

**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра оптики**



«ЗАТВЕРДЖЕНО»

В.о. декана фізичного факультету

Лазур Володимир ЛАЗУР

«30» червня 2026 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ОК 1

Технології бездротових мереж

Рівень вищої освіти	Магістр
Галузь знань	G Інженерія, виробництво та будівництво
Спеціальність	G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка
Освітня програма	Оптоелектронні телекомунікаційні системи
Статус дисципліни	обов'язкова компонента
Мова навчання	українська

Робоча програма навчальної дисципліни "Технології бездротових мереж" для здобувачів вищої освіти галузі знань **G - Інженерія, виробництво та будівництво** спеціальності **G5 - Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка** освітньої програми **Оптоелектронні телекомунікаційні системи**.

Розробник: Кедюлич Віктор Михайлович, доцент кафедри оптики, кандидат фізико-математичних наук.

Робочу програму розглянуто та затверджено на засіданні кафедри оптики
Протокол №1 від 31 серпня 2026 року.

Завідувач кафедри



Гуранич П.П.

Схвалено методичною комісією фізичного факультету

Протокол № 10 від «30» червня 2026 р.

Голова методичної комісії фізичного факультету



Рубіш В. В.

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Розподіл годин за навчальним планом	
	Денна форма навчання	Заочна форма навчання
Кількість кредитів ЄКТС – 3	Рік підготовки:	
Загальна кількість годин – 90	1-й	-
Кількість модулів – 2	Семестр:	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2 самостійної роботи студента – 3	1-й	-
	Лекції:	
	18 год.	-
	Практичні (семінарські):	
	18 год.	-
Вид підсумкового контролю: залік	Лабораторні:	
	-	-
Форма підсумкового контролю: усна	Самостійна робота:	
	54 год.	-

Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної та індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання — 0,67

2. МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Дисципліна "Технології бездротових мереж" знайомить здобувачів із принципами побудови, функціонування та проєктування бездротових систем - від локальних мереж до персональних, сенсорних, ad-hoc та супутникових мереж. Курс поєднує теоретичні основи бездротових протоколів із практичним застосуванням сучасних інструментів моделювання та аналізу мереж. Здобуті знання та навички формують базу для подальшої професійної діяльності інженера в галузі електроніки, електронних комунікацій та радіотехніки. У даному курсі лише побіжно описано технології мобільного зв'язку останніх поколінь (5G, 6G) та Wi-Fi (6,7), так як дані питання широко і детально розкрито у спеціалізованих курсах "Системи мобільного зв'язку" та "Широкосмугові технології телекомунікацій".

Метою вивчення навчальної дисципліни є формування у здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти системних теоретичних знань і практичних навичок з проєктування, аналізу та забезпечення функціонування бездротових мереж (Wi-Fi, WPAN, LPWAN, ad-hoc, сенсорних та супутникових), достатніх для розв'язання складних інженерних задач у сфері бездротового зв'язку.

Завданням вивчення навчальної дисципліни є набуття здобувачами практичних навичок аналізу, проєктування та моделювання бездротових мереж, а також оцінювання їх продуктивності та захищеності з використанням сучасних програмних засобів.

Відповідно до освітньої програми, вивчення дисципліни сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти таких компетентностей: ІК, ЗК-2, ЗК-5, ФК-2, ФК-7, ФК-8, ФК-10 .

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- класифікацію бездротових мереж (WPAN, WLAN, LPWAN, ad-hoc) та основні стандартизаційні органи (IEEE, ITU-R, ETSI, Wi-Fi Alliance, LoRa Alliance);
- методи модуляції (QAM, OFDM/OFDMA) та завадостійкого кодування (LDPC, Turbo, Polar), принципи множинного доступу, основи технологій MIMO та beamforming;
- технології персональних мереж (Bluetooth/BLE, Zigbee, Thread, UWB, NFC);
- принципи побудови LPWAN-мереж (LoRaWAN, Sigfox) та їх застосування в IoT;
- особливості організації ad-hoc, mesh та бездротових сенсорних мереж (MANET, WSN, VANET);
- основи програмно-визначених радіосистем (SDR) та когнітивного радіо;
- принципи побудови супутникових та неземних мереж зв'язку (NTN);
- методи планування покриття та ємності бездротових мереж;
- основні загрози безпеці бездротових мереж та методи захисту (WPA3, безпека IoT-протоколів).

