

**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 22.06.2023 р.)



Завідувач кафедри:

Олег БУГРІЙ

**Силабус з навчальної дисципліни**  
**“ Теорія складних систем ”,**  
**що викладається в межах ОПШ**  
**“ Статистичний аналіз даних ”**  
**другого (магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів з**  
**спеціальності 112 - Статистика**

Львів 2023 р.

<b>Назва дисципліни</b>	Теорія складних систем
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка, вул. Університетська 1, м. Львів, 79000
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	Механіко-математичний факультет Кафедра математичної статистики і диференціальних рівнянь
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	11 - Математика та статистика 112 – Статистика
<b>Викладачі дисципліни</b>	Головатий Юрій Данилович, доктор фізико-математичних наук, доцент, професор кафедри математичної статистики і диференціальних рівнянь
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:yuriy.golovaty@lnu.edu.ua">yuriy.golovaty@lnu.edu.ua</a> , <a href="http://new.mmf.lnu.edu.ua/employee/golovaty_yu_d">http://new.mmf.lnu.edu.ua/employee/golovaty_yu_d</a> ; Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка, вул. Університетська 1, м. Львів, 79000
<b>Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій/практичних занять (за попередньою домовленістю): ауд. 267, головний корпус ЛНУ ім. І. Франка, вул. Університетська 1, м. Львів, 79000
<b>Сторінка курсу</b>	<a href="https://new.mmf.lnu.edu.ua/course/tss-112-mag">https://new.mmf.lnu.edu.ua/course/tss-112-mag</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна “Теорія складних систем” є вибірковою дисципліною з спеціальності 112-Статистика для освітньої програми “Статистичний аналіз даних”, яка викладається в 2-му семестрі в обсязі 4-ох кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	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
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	<i>Мета:</i> 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. <i>Цілі:</i> 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.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<b>Методичні матеріали</b> 1. Головатий Ю. Д. Електронний навчальний курс “Алгоритми і структури даних” (атестований Організаційно-методичним центром електронного навчання ЛНУ імені Івана Франка, червень 2022 р.) <a href="https://e-learning.lnu.edu.ua/course/view.php?id=5002">https://e-learning.lnu.edu.ua/course/view.php?id=5002</a> .  <b>Рекомендована література</b> 2. Newman, Mark. Networks. Oxford university press, 2018. 3. Newman, Mark, Albert-László Barabási, and Duncan J. Watts. The

	<p>structure and dynamics of networks. Princeton university press, 2011.</p> <p>4. Van Der Hofstad, R. Random graphs and complex networks, 2009.</p> <p><i>Додаткова література та інтернет-ресурси</i></p> <p>5. Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., &amp; Hwang, D. U. (2006). Complex networks: Structure and dynamics. Physics reports, 424(4-5), 175-308.</p> <p>6. Roughgarden T. Algorithms Illuminated. Part 2: Graph algorithms data structures. Cambridge University Press, 2018.</p> <p>7. <a href="#">Social and Information Network Analysis</a>, Jure Leskovec, Stanford.</p> <p>8. <a href="#">The structure of Information Networks</a> , Jon Kleinberg, Cornell University.</p>
<b>Обсяг курсу</b>	Загальний обсяг: 120 годин. Аудиторних занять: 48 год., з них 32 год. лекційних та 16 годин практичних занять. Самостійної роботи: 72 год.
<b>Очікувані результати навчання</b>	У результаті вивчення даного курсу студент повинен: <b>знати:</b> класифікацію складних мережевих систем, методи дослідження складних мереж, основні статистичні параметри мереж; <b>вміти:</b> створювати математичні моделі процесів в складних мережевих структурах, проводити аналіз великих даних в соціальних мережах, застосовувати сучасні алгоритми роботи на випадкових графах.
<b>Ключові слова</b>	Складна система, мережева структура даних, випадковий граф, безмасштабна мережа, мережа малого світу, кластеризація, спільноти на графах.
<b>Формат курсу</b>	Очний
<b>Теми</b>	<p>Тема 1. Вступ до теорії складних систем.</p> <p>Тема 2. Історія вивчення мереж. Емпіричні результати.</p> <p>Тема 3. Випадкові графи.</p> <p>Тема 4. Модель безмасштабної мережі Барабаши-Альберт.</p> <p>Тема 5. Модель Воттса-Строгаца. Малі світи.</p> <p>Тема 6. Метрики центральності на графах.</p> <p>Тема 7. Алгоритм PageRank пошуковика Google.</p> <p>Тема 8. Структурні властивості мереж.</p> <p>Тема 9. Розбиття графів.</p> <p>Тема 10. Метрики кластеризації на графах.</p> <p>Тема 11. Пошук спільнот в мережах.</p> <p>Тема 12. Математичне моделювання епідемій в мережах.</p> <p>Тема 13. Оптимізація логістичних і сервісних мереж.</p> <p>Тема 14. Методи візуалізації складних мереж.</p> <p>Тема 15. Графовий оператор Лапласа і його властивості.</p> <p>Тема 16. Спектральні методи дослідження графів.</p>
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Залік у кінці семестру
<b>Пререквізити</b>	<p>Для вивчення цього курсу студенти повинні мати базові знання з</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- теорії ймовірності,</li> <li>- дискретної математики,</li> <li>- програмування,</li> </ul> <p>а також володіти синтаксисом мови Python.</p>

<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Інформаційні методи (лекція, бесіда, ілюстрація, демонстрація); дедуктивні методи на основі узагальнень; евристичні методи (проблемна лекція); інтерактивні методи (дискусія)
<b>Необхідне обладнання</b>	Комп'ютер із необхідним програмним забезпеченням, доступ до Internet мережі.
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	<p>Оцінювання поточної успішності проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за схемою:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Виконання та захист лабораторних робіт – 50 балів.</li> <li>• Командний виступ з презентацією сучасних проблеми теорії алгоритмів – 10 балів.</li> <li>• Тести з теорії мереж – 40 балів.</li> </ul> <p>Підсумкова максимальна кількість балів 100.</p> <p><b>Академічна доброчесність:</b> Очікується, що роботи студентів будуть оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Списування та втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в написанні завдань 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 та практичні заняття 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.</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 при поточному контролі та бали підсумкового тестування. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час практичного 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.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
<b>Питання до заліку чи екзамену.</b>	Для проведення тестування та заліку створено банк питань в середовищі MOODLE на платформі <a href="http://e-learning.lnu.edu.ua">e-learning.lnu.edu.ua</a> , який містить понад 100 завдань з усіх теоретичних і практичних розділів курсу.
<b>Опитування</b>	<p>Незалежні опитування студентів проводять на двох платформах.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Студентське оцінювання електронного навчального курсу на платформі MOODLE <a href="https://e-learning.lnu.edu.ua/mod/questionnaire/view.php?id=113511">https://e-learning.lnu.edu.ua/mod/questionnaire/view.php?id=113511</a></li> <li>○ Опитування щодо якості навчальних дисциплін в системі “Деканат” <a href="https://dekanat.lnu.edu.ua">https://dekanat.lnu.edu.ua</a>.</li> </ul>

**Схема курсу “ Теорія складних систем ”  
для студентів спеціальності 112 – Статистика**

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