

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Львівський національний університет імені Івана Франка**  
**Факультет електроніки та комп'ютерних технологій**  
**Кафедра радіоелектронних і комп'ютерних систем**


**Затверджено**

На засіданні кафедри радіоелектронних і  
комп'ютерних систем

факультету електроніки та комп'ютерних  
технологій

Львівського національного університету імені  
Івана Франка

(протокол №1/24 від 28 серпня 2023 р.)

Завідувач кафедри  Ігор ОЛЕНИЧ

**Силабус з навчальної дисципліни**  
**«Стохастичне моделювання / Stochastic Modeling»,**  
**що викладається в межах ОП «Комп'ютерні науки»**  
**другого (магістерського) рівня вищої освіти**  
**для здобувачів зі спеціальності**  
**122 – Комп'ютерні науки**

Львів 2023

<b>Назва дисципліни</b>	Стохастичне моделювання / Stochastic Modeling
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	м. Львів, вул. Драгоманова, 50
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	Факультет електроніки та комп'ютерних технологій, кафедра радіоелектронних і комп'ютерних систем
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	12 Інформаційні технології, 122 Комп'ютерні науки
<b>Викладачі дисципліни</b>	Соколовський Богдан Степанович, канд. фіз.-мат. наук, ст. наук.співр., доцент
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:bohdan.sokolovsky@lnu.edu.ua">bohdan.sokolovsky@lnu.edu.ua</a> <a href="https://electronics.lnu.edu.ua/employee/sokolovskyj-bohdan-stepanovych-2">https://electronics.lnu.edu.ua/employee/sokolovskyj-bohdan-stepanovych-2</a>
<b>Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекційних занять (за попередньою домовленістю): кімн. 213, корпус факультету електроніки та комп'ютерних технологій, м. Львів, вул. Драгоманова, 50. Також можливі онлайн консультації через MS Teams. Для погодження часу онлайн консультацій слід писати на електронну пошту викладача.
<b>Сторінка дисципліни</b>	<a href="https://e-learning.lnu.edu.ua/course/view.php?id=5124">https://e-learning.lnu.edu.ua/course/view.php?id=5124</a> <a href="https://electronics.lnu.edu.ua/course/stohastychno-modelyuvannya">https://electronics.lnu.edu.ua/course/stohastychno-modelyuvannya</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна «Стохастичне моделювання» є нормативною дисципліною з спеціальності 122 Комп'ютерні науки для освітньої програми «Комп'ютерні науки», яка викладається в 2 семестрі в обсязі 6,0 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	В навчальній дисципліні висвітлюються теоретичні, алгоритмічні та прикладні аспекти методу стохастичного моделювання. Розглядаються підходи до розробки стохастичних моделей для детермінованих та ймовірнісних систем та процесів. Проаналізовано методи оцінки статистичних характеристик результатів стохастичних експериментів. Описано методи та алгоритми генерування псевдовипадкових чисел, моделювання дискретних та неперервних випадкових величин з різними законами розподілів. Розглянуто методи моделювання випадкових процесів. Значну увагу приділено застосуванню ймовірнісних підходів до розв'язання прикладних задач, в тому числі оптимізаційного характеру.
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	<i>Метою</i> навчальної дисципліни є формування у студентів теоретичних знань в області сучасних методів стохастичного моделювання, а <i>цілями</i> – отримання практичних навичок щодо застосування методів стохастичного моделювання для розв'язання математичних, фізико-технічних та економічних задач, в тому числі з використанням спеціалізованих програмних продуктів.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	Основна література: 1. Томашевський В.М. Моделювання систем. – К.: Видавнича група BHV, 2005. – 352с. 2. Taylor Howard M., Karlin Samuel. An Intoduction to Stochastic Modelling. – San Diego: Academic Press, 1998. – 631p. 3. Knuth Donald E. The Art of Computer Programming. Vol.2. – Adisson Wesley Longman, 1998. – 763p. 4. Reuven V. Rubinstein Simulation and the Monte Carlo Method. –New

