

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

**Затверджено**

На засіданні кафедри оптоелектроніки та  
інформаційних технологій  
факультету електроніки та комп'ютерних  
технологій

Львівського національного університету імені  
Івана Франка  
(протокол №6 від 29 липня 2023 р.)

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ Олег КУШНІР

**Силабус з навчальної дисципліни**  
**«Аналіз складних систем і мереж»,**  
**що викладається в межах ОПШ «Комп'ютерні науки»**  
**першого (бакалаврського) рівня вищої освіти**  
**для здобувачів з спеціальності**  
**122 Комп'ютерні науки**

<b>Назва дисципліни</b>	Аналіз складних систем і мереж
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	м. Львів, вул. Тарнавського, 107
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	Факультет електроніки та комп'ютерних технологій, кафедра оптоелектроніки та інформаційних технологій
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	12 Інформаційні технології 122 Комп'ютерні науки
<b>Викладачі дисципліни</b>	Кушнір Олег Степанович, докт. фіз.-мат. наук, проф., проф.
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:oleh.kushnir@lnu.edu.ua">oleh.kushnir@lnu.edu.ua</a> <a href="https://electronics.lnu.edu.ua/employee/kushnir-o-s">https://electronics.lnu.edu.ua/employee/kushnir-o-s</a>
<b>Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекційних занять (за попередньою домовленістю): кімн. 215, корпус факультету електроніки та комп'ютерних технологій, м. Львів, вул. Тарнавського, 107. Також можливі онлайн-консультації через Zoom або Telegram. Для погодження часу онлайн-консультацій слід писати на електронну пошту викладача або на Telegram.
<b>Сторінка дисципліни</b>	<a href="https://electronics.lnu.edu.ua/course/analiz-skladnykh-system-i-merezh-122-komp-iuterni-nauky">https://electronics.lnu.edu.ua/course/analiz-skladnykh-system-i-merezh-122-komp-iuterni-nauky</a> <a href="http://194.44.208.156/moodle/course/view.php?id=59">http://194.44.208.156/moodle/course/view.php?id=59</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна «Аналіз складних систем і мереж» є вибірковою дисципліною освітньої програми «Комп'ютерні науки», яка викладається у 8 семестрі в обсязі 4,5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою – ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	Навчальну дисципліну розроблено для одержання студентами теоретичних знань зі складних систем і мереж, а також для формування в них навичок ефективного застосування засвоєних знань і методів у розв'язанні відповідних прикладних задач. Представлено основи теорії систем і мереж, зокрема підходів до складних систем і мереж, класифікацію та огляд особливостей відповідних програмних продуктів, практичні приклади системного аналізу з різних галузей, а також відповідні комп'ютерні алгоритми і засоби обробки даних.
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	<i>Метою</i> вивчення дисципліни «Аналіз складних систем і мереж» є ознайомлення студентів з теоретичними основами складних систем і мереж. <i>Цілями</i> вивчення дисципліни є формування в студентів практичних навичок, які б дали змогу ефективно застосовувати засвоєні знання, алгоритми, методи та прикладні програми для аналізу систем і мереж.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<i>Основна література:</i> 1. Newman M. E. J. / The Structure and Dynamics of Networks / M. E. J. Newman, A.-L. Barabasi, D. J. Watts. – Princeton : Princeton University Press, 2006. 2. Watts D. J. / Small Worlds / D. J. Watts. – Princeton : Princeton University Press, 1999. 3. Головач Ю. Складні мережі / Ю. Головач, О. Олемскої, К. фон Фербер, Т. Головач, О. Мриглод, І. Олемскої, В. Пальчиков // Журн. фіз. дослідж. – 2006. – Т. 10, №4. – С. 247–289. 4. Newman M. E. J. The structure and function of complex networks / M. E. J. Newman // SIAM Review. – 2003. – Vol. 45, No. 2. – P. 167–256. 5. Holovatch Yu. Complex systems: physics beyond physics // Yu.

