



## Програмування комп'ютерних та віртуальних мереж

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

#### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти *Другий (магістерський)*

Галузь знань	<i>F Інформаційні технології</i>
Спеціальність	<i>F2 Інженерія програмного забезпечення</i>
Освітня програма	<i>Інженерія програмного забезпечення комп'ютерних систем</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>150 годин (32 годин – Лекції, 14 годин – Лабораторні, 74 годин – СРС)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік/МКР</i>
Розклад занять	<i><a href="https://roz.kpi.ua/">https://roz.kpi.ua/</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Керівник курсу: к.т.н., доц., доцент Роковий Олександр Петрович, <a href="mailto:rokovyi.oleksandr@ill.kpi.ua">rokovyi.oleksandr@ill.kpi.ua</a> Викладач: к.т.н, с.н.с., доцент Долголенко Олександр Миколайович, <a href="mailto:dolholenko.oleksandr@ill.kpi.ua">dolholenko.oleksandr@ill.kpi.ua</a>; <a href="mailto:aleks.dolgolenko@gmail.com">aleks.dolgolenko@gmail.com</a></i>
Розміщення курсу	<i><a href="https://classroom.google.com/c/ODQzODc1Mjc3OTI2?cjc=ja6uldj5">https://classroom.google.com/c/ODQzODc1Mjc3OTI2?cjc=ja6uldj5</a></i>

#### Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна “Програмування комп'ютерних та віртуальних мереж” спрямована на вивчення нових підходів, методів і механізмів суттєвого підвищення продуктивності та інтелектуальних можливостей комп'ютерних мереж. Вивчення даної дисципліни магістрами дозволить їм освоїти нові технології побудови комп'ютерних мереж.

**Метою** вивчення дисципліни “Програмування комп'ютерних та віртуальних мереж” є: підготовка фахівців, здатних розв'язувати комплексні проблеми в галузі дослідницько-інноваційної діяльності у сфері побудови нових ефективних високопродуктивних комп'ютерних мереж; розвиток здатностей у магістрів вирішувати професійні завдання по адмініструванню існуючих сучасних комп'ютерних мереж, здійснюючи програмування комп'ютерних та віртуальних мереж.

**Предметом** дисципліни є:

- підходи, методи та механізми побудови нових ефективних високопродуктивних комп'ютерних мереж;

- програмно-апаратні засоби обчислювальної техніки що необхідні для виконання майбутніми фахівцями професійних обов'язків у напрямку створення програмного забезпечення для комп'ютерних мереж в умовах колективу з використанням сучасних мов та бібліотек паралельного програмування з урахуванням особливостей майбутньої професії і можливих первинних посад магістрів.

Згідно з вимогами ОНП дисципліна “Програмування комп'ютерних та віртуальних мереж” забезпечує формування наступних **компетентностей** та **програмних результатів навчання**:

- Здатність проектувати та розроблювати програмне забезпечення для комп'ютерних та віртуальних мереж (ФК16)
- Здатність використовувати хмарні та GRID технології (ФК19)
- Програмувати комп'ютерні та віртуальні мережі, налагоджувати мережні доданки (ПРН26)

Крім того, у результаті проходження навчання з дисципліни “Програмування комп'ютерних та віртуальних мереж” у здобувачів формуються або підсилюються наступні:

**знання:**

- технологій побудови сучасних комп'ютерних мереж,
- взаємодії стеку протоколів TCP/IP,
- SDN контролерів та архітектури SDN мережі,
- протоколу OpenFlow,
- способів програмування SDN мереж,
- концепцій розробки програм мережних доданків,
- SDN рішень для мережі центру обробки та збереження даних;
- проведення досліджень на відповідному рівні в галузі сучасних комп'ютерних мереж;
- здатність генерувати нові ідеї при побудові архітектури SDN мережі;

**уміння:**

- оцінки особливостей комп'ютерної мережі підприємства, формувати, класифікувати вимоги до програмного забезпечення;
- проектувати архітектуру SDN мережі, моделювати процеси функціонування окремих підсистем і модулів;
- виконувати побудову алгоритму мережних доданків,
- аналізувати ефективність алгоритму мережних доданків,
- програмувати процеси мережних доданків,
- здійснювати програмування апаратного обладнання IntraNet,
- забезпечувати необхідний сервіс обслуговування та необхідні параметри трафіка для заданих з'єднань в SDN мережі;
- проектувати та розроблювати програмне забезпечення для комп'ютерних та віртуальних мереж;

**досвід:**

- застосовування сучасних професійних стандартів і інших нормативно-правових документів з інженерії програмного забезпечення при побудові SDN мереж;
- роботи з технологіями програмування мереж IntraNet;
- побудови та аналізу алгоритмів мережних доданків;
- керування трафіком в мережі IntraNet підприємства;
- супроводу виконання програми мережного доданку в SDN мережі.

