



# МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

|                                             |                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Рівень вищої освіти                         | <i>Перший (бакалаврський)</i>                                                                                                                                                                                                         |
| Галузь знань                                | <i>12 Інформаційні технології</i>                                                                                                                                                                                                     |
| Спеціальність                               | <i>121 Інженерія програмного забезпечення</i>                                                                                                                                                                                         |
| Освітня програма                            | <i>Інженерія програмного забезпечення інформаційних систем</i>                                                                                                                                                                        |
| Статус дисципліни                           | <i>Нормативна</i>                                                                                                                                                                                                                     |
| Форма навчання                              | <i>заочна</i>                                                                                                                                                                                                                         |
| Рік підготовки, семестр                     | <i>4 курс, осінній семестр</i>                                                                                                                                                                                                        |
| Обсяг дисципліни                            | <i>5,5 кредитів / 165 годин (6 годин лекцій, 6 годин лабораторних, 153 години самостійна робота)</i>                                                                                                                                  |
| Семестровий контроль/ контрольні заходи     | <i>Екзамен/ Домашня контрольна робота</i>                                                                                                                                                                                             |
| Розклад занять                              |                                                                                                                                                                                                                                       |
| Мова викладання                             | <i>Українська</i>                                                                                                                                                                                                                     |
| Інформація про керівника курсу / викладачів | Лектор: <i>ст. викл., Ph.D. Дифучина Олександра Юріївна, sashadif@gmail.com</i><br>Практичні / Семінарські: <i>немає за навчальним планом</i><br>Лабораторні: <i>ст. викл., Ph.D. Дифучина Олександра Юріївна, sashadif@gmail.com</i> |
| Розміщення курсу                            | Google Classroom: Моделювання систем<br><a href="https://classroom.google.com/c/ODA1NTM1Mjk1MTY3?cjc=b2p3xqm6">https://classroom.google.com/c/ODA1NTM1Mjk1MTY3?cjc=b2p3xqm6</a>                                                       |

### Програма навчальної дисципліни

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

Вивчення дисципліни спрямовано на оволодіння технологіями розробки імітаційних моделей складних систем як на основі універсальних мов програмування (Java), так і на основі спеціалізованого програмного забезпечення (Arena, Simio, CPNTools). Застосування моделей розглядається в контексті модулів інформаційних управляючих систем та систем прийняття рішень різного призначення. Дисципліна розвиває та удосконалює професійні навички програмування, набуті в попередні роки навчання, розвиває базові навички з розробки предметно-орієнтованих систем імітаційного моделювання та дослідницькі навички.

**Предмет** навчальної дисципліни – методи розробки програмного забезпечення імітаційного моделювання складних систем, технології розробки імітаційних моделей та їх застосування в інформаційних управляючих системах та системах прийняття рішень.

**Метою** дисципліни є вивчення студентами принципів та способів розробки, реалізації та дослідження моделей складних систем, надбання навичок розробки алгоритмів імітації дискретно-подійних систем.

За результатами вивчення дисципліни студент повинен набути **досвід** з розробки імітаційних алгоритмів моделей складних систем на базі універсальних мов програмування та розробки моделей складних систем з використанням спеціалізованого програмного забезпечення імітаційного моделювання.

**Програмні результати навчання студента.** Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студент після засвоєння навчальної дисципліни повинен **знати**:

- методи та способи формалізації моделей складних систем,
- алгоритми імітації дискретно-подійних систем, їх верифікацію та валідацію,
- методи визначення точності алгоритмів імітації та їх складності,
- методи експериментального дослідження імітаційних моделей систем,
- методи оптимізації дискретно-подійних систем,
- складові компоненти програмного забезпечення з моделювання систем,
- сучасні тенденції розвитку програмного забезпечення з моделювання систем.

Студент повинен **вміти**:

- складати формалізовані моделі систем,
- розробляти алгоритми імітації на основі подійного представлення функціонування системи,
- розробляти алгоритми імітації на основі представлення функціонування системи стохастичною мережею Петрі,
- розробляти алгоритми імітації з використанням Петрі-об'єктної технології,
- оцінювати точність та складність алгоритмів імітації,
- використовувати паралельні обчислення в алгоритмах імітації та експериментальному дослідженні моделей систем,
- розробляти моделі систем з використанням програмного забезпечення Arena Rockwell Software, Simio, CPNTools,
- розробляти графічні редактори мереж Петрі,
- виконувати експериментальне дослідження з моделями систем, у тому числі їх оптимізацію.

