



## Програмування комп'ютерних та віртуальних мереж

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

#### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти

1. *Другий (магістр)*

Галузь знань	12 Інформаційні технології
Спеціальність	121 Інженерія програмного забезпечення
Освітня програма	Інженерія програмного забезпечення комп'ютерних систем
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	5 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	5 кредитів, 150 годин
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен
Розклад занять	Лекцій -36 годин, лабораторних робіт - 18 годин, самостійна -96 години
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н, с.н.с., доцент, Долголенко Олександр Миколайович, <a href="mailto:aleks.dolgolenko@gmail.com">aleks.dolgolenko@gmail.com</a> . Лабораторні роботи: к.т.н, с.н.с., доцент, Долголенко Олександр Миколайович, <a href="mailto:aleks.dolgolenko@gmail.com">aleks.dolgolenko@gmail.com</a> .
Розміщення курсу	<a href="https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob">https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob</a>

#### 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 студентів вирішувати професійні завдання по адмініструванню існуючих сучасних комп'ютерних 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 здобувачі після засвоєння дисципліни "Програмування комп'ютерних та віртуальних мереж" мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

**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;

**уміння:**

- оцінки особливостей комп'ютерної мережі підприємства,
- 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;

**досвід:**

- 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)**

Для успішного оволодіння дисципліною необхідні знання:

- основ технологій побудови комп'ютерних мереж;
- основ функціонування операційних систем;
- основ паралельного програмування.

Відповідно до освітньої програми необхідно попередньо оволодіти знаннями з дисциплін: "Структури даних та алгоритми", "Алгоритми та методи обчислень", "Комп'ютерні мережі", "Проектування складних систем", "Паралельні обчислення".

Компетентності, знання та вміння, отримані в рамках вивчення даної дисципліни, можуть бути застосовані для: отримання обґрунтованих результатів досліджень, підвищення наукового рівня дисертаційних робіт, набуття навичок вирішувати професійні завдання по адмініструванню існуючих сучасних комп'ютерних мереж.

### 3. Зміст навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні	Лабораторні	СРС
1	2	3	4	5	6
<b>Розділ 1. Знайомство з мережами SDN (Software Defined Networking).</b>					
<i>Тема 1.1 Архітектура Internet</i>	5	2	-	0	3
<i>Тема 1.2 Технологія MPLS (Multi-Protocol Label Switching)</i>	5	2	-	0	3
<i>Тема 1.3 Віртуальні мережі</i>	5	2	-	0	3
<i>Тема 1.4 Класифікація пакетів</i>	5	2	-	0	3
<b>Разом за розділом 1</b>	<b>20</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>0</b>	<b>12</b>
<b>Розділ 2. SDN контролери та архітектура SDN мережі.</b>					
<i>Тема 2.1 SDN контролери та архітектура SDN мережі</i>	15	2	-	10	3
<i>Тема 2.2 Знайомство з протоколом OpenFlow.</i>	7	2	-	2	3
<b>Разом за розділом 2</b>	<b>22</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>12</b>	<b>6</b>
<b>Розділ 3. Еволюційний розвиток OpenFlow, керування комутаторами з підтримкою OpenFlow.</b>					
<i>Тема 3.1 OpenFlow комутатор версії 1.5.1.</i>	16	6	-	-	10
<b>Разом за розділом 3</b>	<b>16</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>10</b>
<b>Розділ 4. Знайомство з програмуванням SDN мереж.</b>					
<i>Тема 4.1 Програмування мережних доданків з використанням SDN framework</i>	6	2	-	-	4
<b>Разом за розділом 4</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>4</b>
<b>Розділ 5. SDN рішення для мережі центру обробки та збереження даних.</b>					
<i>Тема 5.1 SDN рішення для мережі центру обробки та збереження даних</i>	14	4	-	4	6

Разом за розділом 5	<b>14</b>	<b>4</b>	-	<b>4</b>	<b>6</b>
<b>Розділ 6. Програмування мережних доданків з використанням SDN framework.</b>					
1	2	3	4	5	6
<i>Тема 6.1 Програмування мережних доданків з використанням SDN framework</i>	5	2	-	-	3
<i>Тема 6.2 Програмування потрібної продуктивності каналів передачі повідомлень в SDN мережі в залежності від добового часу та дня неділі</i>	12	4	-	2	6
<i>Тема 6.3 Керування вхідним трафіком</i>	10	4	-	-	6
Разом за розділом 6	<b>27</b>	<b>10</b>	-	<b>2</b>	<b>15</b>
<b>Розділ 7. Основні визначення, пов'язані з SDN.</b>					
<i>Тема 7.1 Основні визначення, пов'язані з SDN та питання до екзамену</i>	4	2	-	-	2
Разом за розділом 7	<b>4</b>	<b>2</b>	-	-	<b>2</b>
<b>Модульна контрольна робота</b>	<b>5</b>				<b>5</b>
<b>Підготовка до екзамену</b>	<b>30</b>				<b>30</b>
<b>Екзамен</b>	<b>6</b>				<b>6</b>
<b>Всього в семестрі:</b>	<b>150</b>	<b>36</b>	-	<b>18</b>	<b>96</b>

#### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

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)
1	2
1	<p><b>Знайомство з мережамиSDN.</b></p> <p>Адміністрування маршрутизаторів, комутаторів; архітектураInternet: автономна система;IntraNet (CustomerNet); протоколи маршрутизації IGP та BGP;ISP рівня Tier-1, Tier-2 таTier-3; Centralbackbone; Corerouter; варіанти підключення CustomerNet до Internet; EdgeRouter та BorderRouter.</p>
2	<p><b>Розподілений рівень керування IntraNet.</b></p> <p>IP та MPLS маршрутизації, потік даних, обмін мітками, швидка маршрутизація,MPLS інкапсуляція, топологія мережі, знайомство з TrafficEngineering [1, с. 28-37].</p>
3	<p><b>Віртуальні мережі.</b></p> <p>VPN тунелі, VPN-адресація та пересилка, розширення технології VPN до індивідуальних хостів [1, с. 14-28].</p>
4	<p><b>Класифікація пакетів - основа технологійSDN.</b></p> <p>Переваги класифікації пакетів замість їх демультимплексування, рівні класифікації пакетів, принципи побудови високошвидкісного комутаційного обладнання [1, с. 37-46].</p>
5	<p><b>SDN контролери та архітектураSDN мережі.</b></p> <p>TrafficEngineering і контроль вибору шляху передачі пакетів; централізований рівень керуванняIntraNet; технологія маршрутизації, що основана на використанні ATM; RoutingOverlays; SDN – новий гібридний підхід до побудови архітектури мережі; розділення інформаційного та контрольного рівнів; SDN контролер; протоколOpenFlow [1, с. 37-46].</p>
6	<p><b>Знайомство з протоколомOpenFlow.</b></p> <p>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; використанняOpenFlow [1, с. 47-95; 2, с. 8-17].</p>
7	<p><b>OpenFlow комутатор (версія 1.5.1).</b></p> <p>Структурна схема комутатора OpenFlow версії 1.5.1, порти комутатора та їх призначення, потік пакетів через його конвеєр обробки, формат входів таблиць</p>

	потоків [3, с. 11-22].
1	2
8	<p><b>Обробка потоку пакетів та виконання інструкцій в таблиці потоків OpenFlow комутатора (версії 1.5.1).</b></p> <p>Алгоритм обробки потоку пакетів в комутаторі, порівняння та виконання інструкцій в таблиці потоків [3, с. 22-28].</p>
9	<p><b>Лічильники та диференціальне обслуговування потоків в OpenFlow комутаторі (версії 1.5.1).</b></p> <p>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 [3, с. 28-62].</p>
10	<p><b>Знайомство з програмуванням SDN мереж.</b></p> <p>Робота SDN мережі, структура SDNFramework, структура ідеалізованого SDN контролера [1, с. 71-74].</p>
11	<p><b>SDN рішення для мережі центру обробки та збереження даних.</b></p> <p>Багатоцентрові центри обробки даних, оркестровка, SDN рішення для мережі центру обробки даних [1, с. 157-195].</p>
12	<p>Віртуалізація мережі за допомогою загальної інкапсуляції маршрутизації, типи накладання мережі (NetworkOverlayTypes) [1, с. 195-205].</p>
13	<p><b>Програмування мережних доданків з використанням SDNframework.</b></p> <p>JuniperSDNFramework, IETFSDNFramework(s), SDNP архітектура, ABNO архітектура, OpenDaylight контролер/framework [1, с. 261-280].</p>
14	<p><b>Програмування потрібної продуктивності каналів передачі повідомлень в SDN мережі в залежності від добового часу та дня неділі.</b></p> <p>Приклад взаємозв'язку центрів обробки даних, приклад календарного планування пропускної спроможності каналів. [1, с. 281-290].</p>
15	<p>Приклад накладання за допомогою надання елемента обчислення шляху (PathComputationElement). [1, с. 290-298].</p>
16	<p><b>Керування вхідним трафіком.</b></p> <p>Брандмауер, брандмауери як послуга, заміна контролю доступу до мережі [1, с. 321-330].</p>
17	<p>Контроль доступу до мережі за допомогою віртуального брандмауера та OpenFlow, зворотній зв'язок та оптимізація, виявлення вторгнень / пом'якшення загроз [1, с. 330-335].</p>
18	<p><b>Основні визначення, пов'язані з SDN.</b></p> <p>Основні визначення, пов'язані з SDN та питання до екзамену.</p>