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

Пререквізити: базові знання щодо основ побудови комп'ютерних мереж, операційних систем та програмування.

Постреквізити: компетентності, знання та вміння, отримані в рамках вивчення даної дисципліни, можуть бути застосовані для виконання магістерської дисертації.

### 3 Зміст навчальної дисципліни

#### Розділ 1 Знайомство з мережами SDN (Software Defined Networking).

Тема 1.1 Архітектура Internet.

Тема 1.2 Технологія MPLS (Multi-Protocol Label Switching).

Тема 1.3 Віртуальні мережі.

Тема 1.4 Класифікація пакетів.

#### Розділ 2 SDN контролери та архітектура SDN мережі.

Тема 2.1 SDN контролери та архітектура SDN мережі.

Тема 2.2 Знайомство з протоколом OpenFlow.

Тема 2.3 OpenFlow комутатор версії 1.5.1.

Тема 2.4 Обробка потоку пакетів та виконання інструкцій в таблиці потоків OpenFlow комутатора.

Тема 2.5 Лічильники та диференціальне обслуговування потоків в OpenFlow комутаторі.

Тема 2.6 Знайомство з програмуванням SDN мереж.

Тема 2.7 SDN рішення для мережі центру обробки та збереження даних.

#### Розділ 3 Програмування мережних доданків з використанням SDN framework.

Тема 3.1 Програмування потрібної продуктивності каналів передачі повідомлень в SDN мережі в залежності від добового часу та дня неділі.

Тема 3.2 Керування вхідним трафіком.

### 4. Навчальні матеріали та ресурси

#### 4.1 Базова література:

1. Кулаков, Ю. О. Комп'ютерні мережі. - Навчальний посібник. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 247 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/51465>

2. Гніденко М.П., Вишнівський В.В., Ільїн О.О. Побудова SDN мереж. – Навчальний посібник. – Київ: ДУТ, 2019. – 190 с. <https://duikt.edu.ua/ua/lib/1/category/729/view/1710>

#### 4.2 Допоміжна література:

1. Thomas D. Nadeau and Ken Gray. SDN: Software Defined Networks, 2013. - 353p.
2. MPLS-TP OpenFlow Protocol Extensions for SPTN, Version 1.0, ONF TS-029  
<https://www.opennetworking.org/software-defined-standards/specifications/>
3. OpenFlow Switch Specification, Version 1.5.1, ONF TS-025  
<https://www.opennetworking.org/software-defined-standards/specifications/>
4. <https://github.com/mininet/mininet/wiki/Mininet-VM-Images>
5. <http://mininet.org/walkthrough/>
6. <https://github.com/mininet/openflow-tutorial/wiki>

### Навчальний контент

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

##### Лекційні заняття

№ лекції	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість ауд. годин
1	<b>Знайомство з мережами SDN.</b> Адміністрування маршрутизаторів, комутаторів; архітектура Internet: автономна система; IntraNet (CustomerNet); протоколи маршрутизації IGP та BGP; ISP рівня	2