	<p>York, Wiley &amp; Sons, 1981. – 278p.</p> <p>5. Sobol I. M. A Primer for the Monte Carlo Method. – London, CRC Press, 1994. –107p.</p> <p>6. Субботін С. О., Олійник А.О., Олійник О.О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережових моделей. Монографія. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. – 375с.</p> <p>7. Гуляницький Л. Ф., Мулеса О.Ю. Прикладні методи комбінаторної оптимізації. Навч. посібник. – К.: ВПЦ “Київський університет”, 2016.– 133с.</p> <p>8. Luke Sean. Essential of Metaheuristics. – 2009. – 235p. Available at <a href="http://cs.gmu.edu/~sean/book/metaheuristics/">http://cs.gmu.edu/~sean/book/metaheuristics/</a></p> <p>Допоміжна література:</p> <p>9. Бобик О.І., Берегова Г.І., Копитко Б.І. Теорія ймовірностей і математична статистика. – Львів: 2006. – 440с.</p> <p>10. Сеньо П.С. Випадкові процеси.- Львів: Компакт- ЛВ, 2006. – 288с.</p> <p>11. Metropolis N. The beginning of the Monte Carlo Method. – Los Alamos Science, Special Issue, 1987.</p> <p>12. Кособуцький П.С. Статистичні та Монте-Карло алгоритми моделювання випадкових процесів у макро- і мікросистемах в MathCAD.– Львів: Вид. “ Львівська політехніка”, 2014.– 412с.</p> <p>13. Seminar on Stochastic Processes 2022. Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania. URL: <a href="https://wordpress-lehigh-edu.translate.goog/ssp2022/? x_tr_sl=en&amp; x_tr_tl=uk&amp; x_tr_hl=uk&amp; x_tr_pto=sc">https://wordpress-lehigh-edu.translate.goog/ssp2022/? x_tr_sl=en&amp; x_tr_tl=uk&amp; x_tr_hl=uk&amp; x_tr_pto=sc</a></p>
<b>Обсяг курсу</b>	64 години аудиторних занять, з них 32 години лекцій, 32 години лабораторних робіт, а також 116 годин самостійної роботи.
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>Після завершення цього курсу студент буде :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>знати:</b> теоретичні основи створення ймовірнісних моделей для аналізу детермінованих та стохастичних систем; основні види метаевристичних алгоритмів, методи генерування псевдовипадкових чисел, випадкових величин та випадкових процесів; способи оцінки точності результатів стохастичного моделювання.</li> <li>- <b>вміти:</b> реалізувати основні алгоритми моделювання випадкових величин з різними законами розподілу; гауссових процесів та марковських ланцюгів; обчислювати інтеграли методом Монте-Карло; застосовувати методи стохастичного моделювання для розв’язання прикладних задач, в тому числі оптимізаційного характеру, розробляти відповідне алгоритмічне та програмне забезпечення; працювати з спеціалізованими програмними продуктами. Після вивчення курсу здобувачі набудуть таких компетентностей і програмних результатів:</li> </ul> <p>ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.</p> <p>СК1. Усвідомлення теоретичних засад комп’ютерних наук.</p> <p>СК2. Здатність формалізувати предметну область певного проєкту у вигляді відповідної інформаційної моделі.</p> <p>СК4. Здатність збирати та аналізувати дані (включно з великими) для забезпечення якості проєктних рішень.</p> <p>СК5. Здатність розробляти, описувати, аналізувати та оптимізувати архітектурні рішення інформаційних і комп’ютерних систем різного призначення.</p> <p>СК6. Здатність застосовувати існуючі та розробляти нові алгоритми</p>