### Лабораторні роботи (комп'ютерний практикум)

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).	6
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 $depth = i \% 3 + 2$ , а число підключених до кожного з них комутаторів, або хостів $fanout = i \% 2 + 1$ ( $i$ - номер в списку групи, хости підключені тільки до комутаторів нижнього рівня) та продемонструвати її працездатність з використанням Wireshark.	2
5	Керування продуктивністю каналів передачі повідомлень в залежності від добового часу та дня неділі у SDN мережі центру обробки даних (DataCenter). (Підключити зовнішній контролер, що реалізує логіку продуктивності каналів передачі повідомлень в залежності від добового часу та дня неділі у SDN мережі, запрограмувати роботу DataCentre з розробленою Вами топологією).	6
	<b>Разом:</b>	18

## 6. Самостійна робота магістра:

- підготовка до лекцій (рекомендована література приведена в табл. «Лекційні заняття»);
- підготовка до практичних занять;
- підготовка до екзамену.

## Політика та контроль

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

Під час занять з навчальної дисципліни «Програмування комп'ютерних та віртуальних мереж» магістри повинні дотримуватись певних дисциплінарних правил:

- забороняється запізнюватись на заняття;
- при вході викладача, на знак привітання, особи, які навчаються в КПІ ім. Ігоря Сікорського повинні встати;
- не допускаються сторонні розмови або інший шум, що заважає проведенню занять;
- виходити з аудиторії під час заняття допускається лише з дозволу викладача;
- не допускається користування мобільними телефонами та іншими технічними засобами без дозволу викладача.

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

#### **Поточний контроль:**

Протягом семестру студенти виконують 5 лабораторних робіт.

Максимальна кількість балів за кожну з перших чотирьох лабораторних робіт: 10 балів, за п'яту роботу – 30 балів.

Бали нараховуються за коректність оформлення протоколу лабораторної роботи, експрес-опитування за темою лабораторної роботи та відповідність змісту виконаної роботи завданню на неї. На перші чотири роботи діє граничний термін (deadline) на її здачу, відповідно до табл. «Лабораторні роботи». Перший комп'ютерний практикум, за розкладом, відноситься до часу виконання першої лабораторної роботи. Наприклад, максимальний бал за першу роботу можливо отримати на 2-3 комп'ютерному практикумі. Починаючи з 4 комп'ютерного практикуму: за 1 роботу можливо отримати не більше 8 балів; за другу – до 10 балів. Починаючи з 7 комп'ютерного практикуму: за 5 роботу можливо отримати до 30 балів; за 4 – не більше 8 балів; за 3 – не більше 6 балів; за 2 – не більше 4 балів; за 1 – не більше 2 балів. Виконана робота не може бути оціненою нижче ніж 2 балами.

Разом за лабораторні роботи можливо набрати до 70 балів.

#### **Календарний контроль:**

Календарний контроль включає 1 модульну контрольну роботу (МКР):(30 хвилин) за розділами 1-3 навчальної програми – до 5 балів;

#### **Семестровий контроль:**

Семестровий контроль включає екзамен. На екзамені можливо набрати до 25 балів.

*Умови допуску до семестрового контролю:* семестровий рейтинг – 35 балів і вище.

Екзаменаційний білет складається з 2 теоретичних запитань. Відповідь на кожне з запитань оцінюється 0 – 10 балами. Додаткове запитання оцінюється 0 – 5 балами.



**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

**9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

*Перелік запитань та додаткових запитань, які виносяться на семестровий контроль буде надано в останній лекції курсу.*

*Можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою.*

В рамках вивчення навчальної дисципліни допускається зарахування отриманого офіційного сертифікату, одержаного в результаті дистанційних курсів на платформі "Coursera", за умови попереднього погодження програми даного курсу з викладачем, в обсязі 90% від максимальної оцінки за лабораторну роботу за вибором магістра (при цьому deadlіnena цю роботу не діє).

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

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

**Ухвалено** кафедрою обчислювальної техніки (протокол № 10 від 25. 05. 2021 р.).

**Погоджено** Методичною комісією ФІОТ (протокол № 11 від 01. 06. 2021 р.).