	<p>Holovatch, R. Kenna, S. Thurner. – Eur. J. Phys. – 2017. – Vol. 38. – P. 023002 (19 pp.).</p> <p>6. Eisler Z. Fluctuation scaling in complex systems: Taylor's law and beyond / Z. Eisler, I. Bartos, J. Kertész // Adv. Phys. – 2008. – Vol. 57, No 1. – 89–142.</p> <p><i>Додаткова література:</i></p> <p>7. Proceedings of Complex Networks: Theory, Methods, and Applications – Lake Como School of Advanced Studies – 22–26 May 2023. – URL: <a href="https://comdig.unam.mx/2022/10/24/complex-networks-theory-methods-and-applications-lake-como-school-of-advanced-studies-22-26-may-2023/">https://comdig.unam.mx/2022/10/24/complex-networks-theory-methods-and-applications-lake-como-school-of-advanced-studies-22-26-may-2023/</a></p> <p>8. Albert R. Attack and error tolerance of complex networks / R. Albert, H. Jeong, A. Barabasi // Nature. – 2000. – Vol. 406. – P. 378–382.</p> <p>9. Gerlach M. Testing Statistical Laws in Complex Systems / M. Gerlach, E. G. Altmann // Phys. Rev. Lett. – 2019. – Vol. 122. – P. 168301. (5 pp.).</p>
<b>Обсяг курсу</b>	Аудиторні години – 64, з них лекції – 32 години, лабораторні роботи – 32 години і 71 година самостійної роботи
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>Після завершення цього курсу студент буде:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- знати основні методи аналізу систем і мереж, основні теорії, моделі та алгоритми теорії складних систем і мереж та їхнього опису, інформаційного пошуку та інтелектуального аналізу систем і мереж;</li> <li>- вміти аналізувати моделі складних систем і мереж, працювати з відповідними програмними продуктами, застосовувати комп'ютерну техніку для вирішення системних задач, розробляти та реалізувати відповідні алгоритми, писати прикладні програми та користуватися ними.</li> </ul>
<b>Ключові слова</b>	Системний аналіз, складні системи, складні мережі, складність, самоорганізація
<b>Формат курсу</b>	Очний
	Проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для поглибленого розуміння тем
<b>Теми</b>	Див. СХЕМА КУРСУ
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Залік вкінці семестру
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з дисциплін «Вища математика», «Дискретна математика», «Алгоритми та структури даних», «Чисельні методи», «Теорія ймовірності та математична статистика», «Об'єктно-орієнтоване програмування», «Бази даних та знань».
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Лекції, презентації, лабораторні роботи, індивідуальні та командні практичні завдання програмістського та дослідницького характеру, обговорення, дискусії, самостійна робота.
<b>Необхідне обладнання</b>	<p>Мультимедіа, платформи Microsoft Teams, Moodle і Zoom, доступ до мережі Інтернет, комп'ютерне програмне забезпечення: .NET, Python 3, JDK, Qt5.</p> <p>Мінімальні вимоги до техніки та системи: CPU i3, RAM 4GB, Windows7.</p> <p>Зокрема, для проведення лекційних занять потрібні:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• монітор TFT 23";</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• системний блок (процесор Intel i5-6500, 8GB оперативної пам'яті, HDD 256GB) ;</li> <li>• мультимедійне обладнання (проектор, проекційний екран, дошка настінна, звуковий підсилювач та аудіосистема);</li> <li>• комутатор мережевий для доступу до мережі Internet.</li> </ul> <p>Для проведення лабораторних занять:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• комп'ютерна лабораторія з 12–14 робочими місцями;</li> <li>• монітори TFT 23";</li> <li>• системні блоки (процесор Intel i5-6500, 8GB оперативної пам'яті, HDD 256GB);</li> <li>• мультимедійне обладнання (проектор, проекційний екран, дошка настінна, звуковий підсилювач та аудіосистема);</li> <li>• комутатор мережевий для доступу до мережі Internet.</li> </ul> <p>Базова комп'ютерна техніка, що задовольняє вимогам дисципліни, відповідає обладнанню комп'ютерного класу №7 (корпус по вул. Тарнавського, 107).</p>
<p><b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b></p>	<p>Оцінювання проводиться упродовж семестру та під час залікової сесії за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за такими видами робіт із таким співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• лабораторні (10 робіт, максимально 10x6=60 балів) або індивідуальні (1 програмістська або дослідницька робота, можлива також командна; максимально 1x60=60 балів) практичні роботи: 60% оцінки; максимальна кількість балів 60.</li> <li>• активність на лекціях (відвідування занять, відповіді на питання, участь у дискусіях і обговоренні, внесок у розв'язання проблемних ситуацій тощо): максимально 20 балів або 20% оцінки.</li> <li>• 1 письмовий модульний контроль (на лекції): максимально 1x20=20 балів або 20% оцінки.</li> </ul> <p>Загалом 100 балів.</p> <p>Оцінки за лабораторні заняття (6 балів) розподіляються так: повне виконання всіх лабораторних завдань – 40% (2 бали), теоретичні знання за предметом роботи та правильні відповіді на запитання викладача або тестування – 40% (2 бали), якість інтерпретації даних і оформлення звіту – 20% (2 бали).</p> <p>Студент отримує 2 бали за захист лабораторної роботи, якщо повністю володіє теоретичним матеріалом і в повному обсязі, аргументовано відповідає на запитання. Студент отримує 1 бал, якщо відповіді на поставленні питання поверхові, з суттєвими неточностями. Якщо студент не володіє теоретичним матеріалом лабораторної роботи та/або не вміє пояснити її програмну реалізацію, то студенту виставляється 0 балів).</p> <p>Загалом бали <b>оцінювання лабораторних робіт</b> нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <p>6 – студент в повному обсязі володіє матеріалом, має повне розуміння розглянутої теми, надає правильні відповіді на запитання по темі, код програми функціонує відповідно до завдання;</p> <p>5 – студент достатньо розуміє матеріал та принципи написаного ним коду програми, проте присутні неточності та незначні помилки у відповідях на запитання по темі, код програми функціонує відповідно до завдання (або з несуттєвими недоліками);</p> <p>4 – студент не досить добре розуміє матеріал та написаний код</p>

