

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ З РУХОМИМИ ОБ'ЄКТАМИ»

Лектор курсу			Хаб'юк Наталія Сергіївна, ст.викладач каф. Мобільних та відеоінформаційних технологій		Контактна інформація лектора (e-mail), сторінка курсу в Google Class	e-mail: : n.khabiuk@duikt.edu.ua сторінка курсу в Google Class – https://classroom.google.com/c/ODY3ODExODk0ODc4?cjc=mrbjwyqy	
Галузь знань			G Інженерія, виробництво та будівництво		Рівень вищої освіти	бакалавр	
Спеціальність			G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка		Семестр	5	
Освітня програма			Мобільні телекомунікації та системи цифрового телебачення		Тип дисципліни	Основна	
Обсяг:	Кредитів ECTS	Годин	За видами занять:				
			Лекцій	Семінарських занять	Практичних занять	Лабораторних занять	Самостійна підготовка
	3	90	18	-	24	-	48

АНОТАЦІЯ КУРСУ

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК У СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНІЙ СХЕМІ

Освітні компоненти, які передують вивченню		Технології та протоколи інфокомунікаційних мереж, Безпроводові телекомунікаційні мережі, Супутникові системи зв'язку і навігації, Вища математика, Фізика, Перспективні радіотехнології, Телекомунікаційні мережі,
Освітні компоненти для яких є базовою		Ознайомча практика, Виробнича практика, Переддипломна практика, Кваліфікаційна робота, Мережі та системи цифрового радіозв'язку і радіодоступу нового покоління, Мережі безпроводового широкосмугового доступу, Мультимедійні технології мобільного зв'язку.

Мета курсу:	Формування у студентів цілісної системи спеціальних знань, практичних навичок та вмінь щодо принципів побудови, функціонування та експлуатації сучасних систем мобільного зв'язку. У результаті вивчення дисципліни студент має опанувати: теоретичні основи та практичні компетентності з принципів побудови елементів і систем мобільного зв'язку; стандарти їх функціонування, види систем, процеси управління та протоколи обміну інформацією; технічні характеристики сучасних і перспективних технологій мобільного зв'язку (4G/LTE, 5G/NR, 5G-Advanced); методи аналізу, оцінки та оптимізації мереж рухомого (стілнєникового та транкінгового) зв'язку; принципи проектування нових і модернізації існуючих мереж; роботу із сучасним програмним забезпеченням для інсталяції, ініціалізації, експлуатації та обслуговування систем мобільного зв'язку; вміння організовувати безперебійну роботу мережевого обладнання та вдосконалювати телекомунікаційні і бездротові мережі. Студенти навчаються опановувати сучасне програмне забезпечення для інсталяції, ініціалізації, експлуатації та обслуговування систем мобільного зв'язку, а також формують уміння організовувати безперебійну роботу мережевого обладнання та вдосконалювати телекомунікаційні й бездротові мережі.
--------------------	--

КОМПЕТЕНТНОСТІ ВІДПОВІДНО ДО ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ.

Soft- skills / Загальні компетентності (ЗК)	Hard-skills / Спеціальні компетентності (СК)
ЗК 3. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. ЗК 4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. ЗК 8. Здатність працювати в команді. ЗК 9. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.	ПК1. Здатність розуміти сутність і значення інформації в розвитку сучасного інформаційного суспільства. ПК-. Здатність використовувати базові методи, способи та засоби отримання, передавання, обробки та зберігання інформації. ПК4. Здатність здійснювати комп'ютерне моделювання пристроїв, систем і процесів з використанням універсальних пакетів прикладних програм. ПК10. Здатність здійснювати монтаж, налагодження, налаштування, регулювання, дослідну перевірку працездатності, випробування та здачу в експлуатацію споруд, засобів і устаткування телекомунікацій та радіотехніки.

	ПК15. Здатність проводити розрахунки у процесі проектування споруд і засобів інформаційно- телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем, відповідно до технічного завдання з використанням як стандартних, так і самостійно створених методів, прийомів і програмних засобів автоматизації проектування ПК16. Здатність здобувати, аналізувати розробки процесів, що відбуваються в системах цифрового радіодоступу. ПК17. Здатність контролювати і діагностувати стан обладнання і програмного забезпечення інформаційних та телекомунікаційних мереж, мереж теле- та радіомовлення, систем передачі, систем комутації, кінцевих пристроїв користувача, залежно від методів їхньої технічної експлуатації. ПК19. Здатність проводити роботи з керуванням базових станції мобільних операторів, антено – фідерними системами, так і з пристроями (смартфони, радіоприймачі, планшетні ПК).
ПРОГРАМНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ (ПР)	
ПРН4. Вміння застосовувати результати особистого пошуку та аналізу інформації для розв’язання якісних і кількісних задач подібного характеру в інформаційно-комунікаційних мережах, телекомунікаційних і радіотехнічних системах. ПРН5. Здатність визначати та застосовувати у професійній діяльності методики випробувань інформаційно-телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем на відповідність вимогам вітчизняних та міжнародних нормативних документів. ПРН11. Вміння аналізувати та виконувати оцінку ефективності методів проектування інформаційно-телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем. ПРН14. Здатність застосування фундаментальних і прикладних наук для аналізу та розробки процесів, що відбуваються в телекомунікаційних та радіотехнічних системах . ПРН15. Здатність розуміння і застосування основних властивостей компонентної бази для забезпечення якості та надійності функціонування телекомунікаційних, радіотехнічних систем і пристроїв. ПРН16. Здатність розуміння і застосування засобів автоматизації проектування і технічної експлуатації систем телекомунікацій та радіотехніки у професійній діяльності. ПРН23. Уміння здійснювати діагностику, аналіз, фіксування показників, умов та результатів проектування, експлуатації, обслуговування і ремонту телекомунікаційних систем та мереж. ПРН24. Уміння вибору технічних засобів для побудови систем телекомунікацій. ПРН25. Уміння продемонструвати навички діагностування технічного стану систем та мереж телекомунікацій.	
РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ ВІДПОВІДНО ДО ОПП	
Здобувач вищої освіти повинен продемонструвати такі результати навчання: знати принципи побудови, функціонування та еволюцію систем мобільного зв’язку з рухомими об’єктами, основні покоління мобільних мереж та їх технічні характеристики; розуміти принципи організації радіозв’язку з рухомими об’єктами, особливості радіоінтерфейсів, методів множинного доступу, модуляції та передавання інформації в сучасних системах мобільного зв’язку; знати основні моделі поширення радіохвиль та методи оцінювання параметрів радіоканалу з урахуванням руху об’єкта, багатопроменевості, завмирань, доплерівського зсуву частоти та інших факторів, що впливають на якість зв’язку; володіти методами оцінювання енергетичних і якісних характеристик радіоканалів, визначення дальності та зони впевненого радіозв’язку з рухомими об’єктами; уміти аналізувати вплив швидкості та характеру руху об’єкта, умов поширення радіохвиль, рельєфу місцевості, затінення, багатопроменевості та перешкод на надійність і якість мобільного зв’язку; знати принципи організації стільникових мереж, механізми мобільності абонентів і рухомих об’єктів, процедури вибору та зміни точки доступу, а також принципи реалізації хендоверу; застосовувати методи управління радіоресурсами, розподілу частотно-часових ресурсів, регулювання потужності та адаптивного вибору параметрів передавання для забезпечення необхідної якості зв’язку з рухомими об’єктами; уміти аналізувати та порівнювати технології MIMO, Massive MIMO, beamforming, Carrier Aggregation та інші сучасні технології підвищення пропускної здатності,	

