускаються студенти, які правильно виконали лабораторне/практичне завдання. Захист проходить у форматі індивідуального спілкування студента з викладачем по тематиці роботи та письмового виконання завдання.

**Пропущені контрольні заходи оцінювання.** Кожен студент має право відпрацювати пропущені з поважної причини (лікарняний, мобільність тощо) заняття за рахунок самостійної роботи. Детальніше за посиланням: <https://kpi.ua/files/n3277.pdf>.

**Правила призначення заохочувальних та штрафних балів.** За узгодженням з викладачем студент може зробити доповідь по темі, релевантній дисципліні, виконувати додаткові завдання. Заохоченням до подібної успішної роботи є додаткові рейтингові бали загальним обсягом до 10% від максимального рейтингового балу шкали оцінювання. Кількість та правила нарахування балів узгоджується викладачем у кожному окремому випадку.

**Політика дедлайнів та перескладань.** Студент, який з будь-яких причин не зміг вчасно виконати та захистити лабораторну/практичну роботу, може це зробити на наступних заняттях за умови доступності обладнання та часу у викладачів. Під час виконання та захисту лабораторних/практичних робіт пріоритет надається студентам, які виконують завдання згідно

календарного плану. Виконання та/або захист лабораторної/практичної роботи після відведеного на неї строку призводить до зниження максимального балу, який студент може отримати за цей вид роботи. Допуск до перескладання заходів семестрового контролю та самі перескладання здійснюються згідно правил Університету у терміни, визначені Університетом.

**Процедура оскарження результатів контрольних заходів оцінювання.** Студент може підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами. Студенти мають право аргументовано оскаржити результати контрольних заходів, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного.

**Політика щодо академічної доброчесності.** Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>. У разі виявлення порушення академічної доброчесності результати роботи студента, які стосуються недоброчесності, анулюються.

**Норми етичної поведінки.** Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

**Інклюзивне навчання.** Засвоєння знань та умінь в ході вивчення дисципліни може бути доступним для більшості осіб з особливими освітніми потребами, окрім здобувачів з серйозними вадами зору, які не дозволяють виконувати завдання за допомогою персональних комп'ютерів, ноутбуків та/або інших технічних засобів.

**Навчання іноземною мовою.** У ході виконання завдань студентам може бути рекомендовано звернутися до англomовних джерел.

**Календарний контроль** проводиться з метою підвищення якості навчання студентів та моніторингу виконання студентом вимог силабусу.

## **7. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)**

Поточний контроль: кожен студент визначає стратегію виконання завдань (самостійно або, за необхідності, під науковим керівництвом викладача), ставлячи на меті одержати в кінці семестру 100 балів.

Види контролю:

а) 4 тестування на платформі дистанційного навчання Googleclassroom (є обмеження за кількістю спроб та крайнім терміном виконання), кожне з яких може бути оцінене максимум на 9 балів; всього максимум 36 балів;

б) контрольна робота (максимум 24 бали);

в) заохочувальні бали за виконання завдань із удосконалення дидактичних матеріалів з дисциплін.

Сума заохочувальних та штрафних балів не може перевищувати 6 балів.

**Контрольна робота** (максимум 24 бали):

а) творче розкриття завдання (не менше 90% потрібної інформації) – 22...24 бали;

б) глибоке розкриття завдання (не менше 75% потрібної інформації), незначні неточності або неповні відповіді – 19...21 балів;

- с) достатнє розкриття завдання (не менше 60% потрібної інформації) або часткова наявність помилкової інформації – 15...18 балів;
- д) відповідь не розкриває завдання або містить помилкову інформацію – 0 балів.

Стартова складова становить 60 балів.

Календарний контроль: проводиться два рази на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу (пропорційно кількості робочих тижнів за семестр).

Семестровий контроль: екзамен

### **Умови допуску до екзамену**

Необхідною умовою допуску до екзамену є зарахування контрольної роботи та проходження всіх тестів на платформі дистанційного навчання Googleclassroom, а також рейтинговий бал RD не менше 50 % від R, тобто 30 балів.

### **Критерії екзаменаційного оцінювання**

На екзамені студенти отримують індивідуальні завдання. Кожне завдання містить три питання, які оцінюються у 13,3 балів, тобто сумарна екзаменаційна складова гЕ дорівнює 40 балам.

### **Система оцінювання питань:**

- а) «відмінно», повна відповідь, студент демонструє додаткові знання та загальну обізнаність (не менше 90% потрібної інформації) – 12...13,3 балів;
- б) «добре», достатньо повна відповідь, незначні неточності, студент володіє знаннями по даному питанню (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 10...11 балів;
- с) «задовільно», неповна відповідь, суттєві неточності, студент володіє тільки частиною знань з даного питання (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 7...9 балів;
- д) «незадовільно», незадовільна відповідь або взагалі відсутня, рівень знань, продемонстрований студентом, низький – 0 балів.

Сума стартових балів і балів за екзаменаційну роботу переводиться до залікової оцінки згідно з таблицею.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

## **8. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

Всі необхідні матеріали містяться на платформі дистанційного навчання Googleclassroom

### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено:** д.ф.-м.н., професор Лопатін Олексій Костянтинович

**Ухвалено** кафедрою математичних методів системного аналізу (протокол № 13 від 05.06.2024 р.)

**Погоджено** Методичною комісією НН ІПСА (протокол №10 від 24.06.2024 р.)