вміти:

- обґрунтовано обирати технологію бездротового доступу відповідно до заданого сценарію застосування;
- виконувати розрахунок бюджету радіолінії та оцінювати дальність і якість бездротового зв'язку;
- проєктувати покриття бездротової мережі (зокрема Wi-Fi) в приміщенні з використанням спеціалізованого програмного забезпечення;
- моделювати бездротові канали зв'язку та мережі за допомогою MATLAB/Simulink, GNU Radio, ns-3;
- аналізувати параметри та трафік WPAN- і LPWAN-мереж;

- розгортати та налаштовувати елементи бездротових мереж (наприклад, вузли LoRaWAN);
- виконувати аналіз захищеності бездротової мережі та виявляти вразливості;
- застосовувати SDR-обладнання для приймання та аналізу радіосигналів;
- аргументовано презентувати та обґрунтовувати технічні рішення з проєктування бездротових мереж.

3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Передумовами вивчення навчальної дисципліни "Технології бездротових мереж" є опанування таких навчальних дисциплін освітньої програми:

- Теорія електричного зв'язку
- Системи мобільного зв'язку
- Системи комутації та розподілу інформації
- Мережеві та телекомунікаційні технології

4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Відповідно до освітньої програми «Оптоелектронні телекомунікаційні системи», вивчення навчальної дисципліни "Технології бездротових мереж" повинно забезпечити досягнення здобувачами вищої освіти таких програмних результатів навчання (ПРН):

Програмні результати навчання	Шифр ПРН
Локалізувати та оцінювати стан проблемної ситуації на етапах дослідження, проєктування, модернізації, впровадження та експлуатації сучасних та перспективних телекомунікаційних, комплексів, технологій, пристроїв та їх компонентів, формулювати пропозиції щодо її вирішення з усуненням виявлених недоліків.	ПРН-4
Володіти елементною базою та технічними засобами сучасних телекомунікаційних систем.	ПРН-6
Здійснювати пошук інформації у науково-технічній та довідковій літературі, патентах, базах даних, інших джерелах, аналізувати і оцінювати цю інформацію.	ПРН-8
Спілкуватися іноземною мовою, усно і письмово на рівні, достатньому для презентації та обговорення результатів професійної діяльності, досліджень і проєктів у сфері телекомунікацій та радіотехніки, для пошуку і аналізу науково-технічної інформації, для зрозумілого і недвозначного донесення своїх думок та аргументації.	ПРН-9
Забезпечувати надійність, живучість, завадозахищеність, інформаційну безпеку та пропускну здатність телекомунікаційних та радіотехнічних систем.	ПРН-11

5. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з навчальної дисципліни є:

- поточний контроль успішності
- контрольні роботи
- модульні контролі
- підсумковий контроль

Форми поточного контролю та критерії оцінювання результатів навчання

- вибіркове усне опитування;
- фронтальне стандартизоване усне та/або письмове опитування за основними питаннями теми заняття;
- тестування;
- перевірка якості виконання лабораторних завдань та самостійної роботи, зокрема за конспектами матеріалів;
- оцінювання якості та повноти виконання завдань модульних контрольних робіт

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 1)

Поточне оцінювання та самостійна робота					Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2	T3	T4	T5	60	100
8	8	8	8	8		

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 2)

Поточне оцінювання та самостійна робота				Модульна контрольна робота	Сума
T6	T7	T8	T9	60	100
10	10	10	10		

Оцінювання окремих видів навчальної роботи з дисципліни

Вид діяльності здобувача вищої освіти	Модуль 1		Модуль 2	
	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)
Поточна контрольна робота	2	20	2	20
Модульна контрольна робота	1	60	1	60
Разом		100		100

Критерії оцінювання модульної контрольної роботи

Модульна контрольна робота проводиться у письмовій формі шляхом відповідей на чотири теоретичні питання або у виді тестів. Кожна відповідь оцінюється певною кількістю балів. Максимальна кількість балів за кожний модуль становить 100 балів. Мінімальна кількість балів, за якої робота вважається виконаною, становить 60 балів.