покриття, надійності та ефективності використання радіоресурсів; володіти методами забезпечення завадостійкості та стійкості систем мобільного зв'язку, уміти оцінювати вплив внутрішніх і зовнішніх перешкод та обґрунтовувати способи підвищення якості радіозв'язку в умовах складної електромагнітної обстановки; уміти застосовувати сучасні методи моделювання, розрахунку, планування та оптимізації систем мобільного зв'язку з рухомими об'єктами, оцінювати їх ефективність, надійність і стійкість та обґрунтовувати технічні рішення щодо їх побудови й експлуатації. Зазначені результати навчання забезпечують формування професійної готовності до аналізу, проєктування, розгортання, експлуатації, оптимізації та модернізації систем мобільного зв'язку з рухомими об'єктами з урахуванням динаміки радіоканалу, мобільності об'єктів, обмеженості радіоресурсів, впливу перешкод та вимог до якості, надійності й стійкості зв'язку.

ОРГАНІЗАЦІЯ НАВЧАННЯ

Тема, опис теми	Вид заняття	Оцінювання за тему	Форми і методи навчання/питання до самостійної роботи
-----------------	-------------	--------------------	---

РОЗДІЛ 1 «ОСНОВИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ З РУХОМИМИ ОБ'ЄКТАМИ»

Тема 1 Системи мобільного зв'язку з рухомими об'єктами: принципи побудови та особливості функціонування

Знати: принципи побудови, класифікацію та ключові особливості систем мобільного зв'язку з рухомими об'єктами; вплив мобільності на параметри радіоканалу; принципи організації радіозв'язку між рухомим об'єктом і мережею; основні характеристики рухомого радіоканалу; поняття зони покриття, дальності, доступності та якості зв'язку; фактори, що визначають надійність зв'язку під час руху об'єкта.

Вміти: аналізувати особливості функціонування систем у різних сценаріях руху об'єктів та визначати основні вимоги до якості зв'язку; аналізувати структуру системи мобільного зв'язку; визначати основні фактори, що впливають на якість радіоканалу; оцінювати вимоги до системи залежно від швидкості та характеру руху; обґрунтовувати основні технічні параметри системи для заданого сценарію руху.

Формування компетенцій: ЗК3, ЗК4, ЗК8, ЗК9, ПК1, ПК3, ПК4, ПК10, ПК15, ПК16, ПК17, ПК19

Програмні результати навчання: ПРН4, ПРН5, ПРН11, ПРН14, ПРН15, ПРН16, ПРН23, ПРН24, ПРН25

Рекомендовані джерела: 1-10

Заняття 1.1 Розглядаються основні поняття, класифікація та особливості, структура, принципи побудови та особливості функціонування систем зв'язку, у яких один або декілька учасників радіообміну перебувають у русі. Аналізуються фактори впливу швидкості та характеру руху об'єкта, дальності, рельєфу, затінення, багатопроменевості та змін радіоканалу на якість і надійність радіозв'язку при русі абонентів і об'єктів.	Лекція 1 2 год		Пояснювально-ілюстративний, лекція-візуалізація, бліц опитування
Заняття 1.2 Основні режими роботи системи стільникового зв'язку	Практичне заняття 1 2 год	2 бали	Усне опитування, виконання завдань на практичне застосування знань і вмінь.
Заняття 1.3 Знайомство з мережним симулятором Cisco Packet Tracer. Створення бездротової мережі, налаштувати Wi-Fi-точки доступу через веб-інтерфейс та кінцеві вузли мережі	Практичне заняття 2 2 год	3 бали	Усне опитування, виконання завдань на практичне застосування знань і вмінь.

Тема 2 Цифрові стільникові системи: радіоканал, динаміка та забезпечення мобільності зв'язку з рухомими об'єктами

Знати: принципи побудови та функціонування цифрових стільникових мереж; еволюцію та відмінності основних поколінь мобільного зв'язку (від ранніх поколінь до 4G/LTE та 5G/NR); структуру, елементи та принципи організації радіодоступу в мережах 4G/LTE та 5G/NR; основні моделі поширення радіохвиль у мобільному середовищі; механізми багатопроменевого поширення, затінення та завмирань (fading) сигналу; причини виникнення та фізику доплерівського зсуву частоти; поняття когерентного часу та смуги когерентності каналу; залежність параметрів радіоканалу від швидкості та умов переміщення рухомого об'єкта; процедури та протоколи забезпечення мобільності абонентів і рухомих об'єктів; механізми, види та алгоритми виконання хендверу (handover).

Вміти: аналізувати архітектуру стільникової мережі та принципи взаємодії її елементів; порівнювати мережі LTE та 5G NR за основними технічними характеристиками та показниками ефективності; визначати особливості функціонування мережі для різних швидкостей руху об'єкта; оцінювати вплив швидкості та умов руху на часові, частотні й енергетичні параметри радіоканалу; розраховувати та визначати вплив доплерівського зсуву на якість передавання інформації та синхронізацію; аналізувати причини погіршення якості зв'язку в динамічних умовах; розраховувати енергетичні та якісні характеристики (SNR, SINR, BER) рухомого