	Tier-1, Tier-2 та Tier-3; Centralbackbone; Corerouter; варіанти підключення CustomerNet до Internet; EdgeRouter та BorderRouter.	
2	<b>Розподілений рівень керування IntraNet.</b> IP та MPLS маршрутизації, потік даних, обмін мітками, швидка маршрутизація, MPLS інкапсуляція, топологія мережі, знайомство з Traffic Engineering.	2
3	<b>Віртуальні мережі.</b> VPN тунелі, VPN-адресація та пересилка, розширення технології VPN до індивідуальних хостів.	2
4	<b>Класифікація пакетів - основа технологій SDN.</b> Переваги класифікації пакетів замість їх демультимплексування, рівні класифікації пакетів, принципи побудови високошвидкісного комутаційного обладнання].	2
5	<b>SDN контролери та архітектура SDN мережі.</b> TrafficEngineering і контроль вибору шляху передачі пакетів; централізований рівень керування IntraNet; технологія маршрутизації, що основана на використанні ATM; Routing Overlays; SDN – новий гібридний підхід до побудови архітектури мережі; розділення інформаційного та контрольного рівнів; SDN контролер; протокол OpenFlow.	2
6	<b>Знайомство з протоколом OpenFlow.</b> Основи використання OpenFlow; призначення полів в шаблоні OpenFlow 1.1; дії за протоколом OpenFlow 1.1; робота з таблицями потоків, що організовані в конвеєр; таблиця групи; формат повідомлень OpenFlow; використання OpenFlow.	2
7	<b>OpenFlow комутатор (версія 1.5.1).</b> Структурна схема комутатора OpenFlow версії 1.5.1, порти комутатора та їх призначення, потік пакетів через його конвеєр обробки, формат входів таблиць потоків.	2
8	<b>Обробка потоку пакетів та виконання інструкцій в таблиці потоків OpenFlow комутатора (версії 1.5.1).</b> Алгоритм обробки потоку пакетів в комутаторі, порівняння та виконання інструкцій в таблиці потоків.	2
9	<b>Лічильники та диференціальне обслуговування потоків в OpenFlow комутаторі (версії 1.5.1).</b> Виконання дій в OpenFlow комутаторі, лічильники структура входів групової таблиці, типи груп, моніторинг живучості груп, формат входів таблиці лічильників, алгоритм диференціального обслуговування потоків, підключення OpenFlow комутатора до SDN контролера.	2
10	<b>Знайомство з програмуванням SDN мереж.</b> Робота SDN мережі, структура SDN Framework, структура ідеалізованого SDN контролера.	2
11	<b>SDN рішення для мережі центру обробки та збереження даних.</b> Розподілені в хмарі центри обробки даних, оркестровка, SDN рішення для мережі центру обробки даних. Віртуалізація мережі за допомогою загальної інкапсуляції маршрутизації, типи накладання мережі (NetworkOverlayTypes).	2
12	<b>Програмування мережних доданків з використанням SDN framework.</b> Juniper SDN Framework, IETFSDN Framework(s), SDNP архітектура, ABNO архітектура, OpenDaylight контролер/framework.	2
13	<b>Програмування потрібної продуктивності каналів передачі повідомлень в SDN мережі в залежності від добового часу та дня неділі.</b> Приклад взаємозв'язку центрів обробки даних, приклад календарного	2

	планування пропускної спроможності каналів. Приклад накладання трафіку за допомогою надання елемента обчислення шляху (Path Computation Element).	
14	<b>Керування вхідним трафіком.</b> Брандмауер, брандмауери як послуга, заміна контролю доступу до мережі. Контроль доступу до мережі за допомогою віртуального брандмауера та OpenFlow, зворотній зв'язок та оптимізація, виявлення вторгнень / пом'якшення загроз	2
15	Основні визначення, пов'язані з SDN мережами	2
16	Модульна контрольна робота	2
	<b>Разом:</b>	<b>32</b>

### Лабораторні заняття

Основні завдання циклу лабораторних робіт (комп'ютерного практикуму) - придбання студентами необхідних практичних навичок по роботі з технологією програмування комп'ютерних мереж.

№	Назва лабораторної роботи (комп'ютерного практикуму)	Кількість ауд. годин
1	Ознайомлення з Mininet - середовищем для моделювання комп'ютерної SDN мережі. (Встановити Mininet [4]; створити готову мінімальну топологію SDN мережі; продемонструвати (з коментарями) використання основних команд [5]: nodes, net, ifconfig, down, up, route, ping, pingall, iperf, ps, xterm).	2
2	Створення простої SDN мережі, що поєднує клієнта та два HTTP сервера. (Отримати доступ до серверів за допомогою клієнтського програмного забезпечення, продемонструвати можливість пінгування (ping) та відслідковування маршруту (traceroute) до працюючого OpenFlow комутатора та через нього).	2
3	Створити лінійну топологію SDN мережі, що складається з $i + 2$ поєднаних між собою OpenFlow комутаторів, до кожного з котрих підключено по одному хосту ( $i$ - номер в списку групи) та продемонструвати її працездатність з використанням OpenFlow Wireshark dissector.	2
4	За допомогою скрипту miniedit.py Mininet(GUI) створити деревовидну топологію SDN мережі, що має глибину ієрархії комутаторів $depth = i + 2$ , а число підключених до кожного з них комутаторів, або хостів $fanout = i + 2$ ( $i$ - номер в списку групи, хости підключені тільки до комутаторів нижнього рівня) та продемонструвати її працездатність з використанням Wireshark.	2
5	Розробити топологію Data Center для обраної Вами цілі та продемонструвати її працездатність.	2
6	До розробленого в попередній роботі Data Center підключити зовнішній контролер, що реалізує логіку продуктивності каналів передачі повідомлень в залежності від добового часу та дня тижня у SDN мережі.	2
7	Керування продуктивністю каналів передачі повідомлень в залежності від добового часу та дня тижня у SDN мережі центру обробки даних (DataCenter). (Підключити зовнішній контролер, створити скрипт *.py, що реалізує логіку продуктивності каналів передачі повідомлень в залежності від добового часу та дня тижня у SDN мережі DataCenter з розробленою Вами	2