Згідно з вимогами освітньої програми вивчення дисципліни спрямоване на оволодіння студентом таких **компетентностей**:

ФК11. Здатність реалізовувати фази та ітерації життєвого циклу програмних систем та інформаційних технологій на основі відповідних моделей і підходів розробки програмного забезпечення..

ФК19 Здатність до аналізу та оптимізації інформаційних систем з використанням імітаційних моделей

**Програмні результати** вивчення дисципліни забезпечують такі програмні результати освітньої програми:

ПРН05 Знати і застосовувати відповідні математичні поняття, методи доменного, системного і об'єктно-орієнтованого аналізу та математичного моделювання для розробки програмного забезпечення.

ПРН32 Використовувати методи комп'ютерного моделювання дискретно-подійних систем при розробці та проектуванні програмного забезпечення інформаційних систем.

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

Вивчення дисципліни спирається на знання, отримані студентами при вивченні дисциплін «Основи програмування. Частина 2. Модульне програмування», «Теорія ймовірності», «Технології паралельних обчислень». Знання та навички, набуті студентом при вивченні дисципліни, використовуються в розробці дипломних проєктів здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньою програмою «Інженерія програмного забезпечення інформаційних систем».

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

Розділ 1 Базові формалізми опису функціонування дискретно-подійних систем та їх алгоритми.

Тема 1.1 Поняття моделі. Способи побудови моделей. Методи моделювання. Технології моделювання.

- Поняття системи та ознаки складної системи.
- Поняття моделі та способи представлення моделей. Класифікація моделей.
- Способи побудови моделей: фізичні та нефізичні моделі.
- Методи моделювання: аналітичне, математичне, імітаційне моделювання.
- Використання програмних моделей систем в задачах управління та прийняття рішень.

Тема 1.2 Генератори випадкових чисел.

- Способи генерування рівномірно розподіленої в інтервалі  $(0;1)$  випадкової величини.
- Способи генерування випадкової величини за заданим законом розподілу.
- Тестування генераторів випадкових чисел.

Тема 1.3 Алгоритм імітаційного моделювання дискретно-подійної системи.

- Поняття дискретно-подійної системи.
- Поняття імітаційного моделювання.
- Етапи імітаційного моделювання.
- Способи побудови алгоритму імітації.
- Алгоритм імітації на основі подійного представлення процесу функціонування та просування часу до найближчої події.
- Приклад розробки алгоритму імітації простої системи масового обслуговування.
- Верифікація алгоритму імітації.

Тема 1.4 Об'єктно-орієнтований підхід до розробки алгоритму імітаційного моделювання дискретно-подійних систем.

- Узагальнення елементу моделі дискретно-подійної системи та його алгоритмізація.
- Формування списку елементів. Зв'язки між елементами.
- Просування часу в об'єктно-орієнтованій реалізації алгоритму імітації.
- Узагальнення моделі на основі списку елементів.

Тема 1.5 Формалізація процесів функціонування дискретно-подійних систем.

- Способи формального представлення процесів функціонування дискретно-подійних систем: мережі масового обслуговування, стохастичні мережі Петрі.
- Графічне представлення процесів функціонування дискретно-подійних систем.

Тема 1.6 Формалізм мереж масового обслуговування.

- Область застосування формалізму мереж масового обслуговування.
- Елементи мережі масового обслуговування.
- Приклади формалізації процесів функціонування дискретно-подійних систем мережею масового обслуговування.
- Універсальний алгоритм імітації мережі масового обслуговування.
- Оцінка точності алгоритму імітації мережі масового обслуговування.
- Оцінка складності алгоритму імітації для мережі масового обслуговування.

Тема 1.7 Формалізм стохастичних мереж Петрі.

- Область застосування стохастичних мереж Петрі.
- Поняття базової мережі Петрі.
- Елементи стохастичної мережі Петрі.
- Класифікація стохастичних мереж Петрі.
- Приклади формалізації процесів функціонування дискретно-подійних систем стохастичних мереж Петрі.
- Порівняння мережі Петрі та мережі масового обслуговування.

Тема 1.8 Алгоритм імітації стохастичної мережі Петрі з багатоканальними переходами.