радіоканалу; аналізувати процеси вибору, повторного вибору (cell reselection) та зміни точки доступу; аналізувати та оптимізувати процедуру хендоверу для запобігання обривам сесій; оцінювати умови забезпечення безперервності зв'язку та якість обслуговування (QoS/QoE) під час переміщення користувача. Формування компетенцій: ЗК3, ЗК4, ЗК8, ЗК9, ПК1,ПК3, ПК4, ПК10, ПК15, ПК16, ПК17, ПК19 Програмні результати навчання: ПРН4, ПРН5, ПРН11, ПРН14, ПРН15, ПРН,16 ПРН23, ПРН24, ПРН25 Рекомендовані джерела: 1-10			
Заняття 2.1 Розглядаються принципи побудови та еволюція (від ранніх поколінь до 4G/5G) сучасних цифрових стільникових мереж. Вивчається фізика динамічного радіоканалу в умовах руху об'єкта (завмирання, багатопроменевість, ефект Доплера) та її вплив на характеристики зв'язку, мобільності та хендоверу для гарантування безперервного з'єднання під час переміщення користувача.	Лекція 2 2 год		Пояснювально-ілюстративний, лекція-візуалізація, бліц опитування
Заняття 2.2 Дослідження характеристик поширення радіохвиль у мобільному зв'язку. Розрахунок необхідної потужності передавача	Практичне заняття 3 2 год	5 балів	Усне опитування, виконання завдань на практичне застосування знань і вмінь, тестування
Тема 3 Принципи побудови супутникових систем зв'язку з рухомими об'єктами Знати: Архітектуру та склад супутникових систем зв'язку з рухомими об'єктами (космічний сегмент, наземні шлюзи/управління, мобільні абонентські термінали). Типи та характеристики орбіт штучних супутників Землі: геостационарні (GEO), середньовисокі (MEO) та низькоорбітальні (LEO), а також їхні компроміси щодо затримки (latency) та покриття. Принципи організації радіодоступу, зонального покриття (парк променів/spot beams) та повторного використання частот у супутниковому зв'язку. Оцінку та розрахунок бюджету радіолінії для ліній «супутник–термінал» та «термінал–супутник». Фізичні особливості поширення радіохвиль у космічному та атмосферному середовищі: згасання в тропосфері/іонисфері, дощове згасання, поляризаційні зсуви (повертання Фарадея). Вплив руху супутника та абонента на радіоканал: екстремальний доплерівський зсув частоти (особливо для LEO-угруповань) та швидкі зміни геометричних кутів спостереження (кута місця / elevation angle). Ефекти затінення та багатопроменевості у супутниковому каналі (моделі Райса, Луо/Лоллі, затінення деревами чи забудовою). Принципи побудови та функціонування мультисупутникових угруповань (Starlink, OneWeb, Iridium тощо) та використання міжсупутникових ліній зв'язку. Особливості процедур хендоверу в супутникових мережах: променевий (beam handover), міжсупутниковий (satellite handover) та міжмережевий (гібридний/гетерогенний). Вміти: Розраховувати бюджет супутникової лінії зв'язку з урахуванням умов поширення, кута місця, втрат у вільному просторі (FSPL) та атмосферного згасання. Оцінювати вплив значного доплерівського зсуву на частотну синхронізацію та обирати алгоритми його компенсації. Розраховувати часові затримки поширення сигналу (RTT) для різних типів орбіт (GEO,MEO,LEO) та оцінювати їхній вплив на інтерактивні додатки. Проводити порівняльний аналіз техніко-економічних та експлуатаційних характеристик наземних стільникових мереж (4G/5G) і супутникових систем (MSS/NTN). Визначати доцільність та ефективність застосування супутникового зв'язку залежно від категорії рухомого об'єкта (авіація, морський транспорт, залізничний/автомобільний транспорт, критичні служби у віддалених регіонах). Оцінювати можливості інтеграції супутникового сегмента в концепцію 5G/6G NTN (Non-Terrestrial Networks). Обґрунтовувати вибір типу орбітального угруповання та діапазону частот (L-, S-, Ku-, Ka-, V-діапазони) під конкретні задачі мобільного об'єкта. Аналізувати вимоги до абонентських антенно-фідерних систем (фазовані антенні решітки, системи стеження за супутником) для забезпечення стійкого зв'язку в умовах інтенсивного руху. Оцінювати енергетичні характеристики терміналів та умови забезпечення безперервності обслуговування при переході між променями або супутниками. Формування компетенцій: ЗК3, ЗК4, ЗК8, ЗК9, ПК1,ПК3, ПК4, ПК10, ПК15, ПК16, ПК17, ПК19 Програмні результати навчання: ПРН4, ПРН5, ПРН11, ПРН14, ПРН15, ПРН,16 ПРН23, ПРН24, ПРН25 Рекомендовані джерела: 1-10			
Заняття 3.1 принципи побудови, архітектура та функціонування супутникових систем зв'язку з рухомими об'єктами (морським, авіаційним та сухопутним транспортом). Розглядаються типи орбітальних угруповань (GEO, MEO, LEO), особливості побудови супутникового радіоканалу в різних частотних діапазонах та вплив умов поширення радіохвиль (атмосферне згасання, доплерівський зсув, затінення), порівняльний аналіз наземних і супутникових мереж, процедурам	Лекція 3 2 год		Пояснювально-ілюстративний, лекція-візуалізація, бліц опитування