Критерії оцінювання підсумкового семестрового контролю

Підсумковий семестровий контроль з дисципліни здійснюється у формі заліку.

Залік проводиться в усній формі шляхом співбесіди. Результати заліку оцінюються за чотирибальною шкалою: "відмінно", "добре", "задовільно", "незадовільно".

Оцінка „відмінно” (А; 90-100) виставляється в тому разі, коли студент бездоганно оволодів всіма розділами програми, дав глибокі, чіткі і вичерпні відповіді на всі основні і додаткові запитання, виявив розуміння суті програмового матеріалу, вільно володів фактичним матеріалом та відповідним математичним апаратом, кваліфіковано використовував набуті знання для розв’язання конкретних практичних задач.

Оцінка „добре” (В, С; 74-89) виставляється тоді, коли студент виявив повне знання і розуміння програмового матеріалу, добре оволодів математичним апаратом курсу, може використовувати набуті знання в практичній діяльності, дав вичерпні відповіді на всі запитання, але під час відповіді допускав окремі нечіткі формулювання і незначні неточності.

Оцінка „задовільно” (D, E; 60-73) виставляється в тому разі, коли студент в основному знає і розуміє фактичний матеріал курсу, дав в основному правильні відповіді на запитання, виявив уміння розібратися в усьому матеріалі курсу, показав вміння використовувати відповідний математичний апарат, але не може ґрунтовно пояснити окремі положення пройденого курсу, допускає неточності при використанні математичного апарату, недостатньо вміє застосовувати набуті знання для розв’язання конкретних практичних задач.

Оцінка „незадовільно” (FX, F; 1-59) виставляється тоді, коли студент не оволодів матеріалом даного курсу, виявив суттєві прогалини в знаннях основного програмового матеріалу, коли він під час відповіді на запитання виявив нерозуміння сутності основних понять та термінів навчальної дисципліни, допускає плутанину, не може застосовувати набуті знання для розв’язування конкретних практичних задач, тобто виявив відсутність мінімально необхідної кількості знань з даного курсу.

За бажанням студента результуюча підсумкова оцінка може бути визначена як інтегрована оцінка засвоєння всіх тем дисципліни і кількісно дорівнює середньому арифметичному балів, отриманих за кожний модуль.

Переведення результатів, отриманих за 100-бальною шкалою оцінювання в національну 4-х бальну та шкалу за системою ECTS здійснюється за наступною схемою:

Оцінка за шкалою балів	Залік	ECTS	
		Оцінка	Характеристика
90-100	зараховано	A	відмінно
82-89		B	добре
74-81		C	добре
64-73		D	задовільно
60-64		E	задовільно

35-59	незараховано	FX	незадовільно з можливістю перескладання
1-34		F	незадовільно з обов'язковим повторним навчанням

Здобувач, який отримав за результатами підсумкового контролю оцінку "незараховано" або "незадовільно з обов'язковим повторним навчанням" (1-34 балів, F), зобов'язаний пройти повторний курс вивчення дисципліни (під час додаткового семестру) і скласти залік.

Результати підсумкового контролю знань вносяться до відомості обліку успішності.

6. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

6.1. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1

Тема 1. Загальні питання бездротових мереж: класифікація (WPAN, LPWAN, ad-hoc, супутникові), фізичні основи поширення радіохвиль, методи модуляції та кодування сигналів, органи стандартизації.

Тема 2. Персональні бездротові мережі (WPAN): Bluetooth/BLE, Zigbee, Z-Wave, Thread, UWB, NFC.

Тема 3. Допоміжні технології близького радіусу дії та радіочастотна ідентифікація: RFID, ANT/ANT+, EnOcean, INSTEON, IrDA, Wireless USB, WirelessHD.

Тема 4. Технології LPWAN для Інтернету речей: LoRa/LoRaWAN, Sigfox, Wi-SUN, DASH7, MIOTY, Ingenu RPMA, Weightless.