- Алгоритм імітації базової мережі Петрі.
- Алгоритм імітації мережі Петрі з часовими затримками, з багатоканальними переходами, з конфліктними переходами.
- Універсальний алгоритм імітації стохастичної мережі Петрі.
- Оцінка складності алгоритму імітації стохастичної мережі Петрі.

- Оцінка точності алгоритму імітації стохастичної мережі Петрі.
- Обчислюваність алгоритму імітації стохастичної мережі Петрі.

#### Тема 1.9 Математичний опис стохастичної мережі Петрі.

- Рівняння станів стохастичної мережі Петрі.
- Матричні рівняння станів стохастичної мережі Петрі.
- Еквівалентні відношення між базовою, детермінованою та стохастичною мережами Петрі.

### Розділ 2 Формалізм Петрі-об'єктної моделі та його програмне забезпечення

#### Тема 2.1. Формалізм Петрі-об'єктної моделі

- Поняття Петрі-об'єкта.
- Структура Петрі-об'єктної моделі.
- Приклади застосування Петрі-об'єктного підходу для формалізації процесів функціонування дискретно-подійних систем.

#### Тема 2.2. Програмне забезпечення Петрі-об'єктного моделювання.

- Алгоритм імітації Петрі-об'єктної моделі.
- Бібліотека класів Петрі-об'єктного моделювання.
- Графічний редактор мережі Петрі.
- Графічний редактор Петрі-об'єктної моделі.

### Розділ 3 Програмне забезпечення імітаційного моделювання систем

#### Тема 3.1 Моделювання в GPSS

- Основні оператори мови GPSS.
- Приклади реалізації моделей мовою GPSS.

#### Тема 3.2 Моделювання в Arena Rockwell Software.

- Основні блоки для розробки моделей в Arena.
- Побудова ієрархічних моделей в Arena.
- Елементи анімації програмного забезпечення Arena.
- Приклади реалізації моделей в Arena.

#### Тема 3.3 Моделювання в CPNTools.

- Розробка моделей засобами кольорових мереж Петрі в CPNTools.
- Побудова ієрархічних моделей в CPNTools.
- Приклади реалізації моделей в CPNTools.

#### Тема 3.4 Паралельні обчислення та імітаційне моделювання.

- Паралельні обчислення в експериментуванні з імітаційними моделями.
- Паралельне обчислення алгоритмів імітації
- Моделювання паралельних обчислень.

#### Тема 3.5. Програмне забезпечення з імітаційного моделювання:

- Порівняльний аналіз засобів моделювання складних систем
- Загальні складові сучасного програмного забезпечення з імітаційного моделювання систем
- Тенденції розвитку програмного забезпечення з імітаційного моделювання

### Розділ 4 Експериментальне дослідження моделей систем

#### Тема 4.1. Факторний експеримент

- Планування та проведення факторного експерименту у випадку кількісних факторів.

#### Регресійний аналіз.

- Планування та проведення факторного експерименту у випадку якісних факторів.

#### Дисперсійний аналіз.

#### Тема 4.2. Пошук оптимальних умов

- Метод градієнтного спуску.
- Еволюційні методи пошуку оптимальних умов.

## 4. Навчальні матеріали та ресурси

### Базова література

1. Стеценко І.В. Моделювання систем: навч. посіб. / І.В. Стеценко; М-во освіти і науки України, Черк. держ. технол. ун-т. – Черкаси: видавництво „Маклаут”, 2011. – 501с.
  2. Томашевський В. М. Моделювання систем. - К: Видавнича група ВНУ, 2005. - 352 с.
  3. Томашевський В.М., Жданова О.Г., Жолдаков О.О. Вирішення практичних завдань методами комп'ютерного моделювання. – Київ: “Корнійчук” – 2001. – 267с.
  4. Arena Simulation Software [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/software/arena-simulation.html>
  5. Simio LLC [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.simio.com>
- Допоміжна література
1. Kelton W.D. Simulation with Arena / W.D. Kelton, R.P. Sadowski, D.A. Sadowski – New York: McGraw-Hill, 1998. - 672 p.
  2. Petri nets World site TGI group at the University of Hamburg, Germany [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/>
  3. Petri Nets Tools Database Quick Overview <https://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/tools/quick.html> / accessed 11/03/2017
  4. Zaitsev D.A. Clans of Petri Nets: Verification of protocols and performance evaluation of networks - LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013 - 292 p.
  5. Stetsenko I.V. State equations of stochastic timed petri nets with informational relations / I.V. Stetsenko // Cybernetics and systems analysis - Vol. 48, No 5, 2012, - P.784-797.
  6. Stetsenko I.V. Petri-Object Simulation: Software Package and Complexity / I.V. Stetsenko, V. Dorosh, A. Dyfuchyn // Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2015), Warsaw (Poland), 2015, pp. 381-385.
  7. B. Zeigler, H. Praehofer, T. Gon Kim “Theory of Modeling and Simulation,” New York: Academic Press, 2000.
  8. Jensen K. Coloured Petri Nets: Modeling and Validation of Concurrent Systems / K.Jensen, L.Kristensen - Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2000 – 383p.