хендоверу між супутниками та напрямам інтеграції супутникового сегмента в мережі 5G/6G (NTN).			
Заняття 3.2 Визначення спектральних параметрів сигналів GSM-мобільного зв'язку	Практичне заняття 4 2 год	5 балів	Усне опитування, виконання завдань на практичне застосування знань і вмінь.
Тема 4 Антенні системи мобільного зв'язку та просторове формування радіоканалу Знати: Основні параметри антен: діаграма спрямованості (ДС), коефіцієнт підсилення (Ку), коефіцієнт спрямованої дії (КСД), смуга частот, поляризація та імпедансне узгодження (КСВН/S11). Конструктивні типи антен базових станцій (секторні, панельні, фазовані антенні решітки) та мобільних терміналів (мікросмужкові, слабоспрямовані, інтегровані). Особливості використання антенних систем на рухомих об'єктах з урахуванням габаритів, фюзеляжу/кузова та зміни просторової орієнтації. Принципи побудови багатоантенних систем та просторового рознесення (Spatial Diversity) на прийомі й передачі. Фізичні основи та архітектуру технологій MIMO (Single-User MIMO, Multi-User MIMO) і Massive MIMO в мережах 4G/5G. Вплив кількості, конфігурації та взаємного розташування антенних елементів (кроку решітки, взаємозв'язку/mutual coupling) на характеристики системи. Принципи адаптивного формування променя (Beamforming) та електронного сканування простору. Концепцію просторового мультиплексування (Spatial Multiplexing) та розділення каналів (SDMA). Особливості роботи адаптивних решіток в умовах динамічного радіоканалу, виклики відстеження (beam tracking) рухомих об'єктів на високих швидкостях. Вміти: Аналізувати діаграми спрямованості та електродинамічні характеристики антенних систем базових станцій і терміналів. Розраховувати та оцінювати вплив характеристик антен на енергетичний бюджет лінії зв'язку (Link Budget), зону покриття та якість сигналу (SINR). Оцінювати особливості роботи та ефективність багатоантенних систем для різних швидкостей і траєкторій руху об'єктів. Обирати й обґрунтовувати антенні конфігурації залежно від умов поширення радіохвиль (MISO, SIMO, MIMO 2x2/4x4, Massive MIMO) та щільності забудови (NLOS/LOS). Обґрунтовувати застосування технологій Beamforming для компенсації високого згасання у діапазонах mmWave/cmWave. Аналізувати причини деградації просторового розділення через взаємну кореляцію каналів та пропонувати шляхи її мінімізації. <u>Формування компетенцій:</u> ЗК3, ЗК4, ЗК8, ЗК9, ПК1, ПК3, ПК4, ПК10, ПК15, ПК16, ПК17, ПК19 <u>Програмні результати навчання:</u> ПРН4, ПРН5, ПРН11, ПРН14, ПРН15, ПРН16, ПРН23, ПРН24, ПРН25 <u>Рекомендовані джерела:</u> 1-10			
Заняття 4.1 типи, конструктивні особливості та характеристики антенних систем базових станцій і рухомих об'єктів (сухопутного, авіаційного та морського транспорту). Розглядаються методи просторової обробки сигналів і формування радіоканалу в умовах багатопробного поширення та руху користувачів, технології багатоантенного прийому та передачі (MIMO, Massive MIMO), принципам адаптивного формування променя (Beamforming) та завадостійкому просторовому розділенню сигналів для забезпечення покриття й високої якості обслуговування (QoS).	Лекція 4 2 год		Пояснювально-ілюстративний, лекція-візуалізація, бліц опитування
Заняття 4.2 Вивчення залежності коефіцієнта підсилення параболічних антен	Практичне заняття 5 2 год	5 балів	Усне опитування, виконання завдань на практичне застосування знань і вмінь.
Тема 5 LTE-Advanced та 5G NR: архітектура, радіоінтерфейс і підтримка високої мобільності <u>Знати:</u> Архітектурні моделі та відмінності між LTE-Advanced (EPC + E-UTRAN) та 5G NR (5GC + NG-RAN, варіанти розгортання NSA та SA). Функціональний розподіл та протоколи радіоінтерфейсу (PHY, MAC, RLC, PDCP, SDAP, RRC). Сценарії використання 5G NR (eMBB, URLLC, mMTC/mIoT) та їхні вимоги до затримок, надійності й пропускну здатності для рухомих об'єктів. Фізичні основи та відмінності методів множинного доступу OFDMA (Uplink/Downlink) та SC-FDMA/DFT-s-OFDM. Гнучку часово-частотну структуру кадру в 5G NR її призначення для компенсації доплерівського зсуву на високих швидкостях. Принципи адаптивної модуляції та кодування (AMC: QPSK...256QAM) на основі зворотної інформації про якість каналу (CQI/PMI/RI). Механізми швидкого повторного передавання завадостійких блоків (HARQ, Soft Combining) та керування потужністю (Power Control). Процедури вимірювань, керування мобільністю у різних станах. Особливості реалізації Seamless та Inter-RAT Handover під час переходу між 4G та 5G.			

Вміти: Розраховувати та аналізувати часово-частотні ресурси (Resource Blocks, Slot Structure) та теоретичну пропускну здатність ліній LTE-A/5G NR. Оцінювати вплив швидкості руху об'єкта та доплерівського розширення на втрату ортогональності піднесучих (Inter-Carrier Interference) та вибирати відповідну нумерологію (SCS). Аналізувати показники якості обслуговування (QoS/QoE, latency, BLER, SINR) залежно від умов радіоканалу та навантаження мережі. Порівнювати можливості LTE-Advanced та 5G NR за затримкою, спектральною ефективністю, ємністю та надійністю в умовах високої мобільності-V2X. Обґрунтовувати вибір конфігурації мережі, частотного діапазону (FR1 та FR2/mmWave) та технологій розгортання для заданого сценарію мобільного зв'язку. Аналізувати причини збоїв процедури хендверу (Radio Link Failure, Handover Failure) та пропонувати алгоритми оптимізації часових і енергетичних порогів (Time-to-Trigger, Hysteresis).

Формування компетенцій: ЗК3, ЗК4, ЗК8, ЗК9, ПК1, ПК3, ПК4, ПК10, ПК15, ПК16, ПК17, ПК19

Програмні результати навчання: ПРН4, ПРН5, ПРН11, ПРН14, ПРН15, ПРН16, ПРН23, ПРН24, ПРН25

Рекомендовані джерела: 1-10

Заняття 5.1 Аналізуються принципи функціонування та еволюція технологічних платформ LTE, LTE-Advanced та 5G NR як основи сучасного мобільного зв'язку. Розглядаються архітектура мереж (EPC, 5GC, gNB/eNB), структура радіоінтерфейсу, методи множинного доступу (OFDMA, SC-FDMA), адаптивна модуляція та кодування (AMC), процедури HARQ і керування потужністю, механізми підтримки мобільності, алгоритмам хендверу та адаптації параметрів мережі під час руху користувача на різних швидкостях у різних сценаріях (eMBB, URLLC, mMTC).	Лекція 5 2 год		Пояснювально-ілюстративний, лекція-візуалізація, бліц опитування
Заняття 5.2 Основи побудови мобільних мереж на базі CDMA	Практичне заняття 6 2 год	2 бали	Усне опитування, виконання завдань на практичне застосування знань і вмінь, тестування
Заняття 5.3 Техніки розширення спектра сигналу	Практичне заняття 7 2 год	3 балів	Усне опитування, виконання завдань на практичне застосування знань і вмінь, тестування
МОДУЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ «ОСНОВИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ З РУХОМИМИ ОБ'ЄКТАМИ»	Відповіді на запитання ТЕСТ	10 балів	Ввиконання завдань на практичне застосування знань і вмінь, тестування

РОЗДІЛ 2 «ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ, ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ТА СТІЙКОСТІ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ ТА ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ»

Тема 6 Транкінгові та спеціалізовані системи зв'язку з рухомими об'єктами

Знати: Архітектуру, склад та класифікацію транкінгових систем радіозв'язку (PMR/LMR — Professional/Land Mobile Radio). Основні стандарти цифрового транкінгового зв'язку (TETRA, DMR Tier II/III, APCO P25, PDT, NXDN) та їхні відмінності. Режими роботи: мережевий (ТМО — Trunked Mode Operation), прямий зв'язок між терміналами без участі базової станції (DMO — Direct Mode Operation), використання ретрансляторів та шлюзів. Принципи динамічного розподілу радіоканалів (канал керування/Control Channel, робочі/мовні канали/Traffic Channels). Методи розмежування та доступу до каналів (FDMA, TDMA) в транкінгових стандартах. Особливості організації груп, створення викликів (Group Call, Broadcast Call, Individual Call, Emergency Call) та адресації абонентів. Механізми забезпечення миттєвого виклику (Push-to-Talk — PTT, затримка встановлення з'єднання до 300 мс). Механізми пріоритезації викликів, переривання менш пріоритетних розмов та обробки черг при перевантаженні мережі. Методи забезпечення живучості та надійності системи (резервування елементів базових станцій, завадостійке кодування, криптографічний захист шифруванням Air Interface Encryption та End-to-End Encryption). Особливості покриття та обслуговування рухомих об'єктів у складних умовах (промислові зони, тунелі, віддалені території).