програми, вагається та надає неточні/не конкретні відповіді на запитання по темі, код програми функціонує неточно, або з помірними недоліками;

3 – студент погано розуміє матеріал та написаний код програми, в більшості надає помилкові відповіді на питання по темі, код програми функціонує з суттєвими недоліками;

2 – студент погано розуміє матеріал та написаний код програми, код програми не функціонує належним чином;

0–1 – студент зовсім не засвоїв матеріал, написаний код програми не відповідає темі/не функціонує взагалі.

**Оцінювання змістових модулів** – за результатами висвітлення студентом деяких теоретичних тем тощо. Бали оцінювання змістових модулів нараховуються за наступним співвідношенням:

18–20 – розглянуту тему розкрито в повному обсязі, правильно, обґрунтовано, логічно, містить аналіз і систематизацію, аргументовані висновки. Засвідчено глибоке володіння матеріалом. Наведені приклади коду повністю робочі та відповідають темі. Можуть бути присутні несуттєві помилки та невідповідності;

13–17 – розкрито значну частину теми. Виявлено знання і розуміння основних положень навчальної дисципліни, проте присутні неточності та/або невідповідності основній темі. Наведені приклади коду частково робочі, проте загалом відповідають темі;

9–12 – відстежується загальне розуміння теми. Виявлено множинні неточності та невідповідності, пояснення наведеного коду відсутні, код функціонує із значними неточностями (або відсутні приклади запуску коду на виконання взагалі);

3–8 – студент погано розуміє тему. Виявлено суттєві неточності та невідповідності. Наведені приклади коду мають суттєві недоліки або не відповідають темі;

0–2 – студент фактично не розуміє тему. Тему не розкрито, кількість викладеного матеріалу не відповідає загальним нормам обраного виду роботи. Алгоритм або код не пояснено.

У плані імплементації **неформальної освіти** здобувач за бажанням може додатково здобути максимально 20 балів за самостійну роботу, пред'явивши сертифікати зі споріднених курсів та написавши есе за відповідною тематикою.