	<p>розв'язування задач у галузі комп'ютерних наук.</p> <p>PH2. Мати спеціалізовані уміння/навички розв'язання проблем комп'ютерних наук, необхідні для проведення досліджень та/або провадження інноваційної діяльності з метою розвитку нових знань та процедур.</p> <p>PH5. Оцінювати результати діяльності команд та колективів у сфері інформаційних технологій, забезпечувати ефективність їх діяльності.</p> <p>PH6. Розробляти концептуальну модель інформаційної або комп'ютерної системи.</p> <p>PH7. Розробляти та застосовувати математичні методи для аналізу інформаційних моделей.</p> <p>PH11. Створювати нові алгоритми розв'язування задач у сфері комп'ютерних наук, оцінювати їх ефективність та обмеження на їх застосування.</p> <p>PH19. Аналізувати сучасний стан і світові тенденції розвитку комп'ютерних наук та інформаційних технологій.</p> <p>PH20. Володіти методами та засобами штучного інтелекту, інженерії та аналізу даних, розпізнавання образів і адаптивного опрацювання інформації, аналізу та обробки природної мови, моделювання та оптимізації.</p>
<b>Ключові слова</b>	Стохастичне моделювання, метод Монте-Карло, метаевристичні алгоритми, Stochastic Modeling, Monte Carlo method, Metaheuristic Algorithms.
<b>Формат курсу</b>	Очний
	Проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для кращого розуміння тем
<b>Теми</b>	Див. СХЕМА КУРСУ
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Екзамен в кінці семестру
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань у галузі 12 – Інформаційні технології, зокрема “Вища математика”, “Теорія ймовірностей і математична статистика”, “Чисельні методи”, “Основи програмування і алгоритмічні мови”, “Дискретна математика”.
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Презентації, лекції, лабораторні роботи, обговорення, дискусія.
<b>Необхідне обладнання</b>	Мультимедіа, платформи Teams і Moodle, комп'ютерне програмне забезпечення: MatLab Online, Python 3, R
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	<p>Оцінювання проводиться упродовж семестру за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за такими видами робіт з наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 9 лабораторних робіт і 1 реферат: максимальна кількість балів <math>10 \times 3 = 30</math>.</li> <li>• контрольні заміри (2 модулі): максимальна кількість балів <math>2 \times 10 = 20</math>.</li> <li>• екзамен: максимальна кількість балів 50.</li> </ul> <p>Загалом упродовж семестру 100 балів.</p> <hr/> <p><b>Контрольні заміри проводяться у формі контрольних робіт. Академічна доброчесність:</b> Студенти повинні самостійно виконати ряд лабораторних робіт, а також підготувати реферат або проєкт за тематикою курсу. Відсутність у звітах до лабораторних робіт, а також в</p>

	<p>контрольних роботах посилянь на використанні джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.</p> <p><b>Відвідання занять</b> є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і лабораторні заняття курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. Студенти зобов'язані дотримуватися усіх термінів визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом.</p> <p><b>Література.</b> Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p><b>Політика виставлення балів.</b> Враховуються бали набрані на поточному тестуванні, самостійній роботі та бали підсумкового тестування. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час лабораторного заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін. Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
<b>Питання до контрольних робіт</b>	Перелік питань та завдань до контрольних робіт розміщені на веб-сторінці ( <a href="https://e-learning.lnu.edu.ua/course/view.php?id=5124">https://e-learning.lnu.edu.ua/course/view.php?id=5124</a> ) та в телеграм-групі.
<b>Опитування</b>	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

### СХЕМА КУРСУ

Тижд.	Тема, план, короткі тези	Форма діяльн. (заняття)	Література. Ресурси в Інтернеті	Завдання, лабораторна робота, самостійна робота	Термін виконання
1	<b>Вступ до дисципліни.</b> Суть та загальна характеристика методу стохастичного моделювання. Факти з історії виникнення та розвитку методу. Переваги та недоліки методу. Приклади застосування методу стохастичного моделювання (задача Бюффона, hit or miss experiment, обчислення визначеного інтеграла). Коротка характеристика програмних пакетів для стохастичного моделювання.	Лекція	1, 2, 5, 11	Вступне заняття. Академічна доброчесність.  Статистична обробка даних стохастичного експерименту	1,2 тиж. семестру
2,3	<b>Теоретичні основи методу стохастичного моделювання.</b> Математичний опис основних типів дискретних та неперервних випадкових величин (одновимірних та багатовимірних). Закон великих чисел та граничні теореми як теоретичне підґрунтя методу стохастичного моде-	Лекція	1, 2, 5, 9	Моделювання задачі Бюффона  Генерування псевдовипадкових чисел	3тиж. семестру