Вміти: Аналізувати структуру, схеми організації та алгоритми функціонування транкінгових мереж різного масштабу (від однозонових до регіональних/національних). Розраховувати та оцінювати спектральну та системну ефективність використання радіоканалів при залученні пулу частот (Trunking Gain) порівняно з конвенційним радіозв'язком. Аналізувати часові та енергетичні параметри транкінгових радіоліній для рухомих об'єктів. Оцінювати вимоги до мережі (пропускну здатність, кількість каналів, рівень пріоритетів, час відгуку) залежно від чисельності користувачів, інтенсивності трафіку та характеру їхнього руху.

Визначати оптимальний стандарт (TETRA, DMR, P25 тощо) та конфігурацію обладнання для конкретних сценаріїв (служби екстреної допомоги, залізниця, авіація, логістика, енергетика). Обґрунтовувати технічні та організаційні рішення щодо підвищення відмовостійкості системи (перехід базових станцій у локальний режим fallback, використання пересувних або мобільних ретрансляторів). Аналізувати та оптимізувати процедури зміни зон покриття (Roaming/Handover) рухомими терміналами в транкінгових мережах. Оцінювати вплив руху об'єкта на якість передавання мови та коротких даних (SDS/Status Messages) у реальному часі.

Формування компетенцій: ЗК3, ЗК4, ЗК8, ЗК9, ПК1, ПК3, ПК4, ПК10, ПК15, ПК16, ПК17, ПК19

Програмні результати навчання: ПРН4, ПРН5, ПРН11, ПРН14, ПРН15, ПРН,16 ПРН23, ПРН24, ПРН25

Рекомендовані джерела: 1-10

Заняття 6.1 принципи побудови, архітектура та функціонування транкінгових (професійних/оперативних) систем радіозв'язку як окремого класу мереж, орієнтованих на швидку групову та індивідуальну взаємодію рухомих користувачів. Аналізуються стандарти цифрового транкінгового зв'язку (TETRA, DMR, P25, PDT тощо), методи багаторазового та автоматичного динамічного розподілу каналів (Trunking), механізми забезпечення миттєвого встановлення з'єднання (Push-to-Talk/PTT), пріоритезації трафіку та екстрених викликів, принципам побудови автономних і прямоканальних режимів (Direct Mode Operation — DMO), стійкості мережі в екстремальних умовах та забезпеченню надійності зв'язку з рухомими об'єктами екстрених, транспортних і корпоративних служб.	Лекція 6 2 год		Пояснювально-ілюстративний, лекція-візуалізація, бліц опитування
Заняття 6.2 Визначення параметрів сигналу OFDM	Практичне заняття 8 2 год	5 балів	Усне опитування, виконання завдань на практичне застосування знань і вмінь.

Тема 7 Завадостійкість та стійкість мереж широкопasmового доступу та радіомовлення в складній ЕМО(складна електромагнітна обстановка)

Знати: Принципи побудови та функціонування мереж широкопasmового радіодоступу та цифрового радіомовлення (DAB+, DVB-T2, 5G Broadcast/LTE-EnTV). Способи доставки контенту та мультимедійних послуг рухомих абонентам у конвергентних мережах. Принципи спільного використання інфраструктури (Site Sharing, RAN Sharing) та радіочастотного спектра мобільними й мовними операторами. Класифікацію та характеристики внутрішніх, зовнішніх, взаємних і навмисних завад (завади по суміжному/суміщеному каналу, завади інтермодуляції, РЕБ-подавлення). Механізми виникнення внутрішньосистемної та міжсистемної інтерференції (Co-channel and Adjacent Channel Interference) у густонаселених частотних діапазонах. Моделі складної ЕМО, включаючи багатопроменеве поширення, глибокі замирання та швидкі зміни радіоумов під час руху об'єкта. Показники та критерії завадостійкості, надійності й стійкості радіозв'язку (BER, BLER, FER, QoS/QoE). Методи завадостійкого кодування (LDPC, Polar Codes), перемежування та сигнально-кодові конструкції на основі OFDM/OFDMA. Адаптивні методи захисту: динамічне керування потужністю, адаптивна модуляція та кодування (AMC), псевдовипадкова перебудова робочої частоти (ППРЧ/FHSS), просторово-часова обробка (MIMO, Beamforming, Null-steering).

Вміти: Аналізувати та розраховувати енергетичні й якісні параметри радіоліній (SNR, SIR, SINR) у складній завадовій обстановці. Оцінювати рівень деградації якості радіоканалу та втрат пропускної здатності залежно від швидкості руху об'єкта та інтенсивності завад. Визначати причини погіршення зв'язку (випадання кадрів, розрив сесій, зниження швидкості) та проводити діагностику завадової обстановки. Оцінювати та обґрунтовувати методи підвищення завадостійкості мереж ШСД та радіомовлення за різних умов руху та ЕМО. Розробляти та обирати оптимальні сценарії спільного використання інфраструктури й спектра для мінімізації взаємних завад між мовними та мобільними мережами. Розраховувати стійкість та надійність систем радіозв'язку в умовах впливу активних і пасивних завад.

Формування компетенцій: ЗК3, ЗК4, ЗК8, ЗК9, ПК1, ПК3, ПК4, ПК10, ПК15, ПК16, ПК17, ПК19

Програмні результати навчання: ПРН4, ПРН5, ПРН11, ПРН14, ПРН15, ПРН,16 ПРН23, ПРН24, ПРН25

Рекомендовані джерела: 1-10

Заняття 7.1 принципи побудови, архітектура та функціонування мереж широкопasmового радіодоступу (ШСД) і цифрового радіомовлення (DAB+, DVB-T2/NIB, 5G Broadcast), а також їхня інтеграція з мобільними системами	Лекція 7 2 год		Пояснювально-ілюстративний, лекція-візуалізація, бліц опитування
--	-------------------	--	--