	топологією).	
	<b>Разом:</b>	14

## 6. Самостійна робота магістра

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Пункти обміном інтернетом: Euro-IX, UA-IX, DataIX.	2
2	Принцип роботи маршрутизатора з комутацією міток.	4
3	VPN-адресація та переадресація.	4
4	Перемикання комутаторів за тегами VLAN	4
5	Використання протоколу OpenFlow як технології віртуалізації мережі.	4
6	Робота Group Table в OpenFlow комутаторі версії 1.5.1.	4
7	Віртуалізація мережевих функцій.	4
8	Віртуальна розширювана локальна мережа (VxLAN)	4
9	Віртуалізація мережі з використанням універсальної інкапсуляції маршрутизації (NVGRE).	4
10	Загальна інкапсуляція віртуалізації мереж (Geneve).	4
11	Платформа Docker для створення, розгортання та керування контейнерними додатками.	6
12	Мікросервісна архітектура мережевих додатків.	6
13	Kubernetes — платформа з відкритим кодом для оркестрації контейнерів, її використання для автоматизованого розгортання, управління та масштабування мережевих додатків.	6
14	Ознайомлення з OpenDaylight Downloads — OpenDaylight Documentation Phosphorus documentation.	4
15	Призначення сервера RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Service).	2
16	Підготовка до МКР	4
17	Підготовка до заліку по всьому матеріалу дисципліни.	6
	Всього годин СРС	74

## Політика та контроль

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

Відвідування лекційних та лабораторних занять є обов'язковою складовою вивчення матеріалу.

На лекції викладач користується власним презентаційним матеріалом; використовує автоматизовану інформаційну систему «Електронний кампус» для викладання матеріалів лекцій, додаткових ресурсів, лабораторних робіт та інше; викладач створює групу в Telegram для консультацій зі студентами, надсилання електронних звітів з лабораторних робіт та відповідей на МКР.

Бали за лабораторну роботу враховуються лише за наявності електронного звіту.

**Дистанційний режим навчання.** У разі запровадження обмежень на відвідування університету, пов'язаних з введенням карантину або режиму воєнного стану в державі, освітній процес здійснюється у дистанційному режимі відповідно до Положення про дистанційне навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського (<https://osvita.kpi.ua/index.php/node/188>), Регламенту організації освітнього процесу в дистанційному режимі (<https://profkom.kpi.ua/reglament-organizatsiyi-osvitnogo-protsesu-v>

[distsantsynomu-rezhimi](https://osvita.kpi.ua/node/148)) та Регламенту проведення семестрового контролю в дистанційному режимі (<https://osvita.kpi.ua/node/148>).

**Визнання результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті.** Порядок визнання таких результатів регламентується Положенням про визнання результатів навчання, набутих у неформальній / інформальній освіті (<https://osvita.kpi.ua/index.php/node/179>). Можуть бути зараховані окремі змістовні модулі або теми дисципліни. В такому разі здобувач звільняється від виконання відповідних завдань, отримуючи за них максимальний бал відповідно до рейтингової системи оцінювання.

