МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Механіко-математичний факультет
Кафедра математичної статистики і диференціальних рівнянь

Затверджено
На засіданні
кафедри математичної статистики і диференціальних рівнянь
механіко-математичного факультету
Львівського національного університету імені Івана Франка
(протокол № 1 від 29.08.2022 р.)

Завідувач кафедри: Олег Бугрій

_____

Силабус з навчальної дисципліни
“Теорія складних систем”,
що викладається в межах ОПП
“ Статистика. Статистичний аналіз даних”
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для здобувачів з спеціальності 112 – статистика

Львів 2023 р.

Назва дисципліни	Теорія складних систем
Адреса викладання дисципліни	Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка м. Львів, вул. Університетська 1
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Механіко-математичного факультет Кафедра математичної статистики і диференціальних рівнянь
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	11 – математика та статистика 112 – статистика
Викладачі дисципліни	Головатий Юрій, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри математичної статистики і диференціальних рівнянь
Контактна інформація викладачів	yuriy.golovaty@lnu.edu.ua , http://new.mmf.lnu.edu.ua/employee/golovaty_yu_d ; Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка, каб. 267. м. Львів, вул. Університетська, 1
Консультації	Консультацію з теоретичної чи практичної частини курсу можна отримати в чаті MS Teams, групі курсу в Telegram у будь-який зручний для студентів та викладача час, а також в ауд. 267 в день проведення лекцій чи практичних занять за попередньою домовленістю.
Сторінка курсу	https://new.mmf.lnu.edu.ua/course/
Інформація про дисципліну	Курс присвячений математичному і статистичному аналізу складних графових структур даних. Акцент зроблено на методах дослідження таких реальних систем як соціальні мережі, логістичні, інфраструктурні, банківські мережі.
Коротка анотація дисципліни	Дисципліна “Теорія складних систем” є вибірковою дисципліною з спеціальності 112 – статистика для освітньої програми “Статистичний аналіз даних ”, яка викладається в 2 семестрі в обсязі 4-ох кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Мета та цілі дисципліни	***Мета дисципліни:*** ознайомити студентів з основами теорії складних систем, класифікацією мережевих структур та застосуванням таких структур до статистичного моделювання процесів, що відбуваються в соціальних, логістичних, інфраструктурних мережах. ***Цілі дисципліни:*** навчити основним методам статистичного моделювання явищ і процесів в великих структурах зі складною геометрією, дати студентам набір сучасних алгоритмів для ефективного аналізу великих даних в мережевих структурах.
Література для вивчення дисципліни	***Методичні матеріали*** 1. Головатий Ю. Д. Електронний навчальний курс “Алгоритми і структури даних” *(атестований Організаційно-методичним центром електронного навчання ЛНУ імені Івана Франка, червень 2022 р.)* https://e-learning.lnu.edu.ua/course/view.php?id=5002.

	Рекомендована література 2. Newman, Mark. Networks. Oxford university press, 2018. 3. Newman, Mark, Albert-László Barabási, and Duncan J. Watts. The structure and dynamics of networks. Princeton university press, 2011. 4. Van Der Hofstad, R. Random graphs and complex networks, 2009. ***Додаткова література та інтернет-ресурси*** 5. Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., & Hwang, D. U. (2006). Complex networks: Structure and dynamics. Physics reports, 424(4-5), 175-308. 6. Roughgarden T. Algorithms Illuminated. Part 2: Graph algorithms data structures. Cambridge University Press, 2018. 7. Social and Information Network Analysis, Jure Leskovec, Stanford. 8. The structure of Information Networks , Jon Kleinberg, Cornell University.
Обсяг курсу	Загальний обсяг: 120 годин. Аудиторних занять: 48 год., з них 32 год. лекційних та 16 годин практичних робіт. Самостійної роботи: 72 год.
Очікувані результати навчання	Вивчивши цей курс, студент **знатиме**: класифікацію складних мережевих систем, методи дослідження складних мереж, основні статистичні параметри мереж; **вмітиме**: створювати математичні моделі процесів в складних мережевих структурах, проводити аналіз великих даних в соціальних мережах, застосовувати сучасні алгоритми роботи на випадкових графах.
Ключові слова	Складна система, мережева структура даних, випадковий граф, безмасштабна мережа, мережа малого світу, кластеризація, спільноти на графах,
Формат курсу	• ***Дистанційний*** з переглядом відео-курсу лекцій та відео-курсу практичних занять на платформі e-learning.lnu.edu.ua, можливістю комп'ютерного тестування студентів для самоконтролю, онлайн консультаціями з викладачем та проведенням заліковий контрольних робіт в центрі командної роботи MS Teams. • ***Очний*** з проведення лекційних, лабораторних робіт і консультацій в аудиторії. • Змішаний ***очно-дистанційний*** формат з проведенням лише лабораторних занять в аудиторіях.
Теми	Тема 1. Вступ до теорії складних систем. Тема 2. Історія вивчення мереж. Емпіричні результати. Тема 3. Випадкові графи. Тема 4. Модель безмасштабної мережі Барабаши-Альберт. Тема 5.Модель Воттса-Строгаца. Малі світи. Тема 6. Метрики центральності на графах. Тема 7. Алгоритм PageRank пошуковика Google. Тема 8. Структурні властивості мереж. Тема 9. Розбиття графів. Тема 10. Метрики кластеризації на графах. Тема 11. Пошук спільнот в мережах. Тема 12. Математичне моделювання епідемій в мережах. Тема 13. Оптимізація логістичних і сервісних мереж.