зв'язку. Аналізується вплив внутрішньосистемних, міжсистемних, промислових та навмисних завад (зокрема засобів РЕБ) на радіоканали рухомих об'єктів. Розглядаються сучасні методи підвищення завадостійкості, адаптації параметрів передавання (AMC, OFDM/OFDMA, MIMO, Beamforming), завадостійке кодування та оцінка електромагнітної сумісності (ЕМС) для забезпечення стійкого функціонування та безперервності доставки контенту в динамічній ЕМО.			
Заняття 7.2 Радіомоніторинг: Технічні засоби та розрахунок параметрів мереж	Практичне заняття 9 2 год	2 бали	Усне опитування, виконання завдань на практичне застосування знань і вмінь, тестування
Заняття 7.3 Визначення тривалості захисного інтервалу в OFDM при багатопроменевості для усунення міжсимвольних завад	Практичне заняття 10 2 год	3 бали	Усне опитування, виконання завдань на практичне застосування знань і вмінь, тестування
Тема 8 Технології MIMO у сучасних системах мобільного зв'язку Знати: Фізичні принципи побудови багатоантенних систем (SU-MIMO, MU-MIMO, Massive MIMO). Відмінності між режимами просторового мультиплексування (Spatial Multiplexing), просторового рознесення (Spatial Diversity) та формування променя (Beamforming). Особливості конфігурацій антенних решіток (Uniform Linear Array, Uniform Planar Array, 3D Beamforming) та їхній вплив на просторову роздільну здатність. Матричний опис каналу зв'язку (H-матриця), поняття рану каналу (Channel Rank) та число обумовленості. Методи розкладу каналу (Singular Value Decomposition — SVD) та алгоритми прекодування (Zero-Forcing, MMSE, Conjugate Beamforming/Maximum Ratio Transmission). Способи оцінки стану каналу (Channel State Information — CSI) та зворотного зв'язку у системах TDD (через взаємність каналів) та FDD. Вплив просторової кореляції, умов прямий видимості (LOS та NLOS) та взаємозв'язку антенних елементів на ефективність MIMO. Механізми відстеження променя (Beam Tracking, Beam Management) та вплив високих швидкостей переміщення об'єкта (доплерівського розширення) на деградацію CSI. Вміти: Розраховувати коефіцієнт просторового підсилення (Diversity Gain, Multiplexing Gain) та теоретичну ємність каналу Шеннона для MIMO-конфігурацій. Оцінювати ранг матриці каналу та визначати оптимальну кількість просторових потоків (Layers) залежно від завадової обстановки та SINR. Розраховувати діаграми спрямованості та енергетичний вигравш антенних решіток при застосуванні Beamforming. Обирати оптимальний режим MIMO (SU-MIMO та MU-MIMO, Diversity та Multiplexing) під конкретні сценарії (високошвидкісний рух, щільна міська забудова, eMBB, URLLC). Оцінювати та мінімізувати вплив деградації оцінки каналу (CSI) на якість зв'язку при високих швидкостях абонента. Обґрунтовувати доцільність застосування Massive MIMO та алгоритмів формування променя для забезпечення покриття у cmWave та mmWave діапазонах. Формування компетенцій: ЗК3, ЗК4, ЗК8, ЗК9, ПК1, ПК3, ПК4, ПК10, ПК15, ПК16, ПК17, ПК19 Програмні результати навчання: ПРН4, ПРН5, ПРН11, ПРН14, ПРН15, ПРН16 ПРН23, ПРН24, ПРН25 Рекомендовані джерела: 1-10			
Заняття 8.1 принципи функціонування, архітектура та математичні основи багатоантенних систем MIMO (Multiple Input Multiple Output) у сучасних та перспективних мережах мобільного зв'язку (4G LTE, 5G NR, 6G). Аналізуються режими просторового мультиплексування, просторового рознесення та формування променя (Beamforming). Особливу увагу приділено технології Massive MIMO, оцінці стану радіоканалу (CSI), завадостійкості та алгоритмам адаптивного відстеження рухомих об'єктів у складних умовах багатопроменевого поширення радіохвиль.	Лекція 8 2 години		Пояснювально-ілюстративний, лекція-візуалізація, бліц опитування
Заняття 8.2 Сучасні методи доступу до середовища передачі даних	Практичне заняття 11 2 год	5 балів	Усне опитування, виконання завдань на практичне застосування знань і вмінь.

Тема 9 Перспективні радіотехнології: від 5G-Advanced до 6G у системах зв'язку з рухомими об'єктами

Знати: Основні технологічні вектори 5G-Advanced (Rel-18/19) та цільові показники систем 6G (затримки під-мілісекундного рівня, швидкості до 1 Тбіт/с, інтегроване зондування та зв'язок — ISAC). Принципи агрегації несучих (Carrier Aggregation — CA) між різними частотними діапазонами (FR1, FR2, FR3) та подвійного підключення (Dual Connectivity — DC). Концепції реконфігурованих інтелектуальних поверхонь (RIS) та інтегрованих космічно-повітряно-наземних мереж (NTN/6G). Характеристики поширення радіохвиль у суб-терагерцовому (100–300 ГГц) та терагерцовому (0.3–10 ТГц) діапазонах: молекулярне поглинання, екстремальне згасання, робота у строгій прямій видимості (LOS). Нові методи формування променя (Ultra-Massive MIMO) та оптичні/квазіоптичні антенні системи для компенсації втрат у THz-діапазоні. Архітектуру впровадження AI/ML на рівнях RAN та Core для автономної оптимізації мережі (Self-Organizing Networks — SON, AI-Native RAN). Сучасні методи динамічного та адаптивного управління радіоресурсами (Radio Resource Management — RRM) для забезпечення вимог URLLC/eMBB. Алгоритми AI/ML для відстеження високошвидкісних об'єктів, прогнозування доплерівського зсуву та оптимізації перемикання променів (Beam Management).

Вміти: Аналізувати вплив Carrier Aggregation та розширення смуги частот на пропускну здатність, спектральну ефективність та затримки в мережі. Розраховувати енергетичні бюджети ліній (Link Budget) та оцінювати граничну дальність зв'язку у суб-THz і THz діапазонах з урахуванням атмосферного поглинання. Порівнювати можливості 5G, 5G-Advanced та 6G щодо обслуговування високодинамічних сценаріїв (високошвидкісний залізничний транспорт, БПЛА, V2X-мережі). Обґрунтовувати доцільність впровадження моделей AI/ML для оптимізації процедур хендоверу, оцінки каналу (CSI Prediction) та оптимізації енергоспоживання базових станцій і терміналів. Формувати технічні рішення щодо підвищення стійкості та надійності радіозв'язку в умовах швидкої зміни топології та ЕМО за рахунок гібридизації діапазонів (Sub-6 GHz + mmWave/THz). Аналізувати та обирати архітектуру покриття (Cell-Free Massive MIMO, RIS) для усунення «сліпих» зон у високошвидкісних та мобільних середовищах.