**Політика щодо академічної доброчесності.** Обов'язковою умовою виконання завдань з освітньої компоненти є дотримання політики та принципів академічної доброчесності (<https://kpi.ua/academic-integrity>), які, у тому числі, викладено у Кодексі честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (<https://kpi.ua/code>), Положенні про систему запобігання академічному плагіату в КПІ ім. Ігоря Сікорського (<https://osvita.kpi.ua/node/47>). У разі виявлення дублювання робіт, плагіату роботи здобувачі отримують нульовий рейтинг.

**Політика використання штучного інтелекту.** Використання штучного інтелекту (далі, ШІ) регламентується «Політикою використання штучного інтелекту для академічної діяльності в КПІ ім. Ігоря Сікорського» (<https://osvita.kpi.ua/node/1225>). Усі навчальні завдання з дисципліни мають бути результатом власної оригінальної роботи здобувача.

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

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:

- виконання та захист лабораторних робіт;
- виконання модульної контрольної роботи (МКР).

### **Лабораторні роботи**

Протягом семестру студенти виконують 7 лабораторних робіт.

Максимальна кількість балів за кожну з лабораторних робіт: 12 балів.

Бали нараховуються за коректність оформлення протоколу лабораторної роботи, експрес-опитування за темою лабораторної роботи та відповідність змісту виконаної роботи завданню на неї. Разом за лабораторні роботи можливо набрати до 84 балів

### **Критерії оцінювання кожної лабораторної роботи:**

- повна відповідь на питання під час захисту (не менш ніж 90% потрібної інформації) та оформлений належним чином електронний протокол до лабораторної роботи – 11-12 балів;
- достатньо повна відповідь на питання під час захисту (не менш ніж 75% потрібної інформації) та оформлений належним чином електронний протокол до лабораторної роботи – 9-10 балів;
- неповна відповідь на питання під час захисту (не менш ніж 60% потрібної інформації), незначні помилки та оформлений належним чином електронний протокол до лабораторної роботи – 7-8 балів;
- незадовільна відповідь та/або не оформлений належним чином електронний протокол до лабораторної роботи – 0 балів.

### **Календарний контроль:**

На першій атестації (7-й тиждень) студент отримує «атестовано», якщо його поточний рейтинг не менший ніж 10 балів.

На другій атестації (14-й тиждень) студент отримує «атестовано», якщо його поточний рейтинг не менший ніж 25 балів.

### **Модульна контрольна робота**

Макимальна кількість балів за МКР: 16 балів.

Критерії оцінювання МКР:

- повне виконання завдання (не менш ніж 90% потрібної інформації) – 14-16 балів;
- достатньо повне виконання завдання (не менш ніж 75% потрібної інформації), або повне виконання завдання з незначними помилками – 12-13 бали;
- неповна виконання завдання (але не менш ніж 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 10-11 балів.

### **Залік**

Умовою допуску до заліку є зарахування лабораторних робіт та МКР. Студенти, які виконали умову допуску до заліку та набрали  $R \geq 60$  балів, отримують рекомендовану рейтингову оцінку без потреби проходження заходу семестрового контролю. В разі отримання згоди від студента зі своєю рекомендованою рейтинговою оцінкою вона стає його підсумковою рейтинговою оцінкою.

Студенти, які виконали умови допуску до заліку, але набрали  $R < 60$ , а також ті, хто бажають підвищити свою рейтингову оцінку, виконують залікову контрольну роботу.

На заліку можливо набрати до 40 балів. У разі проходження заліку залікова оцінка додається до семестрового рейтингу, але не може перевищувати 100 балів. На заліку студенти виконують письмову контрольну роботу. Кожен білет містить два теоретичних запитання. Перелік теоретичних питань буде надано на останній лекції. Кожне запитання оцінюється у 20 балів.

Критерії оцінювання кожного залікового запитання:

- повне виконання завдання (не менш ніж 90% потрібної інформації) – 18-20 балів;
- достатньо повне виконання завдання (не менш ніж 75% потрібної інформації), або повне виконання завдання з незначними помилками – 15-17 бали;
- неповна виконання завдання (але не менш ніж 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 12-14 балів.
- незадовільне виконання завдання (менше 60% потрібної інформації) та суттєві помилки – 0-11 балів.

### **Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:**

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка ECTS</i>
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

### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** к.т.н, с.н.с., доцентом Долголенко Олександром Миколайовичем.

**Ухвалено** кафедрою обчислювальної техніки (протокол №12 від 23.06.2025).

**Погоджено** методичною комісією ФІОТ (протокол №11 від 27.06.2025).