---

**Контрольні заміри знань проводять у формі стандартних практичних завдань і теоретичних питань.**

**Академічна доброчесність:** Очікується, що лабораторні та контрольні роботи студентів будуть їхніми оригінальними дослідженнями або міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикавання 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 або спроб обману.

**Відвідування занять** є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та лабораторні заняття курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. Студенти зобов'язані дотримуватися всіх термінів, визначених для виконання видів робіт, передбачених курсом.

**Література.** Уся література, яку студенти не зможуть знайти само-

	<p>стійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти також заохочуються до використання іншої літератури та джерел, зокрема наукової літератури, яка відсутня серед обов'язкової та рекомендованої.</p> <p><b>Політика виставлення балів.</b> Враховуються бали, набрані на поточному опитуванні, самостійній роботі та бали підсумкового контролю знань. Обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час лабораторних занять; наголошується на неприпустимості пропусків або запізнь на заняття, користування мобільним телефоном, планшетом або іншими мобільними пристроями під час занять з метою, не пов'язаною з навчанням, списування та плагіату, не своєчасного виконання поставлених завдань і т. ін.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
<b>Питання до контрольних робіт</b>	<p>Перелік питань і завдань для проведення підсумкової оцінки знань усіх тем курсу до контрольних робіт розміщено на сторінці <a href="https://drive.google.com/drive/folders/1Kamy1aZ080cxg0ZwuDX9W8kT2rADpYDF?usp=sharing">https://drive.google.com/drive/folders/1Kamy1aZ080cxg0ZwuDX9W8kT2rADpYDF?usp=sharing</a></p>
<b>Опитування</b>	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>

### СХЕМА КУРСУ

Тиж.	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Література. Ресурси в Інтернеті	Завдання (лабораторна робота), год.	Термін виконання
1, 2	<b>Вступ. Системи та мережі.</b> Системний підхід. Типи систем і мереж. Системи і мережі в реальному світі. Соціальні, інформаційні, технологічні та біологічні мережі.	Лекція	1, 7	Вступне заняття. Академічна доброчесність.  Класифікація та кластеризація елементів систем	3 тиж. семестру
3, 4	<b>Властивості систем і мереж.</b> Зв'язки, кластеризація та кореляції. Структура систем і мереж. Складні системи та мережі. Поняття складності.	Лекція	1, 3, 4, 5	Дослідження кореляцій у складних системах	5 тиж. семестру
5, 6	<b>Дискретні моделі опису.</b> Рандомні графи. Пуасонівська та конфігураційна моделі. Скеровані графи. Кореляції зв'язків.	Лекція	1, 4	Застосування графів до опису мереж	7 тиж. семестру
7, 8	<b>Моделі зростання мереж.</b> Модель Прайса. Моделі Саймона та Поля. Модель Барабаші-Альберт.	Лекція	1, 4, 8	Генерування текстів за моделями Саймона та урни Поля	9 тиж. семестру
9, 10	<b>Основні процеси в мережах.</b> Теорія перколяції. Стійкість. Пошук і навігація в мережах. Фазові переходи.	Лекція	3, 4, 5	Інформаційний пошук і мережах	11 тиж. семестру
11, 12	<b>Флуктуації в складних системах.</b> Флуктуації в часі та в ансамблях. Ергодичність систем. Емпіричні приклади.	Лекція	4, 6, 9	Програмування опрацювання лінгвістичних систем	13 тиж. семестру
13, 14	<b>Аналіз флуктуацій в складних системах.</b> Загальний формалізм. Класи	Лекція	4, 6, 9	Розрахунок статистичних флуктуацій і закону	15 тиж. семестру

	універсальності. Основні моделі. Рандомні прогулянки. Скейлінг і фрактальні системи.			Тейлора в складних системах	
15, 16	<b>Ефект тісного світу.</b> Кластеризаційний коефіцієнт. Середня довжина шляху. Властивості тісного світу.	Лекція	2, 3, 5, 6	Вивчення параметрів штучних і рандомних мереж	16 тиж. семестру