Формування компетенцій: ЗКЗ, ЗК4, ЗК8, ЗК9, ПК1, ПК3, ПК4, ПК10, ПК15, ПК16, ПК17, ПК19

Програмні результати навчання: ПРН4, ПРН5, ПРН11, ПРН14, ПРН15, ПРН16, ПРН23, ПРН24, ПРН25

Рекомендовані джерела: 1-10

Заняття 9.1 ключові напрями еволюції мобільних мереж у межах 5G-Advanced (3GPP Release 18/19+) та закладання фундаментальних основ систем 6G. Розглядаються фізичні та технічні особливості освоєння суб-терагерцового (sub-THz) і терагерцового (THz) діапазонів частот, технології агрегації несучих (Carrier Aggregation), крайніх ступенів багаторазового розширення смуги та інтелектуальних поверхонь (RIS), впровадженню алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання (AI/ML) для адаптивного управління радіоресурсами (RRM), прогнозування стану динамічного радіоканалу, оптимізації покриття, зниження затримок і підвищення стійкості зв'язку з високомобільними об'єктами.	Лекція 9		Пояснювально-ілюстративний, лекція-візуалізація, бліц опитування
Заняття 9.2 Моделі поширення радіохвиль за рекомендаціями ITU-R	Практичне заняття 12 2 год	5 балів	Усне опитування, виконання завдань на практичне застосування знань і вмінь, тестування

САМОСТІЙНА РОБОТА

Особливості радіоканалу при високій мобільності об'єктів <i>Розглядаються зміни параметрів радіоканалу при швидкому русі абонентів і об'єктів, вплив доплерівського зсуву, багатопроменевості та замирань на якість зв'язку.</i>	6 год	1 бали	Вивчити: моделі радіоканалу для високошвидкісного руху та основні механізми деградації сигналу. Розглянути: вплив швидкості об'єкта на затримку, спектральну ефективність і ймовірність помилки. Дослідити: методи компенсації ефектів високої мобільності в системах LTE та 5G. Зробити: порівняльну таблицю параметрів радіоканалу для різних швидкостей руху.
--	-------	--------	---

Механізми хендоверу в сучасних мережах мобільного зв'язку <i>Опис процедури передачі обслуговування (handover) у мережах 4G/5G. Аналізуються типи хендоверу та фактори, що впливають на його успішність при русі об'єктів.</i>	6 год	1 бали	Вивчити: класифікацію хендоверів (intra-frequency, inter-frequency, inter-RAT) та алгоритми прийняття рішення. Розглянути: критерії запуску хендоверу та параметри вимірювань радіоканалу. Дослідити: особливості хендоверу в умовах високої мобільності та щільної забудови. Зробити: схему процесу хендоверу з позначенням ключових сигнальних повідомлень.
Технології Massive MIMO та beamforming у системах з рухомими об'єктами <i>Аналізується застосування Massive MIMO та формування променів для підвищення якості зв'язку з рухомими абонентами. Переваги технології в умовах багатопроменевості.</i>	6 год	1 бали	Вивчити: принципи роботи Massive MIMO та основні алгоритми beamforming. Розглянути: вплив кількості антенних елементів на пропускну здатність і покриття. Дослідити: особливості відстеження променів (beam tracking) при русі об'єкта. Зробити: короткий аналіз переваг і обмежень Massive MIMO для сценаріїв високої мобільності.
Планування радіомереж для рухомих об'єктів <i>Основи планування радіомереж з урахуванням особливостей території, характеру руху та вимог до покриття, визначення кількості базових станцій, зон обслуговування та необхідних енергетичних параметрів.</i>	6 год	1 бали	Вивчити: принципи радіопланування, зону обслуговування, радіопокриття, параметри базової станції, енергетичний бюджет і критерії якості мережі. Розглянути: вплив рельєфу та забудови на покриття, особливості планування для автомобільного й залізничного транспорту, залежність покриття від висоти та характеристик антен. Дослідити: вплив параметрів БС на розмір зони обслуговування, зміну якості зв'язку вздовж маршруту та проблеми зон перекриття між сотами. Зробити: схему планування покриття заданої території, визначити орієнтовну кількість БС і ділянки можливого погіршення зв'язку.
Управління радіоресурсами та адаптивна модуляція в мережах 5G <i>Методи динамічного розподілу радіоресурсів і адаптації параметрів передавання, забезпеченню якості зв'язку при зміні умов каналу.</i>	6 год	1 бали	Вивчити: принципи адаптивної модуляції та кодування (AMC) у LTE/5G. Розглянути: алгоритми розподілу частотно-часових ресурсів і регулювання потужності. Дослідити: вплив швидкості зміни каналу на ефективність адаптації. Зробити: приклад розрахунку вибору схеми модуляції залежно від SNR.
Інтеграція наземних і неназемних мереж (NTN) для зв'язку з рухомими об'єктами	6 год	1 бали	Вивчити: архітектуру NTN у стандарті 5G та типи супутникових орбіт.

<i>Можливості спільного використання наземних і супутникових сегментів, сценарії забезпечення безперервного зв'язку для високомобільних об'єктів.</i>			Розглянути: проблеми затримки, доплерівського зсуву та хендверу між наземним і супутниковим сегментами. Дослідити: сценарії застосування NTN для авіації, морського та сухопутного транспорту. Зробити: порівняльну таблицю характеристик наземних і супутникових каналів.
Завадостійкість і методи боротьби з інтерференцією в мобільних мережах <i>Аналіз джерел внутрішньої системної і зовнішньої завади у мережах мобільного зв'язку, сучасних методів зменшення інтерференції.</i>	6 год	1 бали	Вивчити: основні види інтерференції (ICI, co-channel, adjacent-channel) та їх вплив на якість зв'язку. Розглянути: технології ICIC, eICIC, CoMP та застосування AI/ML для управління завадами. Дослідити: ефективність методів боротьби з завадами в умовах високої щільності абонентів. Зробити: схему класифікації методів зменшення інтерференції з коротким описом кожного.
Інтелектуальні технології оптимізації систем мобільного зв'язку <i>Можливості застосування методів штучного інтелекту та машинного навчання для адаптації мобільної мережі до змінних умов роботи, перспективи інтелектуального управління радіоресурсами, прогнозування навантаження та оптимізації параметрів мережі.</i>	6 год	1 бали	Вивчити: основні поняття AI/ML у телекомунікаційних мережах; принципи прогнозування стану радіоканалу; можливості інтелектуального управління радіоресурсами; основні показники ефективності інтелектуальних алгоритмів. Розглянути: застосування МН для прогнозування навантаження; автоматичний вибір параметрів радіопередавання; оптимізацію handover та розподілу ресурсів; можливості AI/ML для підвищення енергоефективності мережі. Дослідити: можливість прогнозування зміни якості радіоканалу; ефективність інтелектуального розподілу ресурсів; перспективи використання AI/ML у 5G-Advanced та майбутніх мережах. Зробити: схему структури ІС управління радіоресурсами; блок-схему алгоритму прогнозування якості каналу; порівняти традиційний та інтелектуальний підходи до оптимізації мережі.

Мультимедійний проєктор;

Комп'ютерний клас для проведення практичних занять.

Навчальні лабораторія №133, 101, 111 Антенне поле, Мобільного зв'язку.

Призначення навчальної лабораторії:

1. Проведення практичних занять по налаштуванню сучасних систем мобільного зв'язку;

2. Набуття студентами знань і навичок по експлуатації та проєктуванню мобільної мережі.