## Навчальний контент

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

Матеріали для вивчення дисципліни розміщений викладачем на **платформі Google Classroom** (<https://classroom.google.com/c/ODA1NTM1Mjk1MTY3?cjc=b2p3xqtm6>, код **b2p3xqtm6**). Контент платформи доступний із будь-якого місця в мережі Інтернет зареєстрованому на курс студенту. Навчальний курс складається з презентацій лекцій, завдань та теоретичного матеріалу для виконання лабораторних робіт, URL-посилання на документацію з програмного забезпечення та навчальний матеріал для самостійної роботи.

Програмою передбачено проведення 6 годин лекційних занять. Темі лекцій:

Лекція 1. Тема 1.1 Поняття моделі. Способи побудови моделей. Методи моделювання. Технології моделювання. Тема 1.3 Алгоритм імітаційного моделювання дискретно-подійної системи.  
 Лекція 2. Тема 1.5 Формалізація процесів функціонування дискретно-подійних систем. Тема 1.6 Формалізм мереж масового обслуговування. Тема 1.7 Формалізм стохастичних мереж Петрі.  
 Лекція 3. Тема 2.1.Формалізм Петрі-об'єктної моделі. Тема 2.2. Програмне забезпечення Петрі-об'єктного моделювання.

Лабораторні роботи виконуються з використанням мови програмування Java та, частково, програмного забезпечення Arena, Simio, CPNTools, що надається розробниками у використання в навчальних цілях безкоштовно, а також програмного забезпечення PetriObjModelPaint, розміщеного в [github.com/StetsenkoInna](https://github.com/StetsenkoInna). Під час їх проведення використовуються методичні вказівки до лабораторних робіт по дисципліні. Завдання кожної лабораторної роботи містить кілька підзавдань різної складності, які мають окреме оцінювання. Таке розбиття надає можливість більш об'єктивно оцінити рівень умінь студента і, водночас, адаптувати завдання до рівня знань та навичок студента.

*Перелік завдань лабораторних робіт:*

*Завдання до лабораторної роботи 1 «Об'єктно-орієнтований підхід до побудови імітаційних моделей дискретно-подійних систем» (теми 1.3, 1.4)*

*Завдання до лабораторної роботи 2 «Формалізація дискретно-подійних систем стохастичною мережею Петрі» (тема 1.7)*

*Завдання до лабораторної роботи 3 «Застосування алгоритму імітації стохастичної мережі Петрі для реалізації моделей дискретно-подійних систем» (тема 1.8)*

*Завдання до лабораторної роботи 4 «Програмне забезпечення з імітаційного моделювання систем Arena Simulation» (тема 3.2)*

*Домашня контрольна робота розміщена на платформі Google Classroom і містить завдання з перевірки як теоретичних знань, так і практичних навичок.*

## **6. Самостійна робота студента/аспіранта**

*Матеріали для самостійного вивчення дисципліни розміщені викладачем в електронному вигляді на платформі Google Classroom. Контент платформи доступний із будь-якого місця в мережі Інтернет. До самостійної роботи студента відноситься виконання завдання лабораторних робіт (30 годин), виконання домашньої контрольної роботи (30 годин), робота з документацією програмного забезпечення (10 годин), опрацювання лекційного та додаткового теоретичного матеріалу за наданими презентаціями лекцій, навчальним посібником та додатковою літературою (60 годин), підготовка до екзамену (23 години). На самостійну роботу студент має витрати 153 години.*