Тема 5. Фіксований бездротовий доступ та оптичний бездротовий зв'язок: WiMAX, мікрохвильові радіорелейні лінії, Free-Space Optical (FSO), Li-Fi.

Модуль 2

Тема 6. Ad-hoc, mesh та бездротові сенсорні мережі: MANET, VANET, FANET, WSN, mesh-технології.

Тема 7. Супутникові технології зв'язку: GEO/MEO/LEO-системи, VSAT, Inmarsat, супутниковий телефонний зв'язок, GNSS (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou).

Тема 8. Радіозв'язок спеціального призначення: DECT, TETRA, P25, аматорський (любительський) радіозв'язок.

Тема 9. Перспективні технології фізичного рівня: SDR, когнітивне радіо, ISAC, THz-зв'язок.

6.2. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	Усього	у тому числі				
		лекцій	лабораторні	практичні	індивідуальна робота	самостійна робота
Семестр 1						
Модуль 1						
Тема 1. Загальні питання бездротових мереж: класифікація, фізичні основи поширення радіохвиль, методи модуляції та кодування сигналів, органи стандартизації.	6	2	-	2	-	2
Тема 2. Персональні бездротові мережі (WPAN): Bluetooth/BLE, Zigbee, Z-Wave, Thread, UWB, NFC.	10	2	-	2	-	6
Тема 3. Допоміжні технології близького радіусу дії та радіочастотна ідентифікація: RFID, ANT/ANT+, EnOcean, INSTEON, IrDA, Wireless USB, WirelessHD,.	10	2	-	2	-	6
Тема 4. Технології LPWAN для Інтернету речей: LoRa/LoRaWAN, Sigfox, Wi-SUN, DASH7, MIOTY, Ingenu RPMA, Weightless.	10	2	-	2	-	6
Тема 5. Фіксований бездротовий доступ та оптичний бездротовий зв'язок: WiMAX, мікрохвильові радіорелейні лінії, Free-Space Optical (FSO), Li-Fi.	10	2	-	2	-	6
Разом за модулем 1	46	10	-	10	-	26
Модуль 2						
Тема 6. Ad-hoc, mesh та бездротові сенсорні мережі: MANET, VANET, FANET, WSN, mesh-технології.	11	2	-	2	-	7
Тема 7. Супутникові технології зв'язку: GEO/MEO/LEO-системи, VSAT, Inmarsat, супутниковий телефонний зв'язок, GNSS (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou).	11	2	-	2	-	7
Тема 8. Радіозв'язок спеціального призначення: DECT, TETRA, P25, аматорський (любительський) радіозв'язок.	11	2	-	2	-	7
Тема 9. Перспективні технології фізичного рівня: SDR, когнітивне радіо, ISAC, THz-зв'язок.	11	2	-	2		7
Разом за модулем 2	44	8	-	8	-	28
Усього годин	90	18	-	18	-	54

6.3. Теми практичних занять

№	Назва роботи	Кількість годин
1	Розрахунок бюджету радіолінії та моделювання поширення радіосигналу (MATLAB/Excel, комп'ютерний клас).	2
2	Дослідження методів модуляції (QAM, OFDM) та завадостійкого кодування сигналів (MATLAB/Simulink, комп'ютерний клас).	2
3	Організація обміну даними між пристроями по Bluetooth/BLE на базі ESP32.	2
4	Побудова бездротової сенсорної мережі на базі ESP-NOW/Zigbee (кілька вузлів ESP32, зірка/mesh-топологія).	2
5	Дослідження технології RFID/NFC на базі Arduino (модуль RC522).	2
6	Передавання телеметричних даних сенсора по каналу LoRa (ESP32 + модуль SX1276, точка-точка).	2
7	Моделювання ad-hoc/mesh мережі та протоколів маршрутизації (ns-3/OMNeT++, комп'ютерний клас).	2
8	Приймання та аналіз навігаційних (GNSS) і супутникових сигналів за допомогою SDR (RTL-SDR + GNU Radio).	2
9	Спектральний аналіз радіодіапазону та дослідження основ когнітивного радіо (SDR/GNU Radio).	2
Разом		18

6.4. Теми лабораторних робіт

Лабораторні заняття програмою не передбачені.