	лювання. Методи статистичного аналізу результатів стохастичного експерименту (метод моментів, функція правдоподібності, метод найменших квадратів, точкові та інтервальні оцінки вибірок, довірчі інтервали). Статистичні гіпотези та критерії узгодження Пірсона і Колмогорова; їх використання при опрацюванні даних стохастичного експерименту.				
4, 5	<b>Методи генерування рівномірно розподілених випадкових (псевдовипадкових) чисел.</b> Основні способи отримання випадкових (псевдовипадкових) чисел (апаратні, табличні, алгоритмічні); їх переваги та недоліки. Аналіз алгоритмічних методів генерування псевдовипадкових чисел (метод серединних квадратів, лінійний конгруентний, нелінійні конгруентні методи, адитивний метод Фібоначчі). Генератори псевдовипадкових чисел на основі регістрів зсуву із зворотнім зв'язком. Залежність періоду послідовності псевдовипадкових чисел від параметрів моделюючих формул. Тестування якості псевдовипадкових чисел. Характеристика тестів NIST-STS.	Лекція	1, 2, 3, 5	Моделювання дискретних випадкових величин	4, 5 тиж. семестру
6, 7	<b>Методи та алгоритми моделювання дискретних випадкових величин та випадкових подій.</b> Загальний метод моделювання дискретних випадкових величин. Алгоритми моделювання випадкових величин, які підпорядковуються різним законам розподілу ймовірностей. Алгоритми моделювання випадкових дискретних векторів. Перевірка відповідності згенерованих випадкових величин заданим законам розподілу. Моделювання випадкових подій. Перевірка відповідності згенерованих випадкових величин заданим законам розподілу.	Лекція	1, 2, 3, 5	Моделювання неперервних випадкових величин	6,7 тиж. семестру

8, 9	<p><b>Методи та алгоритми моделювання неперервних випадкових величин.</b>  Стандартний метод генерування неперервних випадкових величин. Метод оберненої функції та умови його застосування. Моделювання неперервних випадкових величин з використанням узагальненої оберненої функції розподілу. Стандартний та узагальнений метод Неймана. Метод суперпозиції та умови його застосування. Генерування неперервних випадкових величин з використанням кусочно-лінійної апроксимації густини розподілу. Метод Неймана. Моделюючі формули для моделювання неперервних випадкових величин з різними функціями розподілу.  . Моделювання ізотропного вектора в тривимірному просторі. Моделювання багатовимірних неперервних випадкових величин. Перевірка відповідності згенерованих випадкових величин заданим законам розподілу.</p>	Лекція	1, 2, 3, 5	Розрахунок визначених інтегралів методом Монте-Карло	8, 9 тиж. семестру
10	<p><b>Обчислення визначених інтегралів методом Монте-Карло.</b>  Загальна схема методу Монте-Карло. Стандартний та геометричний методи Монте-Карло. Оцінка точності розрахунку інтегралів. Способи підвищення точності розрахунків (вибірка за значимістю, виділення головної частини, симетризація підінтегральної функції).. Прилади розрахунків інтегралів методом Монте-Карло.</p>	Лекція	4, 5, 12	Моделювання переносу нейтронів у речовині	10,11 тиж. семестру
11, 12	<p><b>Моделювання випадкових процесів.</b>  Основні числові характеристики випадкових процесів. Комбінаторний опис випадкового блукання. Часова асимптотика випадкового блукання. Моделювання випадкового блукання методами Монте-Карло та Метрополіса. Застосування випадкового блукання для числового розв'язку крайових задач. Моделювання гаусівських випадкових процесів. Метод ковзної суми. Моделювання випадкових процесів з незалежними приростами. Моделювання білих шумів.</p>	Лекція	2, 10	Моделювання випадкового блукання на площині	12 тиж. семестру

13, 14	<p><b>Приклади застосування методу Монте-Карло для імітаційного моделювання деяких процесів та систем.</b></p> <p>Моделювання вільного пробігу частинки. Алгоритм переносу нейтронів у речовині. Використання статистичних ваг для підвищення точності моделювання. Моделювання систем масового обслуговування (без відмов та з відмовами). Моделювання надійності технічних систем.</p>	Лекція	3, 5, 12		13,14 тиж. семестру
15, 16	<p><b>Методи та алгоритми стохастичної оптимізації.</b></p> <p>Ймовірнісні підходи до розв'язання оптимізаційних задач. Загальна характеристика метаевристичних алгоритмів. Алгоритми, які базуються на одному початковому стані (локальний пошук, глобальний пошук, табу-пошук, алгоритм імітації відпалу). Узагальнена схема генетичного алгоритму, специфіка генетичних операторів. Приклади ройових алгоритмів (алгоритм рою часток, бджолині, мурашині алгоритми).</p>	Лекція	6–8	<p>Розв'язання задачі комівояжера за допомогою генетичного алгоритму</p> <p>Презентація реферату (власного проєкту)</p>	15,16 тиж. семестру