*Теми лекційного матеріалу для самостійної роботи:*

*Тема 1.2 Генератори випадкових чисел.*

*Тема 1.4 Об'єктно-орієнтований підхід до розробки алгоритму імітаційного моделювання дискретно-подійних системи.*

*Тема 1.8 Алгоритм імітації стохастичної мережі Петрі з багатоканальними переходами.*

*Тема 1.9 Математичний опис стохастичної мережі Петрі.*

*Тема 3.1 Моделювання в GPSS.*

*Тема 3.2 Моделювання в Arena Rockwell Software.*

*Тема 3.3 Моделювання в CPNTools.*

*Тема 3.4 Паралельні обчислення та імітаційне моделювання.*

*Тема 3.5. Програмне забезпечення з імітаційного моделювання:*

*Тема 4.1. Факторний експеримент*

*Тема 4.2. Пошук оптимальних умов*

## **Політика та контроль**

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

*Студент має вивчати дисципліну протягом семестру, дотримуючись календарного плану виконання лабораторних робіт, вивчення тем лекційного матеріалу та виконання домашньої контрольної роботи. Усі завдання студент має виконувати **самостійно і вчасно**. Лабораторна робота вважається виконаною, якщо студент розмістив звіт з виконання у відповідному розділі дисципліни на платформі Google Classroom.*

*Файл з виконаною домашньою контрольною роботою розміщується студентами у відповідному розділі дисципліни на платформі Google Classroom.*

*Оцінювання студентів здійснюється згідно рейтингової оцінки рівня підготовки студентів з дисципліни. Поточний стан успішності студенти можуть бачити в електронному журналі. Рейтингова система оцінювання з кредитного модуля описана у наступному розділі.*

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

Вказуються всі види контролю та бали за кожен елемент контролю, наприклад:

Поточний контроль: ДКР, лабораторні роботи

Семестровий контроль: *екзамен*

Умови допуску до семестрового контролю: 60 балів зі 100 за результатами поточного контролю.

Рейтинг студента з кредитного модуля складається з балів, які він отримує за результатами:

- 1) виконання домашньої контрольної роботи;
- 2) виконання лабораторних робіт;
- 3) відповідей на екзаменаційні питання;
- 4) виконання практичного завдання екзаменаційного білету.

### Система рейтингових балів

Усі завдання студента оцінюються за 100-бальною шкалою. Оцінка за завдання враховується в семестрову оцінку студента з ваговим коефіцієнтом. Теоретичні знання студента оцінюються за результатами домашньої контрольної роботи.

Практичні навички студента оцінюються за результатами захисту виконаних лабораторних робіт.

Сумарна оцінка визначається за формулою:

$$P = 1/4 \sum D_i,$$

де  $D_i$  – оцінка за  $i$ -ту лабораторну роботу.

Сума балів, набраних студентом протягом семестру, складається з сумарної оцінки за комп'ютерний практикум за формулою:

$$Z = 0,5 \cdot P + 0,5 \cdot T$$

де  $P$  – оцінка практичних навичок студента,  $T$  – оцінка його теоретичних знань (домашня контрольна робота).

Екзаменаційна оцінка складається з оцінки за відповіді на одне теоретичне питання та одне практичне завдання за формулою:

$$E = 0,5 \cdot P + 0,5 \cdot T$$

де  $P$  – оцінки виконання практичного завдання,  $T$  – оцінка відповіді на теоретичне питання.

Підсумкова оцінка формується за результатами оцінювання знань та навичок студента в семестрі та на екзамені за формулою:

$$S = 0,5 \cdot Z + 0,5 \cdot E$$

Підсумкова оцінка переводиться до залікової оцінки згідно з таблицею:

| Кількість балів           | Оцінка       |
|---------------------------|--------------|
| 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  |

## 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- *перелік питань, які виносяться на семестровий контроль (як додаток до силабусу);*

### Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

**Складено** професор кафедри ІПІ, д.т.н., професор Стеценко Інна Вячеславівна, ст. викладач кафедри ІПІ, доктор філософії Дифучина О.Ю., ст. викладач кафедри ІПІ, доктор філософії Дифучин А.Ю.

**Ухвалено** кафедрою ІПІ (протокол № 2/1 від 10.10.2025р.)

**Погоджено** Методичною комісією факультету (протокол № 3 від 17.10.2025р.)