6.5. Самостійна робота

№	Назва роботи	Кількість годин
1	Тенденції розвитку бездротових технологій зв'язку: від класичних стандартів до концепції "мережі мереж" (heterogeneous wireless networks) — огляд і порівняльний аналіз.	2
2	Технологія Matter та екосистема "розумного дому": як Thread, Zigbee та Bluetooth LE взаємодіють у єдиному стандарті.	6
3	Надширококутне позиціонування (UWB) у смартфонах та носимих пристроях: точне визначення місцеположення в приміщенні (Apple/Google Find My, цифрові ключі автомобілів).	6
4	Супутниковий IoT та технологія Direct-to-Cell: підключення LPWAN-пристроїв напряму до низькоорбітальних супутників (Starlink, AST SpaceMobile, Skylo).	6
5	Li-Fi як альтернатива радіозв'язку: передавання даних через видиме світло — принципи, переваги та обмеження застосування.	6
6	FANET та мережі дронів: організація бездротового зв'язку між безпілотними літальними апаратами для моніторингу та логістики.	7

7	Мегасузір'я низькоорбітальних супутників (Starlink, OneWeb, Kuiper): архітектура, міжсупутникові лазерні канали зв'язку, вплив на глобальний доступ до інтернету.	7
8	Приватні мережі TETRA та DMR для служб екстреного реагування: порівняння з комерційними стільниковими рішеннями (Mission Critical Push-to-Talk over LTE/5G).	7
9	Реконфігуровані інтелектуальні поверхні (RIS) та інтегровані сенсорно-комунікаційні системи (ISAC) як ключові технології бездротового зв'язку майбутнього (6G).	7
Разом		54

6. ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВИКОРИСТАННЯ ЯКИХ ПЕРЕДБАЧАЄ НАВЧАЛЬНА ДИСЦИПЛІНА

Технічні засоби: мультимедійний проектор

Обладнання: персональні комп'ютери, мережеве обладнання, доступ в Інтернет.

Програмне забезпечення: MATLAB/Simulink (Communications Toolbox), GNU Radio + RTL-SDR, ns-3 або OMNeT++, Wireshark, інструменти RF-планування (EkaHau, iBwave або безкоштовні аналоги).

7. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основна література

1. Clint Smith, Daniel Collins. 5G Wireless: A Comprehensive Introduction. 2021, - 432 p.
2. Сайко В.Г. Мережі бездротового широкосмугового доступу / В.Г. Сайко, В.Я. Казіміренко, Ю.М. Літвінов. – К.: ДУТ, 2015. – 196 с.
3. Alan Bensky. Wireless Networking and IoT: The Essential Guide. 2022, – 320 p.
4. Ghassan Samara, Kiran Chaudhary. IoT and Low-Power Wireless: Technology, Protocols, and Applications. 2020, – 280 p.
5. Mischa Dohler, Takehiro Nakamura. 5G and Beyond: Fundamentals and Applications. 2020, - 506 p.
6. Larry Peterson, Bruce Davie. Computer Networks: A Systems Approach. 6th Edition, 2022, - 816 p.

Додаткова література

1. Pablo Aguilera. 802.11ax: A Hyperconnected World & WiFi 6. 2020, 340 p.
2. p. Extreme Networks. Wi-Fi 6 & 6E For Dummies®, Special Edition. 2022, - 400
3. Eldad Perahia, Robert Stacey. Next Generation Wireless LANs: 802.11ax and 6 GHz Spectrum. 3rd Edition, 2021, - 550 p.
4. Sarah Hurst. BLE Technology and Applications. 2023, - 310 p.
5. Matthew Gast. Wi-Fi 6 Protocol and Network. 2020, - 280 p.

Інформаційні ресурси в мережі Інтернет

- <https://intuit.ru/studies/courses/1150/157/info>

- <https://www.znanius.com/3713.html?&L=3>
- <https://www.znanius.com/10016.html>
- <http://iptcp.net/>
- https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/firen/4bortnyk_systemy_dostupu/index.html