	Тема 14. Методи візуалізації складних мереж. Тема 15. Графовий оператор Лапласа і його властивості. Тема 16. Спектральні методи дослідження графів.
Підсумковий контроль, форма	Залік в 2 семестрі.
Пререквізити	Для вивчення цього курсу студенти повинні мати базові знання з ✓ теорії ймовірності, ✓ дискретної математики, ✓ програмування, а також володіти синтаксисом мови Python.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Створення команди курсу в MS Teams та групи курсу в Telegram для призначення завдань, консультацій і спілкування зі студентами. Створення презентацій лекційних та практичних занять, запис відео лекцій та практичних. Створення бази завдань та проведення тестувань і контрольних робіт в MOODLE (Modular Object Oriented Distance Learning Environment) на платформі e-learning.lnu.edu.ua.
Необхідне обладнання	Стаціонарний комп'ютер чи ноутбук із необхідним програмним забезпеченням та доступ до мережі Internet.
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання поточної успішності проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за схемою: • Виконання та захист лабораторних робіт – 50 балів. • Командний виступ з презентацією сучасних проблеми теорії алгоритмів – 10 балів. • Тести з теорії мереж – 40 балів. **Академічна доброчесність**. На початку курсу викладач повинен чітко і детально пояснити студентам систему оцінювання та форми тестування. Викладач обіцяє об'єктивно оцінювати знання студентів, готувати якісні навчальні матеріали та завдання, рівномірно розподіляти для студентів навантаження курсу протягом семестру, вчасно перевіряти контрольні роботи та інформувати студентів про їхні результати. Викладач очікує, що роботи студентів будуть самостійними, без списування та втручання в роботу інших студентів чи сторонніх осіб. Виявлення ознак академічної недоброчесності в написанні студентської роботи є підставою для її незарахування, незалежно від масштабів плагіату чи обману. **Відвідання занять** є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та лабораторні зайняття курсу. Студенти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У

	будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися термінів визначених для виконання всіх видів робіт, передбачених курсом. **Література.** 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.
Питання до заліку чи екзамену	Для проведення тестування та заліку створено банк питань в середовищі MOODLE на платформі e-learning.lnu.edu.ua, який містить понад 100 завдань з усіх теоретичних і практичних розділів курсу.
Опитування	Незалежні опитування студентів проводять на двох платформах. ○ Студентське оцінювання електронного навчального курсу на платформі MOODLE https://e-learning.lnu.edu.ua/mod/questionnaire/view.php?id=113511 ○ Опитування щодо якості навчальних дисциплін в системі "Деканат" https://dekanat.lnu.edu.ua

Схема курсу "Теорія складних систем"
для студентів спеціальності 112 – Статистичний аналіз даних

Тижні	Лекційний курс		Практичні заняття		Навчальна література
	Назва теми	Години	Назва теми	Години	
1	2	3	4	5	6
1	Вступ до теорії складних систем	2	Засоби створення, візуалізації і аналізу графів в Python	2	[2]
2	Історія вивчення мереж. Емпіричні результати.	2			[2,3]
3	Випадкові графи.	2	Генерування і статисчний аналіз випадкових графів	2	[2,3,7]
4	Модель безмасштабної мережі Барабаши-Альберт	2			
5	Модель Воттса-Строгаца. Малі світи.	2	Аналіз ймовірнісних розподілів степенів вершин для різних типів мереж	2	[2,3,4]
6	Метрики центральності на графах.				[2,4]
7	Алгоритм PageRank пошуковика Google.	2	Розрахунок метрик центральності для різних типів мереж	2	[2,4,8]
8	Структурні властивості мереж.	2			[1, 3,4]

9	Розбиття графів.	2	Дослідження мереж шляхом кластеризації	2	[1, 3,4]
10	Метрики кластеризації на графах.	2			[2, 3,4]
11	Пошук спільнот в мережах	2	Алгоритми пошуку спільнот	2	[2,3]
12	Математичне моделювання епідемій в мережах.	2			[1, 3,4]
13	Оптимізація логістичних і сервісних мереж.	2	Динамічні задачі на графах	2	[1, 2,4]
14	Методи візуалізації складних мереж.	2			[3,4]
15	Графовий оператор Лапласа і його властивості.	2	Візуалізація графів	2	[2]
16	Спектральні методи дослідження графів.	2			[2]
	Разом	32		16	
	Лектор: Юрій Головатий		Викладач: Юрій Головатий		