3. Мобільна платформа 3-го покоління стандарту CDMA 2000 компанії ZTE, мобільна базова платформа стандарту GSM 900/1800 компанії Ericsson у складі: переносні приймально-передавальні пристрої станція RBS 2202, стійка передачі даних та радіорелейна лінія на базі двох PPC Mini-Link-E, Мобільна базова платформа стандарту GSM900/1800компанії SIEMENS у складі: блок транскодування та адаптації швидкості передачі(між MSC и BSC), контролер базових станцій. BSC-68, базова станція (BTS) BS-240, радіоблоки Nokia Flexihopper 38DMotorola TLKR T80.

4. Науковий центр Eutelsat: для налаштування супутникового двостороннього ширококутового інтернету кафедра має новітнє обладнання, що відповідає вимогам роботодавців, а саме: супутникові антени TooWay (Ka-cat); ETRIA-3W Transceiver basic KA-SAT; супутникові модеми Viasat Surbfeam. Для налаштування супутникового телебачення насупутники AMOS, Astra (Sirius), HotBird: супутникові антени; конвертери; комутатори Diseq; тюнери; професійне обладнання Openbox монітори.

Програмне забезпечення: спеціалізоване програмне забезпечення для проведення практичних та лабораторних робіт: MATLAB 2023 - пакет прикладних програм для вирішення завдань технічних обчислень, а також мова програмування; Cisco Packet Tracer - це багатофункціональна програма моделювання мереж, яка дозволяє експериментувати з поведінкою мережі і оцінювати можливі сценарії, Multisim – програмне забезпечення поромислового стандарту яке підтримує більше 2000 SPICE-моделей компонентів для моделювання і програмування схем аналогової і цифрової електроніки, Simulink – графічне середовище імітаційного моделювання динамічних систем; Mathcad 15 - система комп'ютерної алгебри орієнтована на підготовку інтерактивнихдокументів з обчисленнями і візуальним супроводженням, направлена виконувати,аналізувати інженерні розрахунки; Microsoft office 2023 - набір додатків, призначених для обробки електронної документації, Electronics Workbench - система схемотехнічного моделювання і аналізу електричних схем, P-CAD – система автоматизованого проєктування печатних плат, GNU Octave - система для виконання математичних розрахунків, що надає інтерпретовану мову, багато в чому сумісну з Matlab. GNU Octave може використовуватися для розв'язування лінійних, нелінійних та диференціальних рівнянь, обчислень з використанням комплексних чисел і матриць, візуалізації даних, проведення математичних експериментів.

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Обов'язкові для ознайомлення джерела

1. Галаган Н.В., Блаженний Н.В. Сучасні супутникові технології. Київ.: ДУІКТ. - 2025.- 82 с.
2. І. К. Нестеренко. Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів та радіочастотний менеджмент. Частина І. Менеджмент електромагнітного спектра: навч. посіб. К.: ВІТІ, 2026. 127 с.
3. Системи мобільного зв'язку. Застосування засобів мобільного зв'язку [Електронний ресурс]: навч. посіб. / Головін Ю.О. та ін. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. — 187 с.
4. Кравчук С.О. Теорія систем мобільних інфокомунікацій. Системна архітектура : навч. посіб. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. — 682 с.
5. Планування та оптимізація систем стільникового мобільного зв'язку [Електронний ресурс] : навч. посіб. / В. М. Безрук, В. В. Ємельянов, Д. В. Чеботарьова та ін. ; за заг. ред. В. М. Безрука. — Харків : ХНУРЕ, 2024. — 337 с.
6. Dahlman E., Parkvall S., Sköld J. 5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology. 2nd Edition. — Academic Press, 2021.
7. Penttinen J. 5G Explained: Security and Deployment of Advanced Mobile Communications. — Wiley, 2019 (оновлені видання).
8. Климаш М.М., Максимюк Т.А., Бешлей М.І. Методи та моделі побудови гетерогенних мереж мобільного зв'язку 4G/5G. — Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2020–2022.
9. 3GPP Technical Specifications and Reports (Release 15–20, зокрема TS 23.401, TS 36.101, TS 38.xxx — 5G NR та 5G-Advanced). Офіційні документи: www.3gpp.org.
- 10.Рекомендації ITU-R, ETSI та звіти 5G Americas / GSMA (2023–2026) щодо 5G-Advanced та підготовки до 6G.

Додаткові для ознайомлення джерела

- 11.Соловська І.М., Розенвассер Д.М. Системи мобільного зв'язку : конспект лекцій. — Одеса, 2026. — 50 с.

12. Соловська І.М., Розенвассер Д.М. Навчально-методичні рекомендації до практичних занять та самостійної роботи з дисципліни «Системи мобільного зв'язку». — Одеса, 2026. — 25 с.
13. Кравчук С.О., Афанасьєва Л.О., Міночкін Д.А., Кравчук І.М. Поширення радіохвиль в зоні покриття безпроводових мереж зв'язку : навч. посіб. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. — 107 с.
14. Ніколаєнко Б.А., Пелешок Є.В. Сучасні супутникові системи зв'язку : навч. посіб. — Київ : ІСЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. — 146 с.
15. Marriwala N.K. et al. Mobile Radio Communications and 5G Networks. — Springer, 2025.
16. Taid R. Mobile Communications Systems Development: A Practical Introduction to System Understanding, Implementation and Deployment. — Wiley, 2021.
17. Електронна бібліотека ДУІКТ.

ПОЛІТИКА КУРСУ («ПРАВИЛА ГРИ»)

- Курс передбачає роботу в колективі.
- Середовище в аудиторії є дружнім, творчим, відкритим до конструктивної критики.
- Освоєння дисципліни передбачає обов'язкове відвідування лекцій і практичних занять, а також самостійну роботу.
- Самостійна робота включає в себе теоретичне вивчення питань, що стосуються тем лекційних занять, які не ввійшли в теоретичний курс, або ж були розглянуті коротко, їх поглиблена проробка за рекомендованою літературою.
- Усі завдання, передбачені програмою, мають бути виконані у встановлений термін.
- Якщо студент відсутній з поважної причини, він презентує виконані завдання під час самостійної підготовки та консультації викладача.
- Під час роботи над завданнями не допустимо порушення академічної доброчесності: при використанні Інтернет ресурсів та інших джерел інформації студент повинен вказати джерело, використане в ході виконання завдання. У разі виявлення факту плагіату студент отримує за завдання 0 балів.
- Студент, який спізнився, вважається таким, що пропустив заняття з неповажної причини з виставленням 0 балів за заняття, і при цьому має право бути присутнім на занятті.
- За використання телефонів і комп'ютерних засобів без дозволу викладача, порушення дисципліни студент видаляється з заняття, за заняття отримує 0 балів.

КРИТЕРІЇ ТА МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ

Умовою допуску до підсумкового контролю є виконання всіх практичних робіт і виконання самостійних завдань, які передбачені структурою освітньої компоненти Дослідження операцій.

Якщо студента не допущено до складання заліку, як такого, що не виконав індивідуальний план, йому надається час до перескладання для виконання всіх вимог допуску. Студент має право на два перескладання. При повторному перескладанні заліку його у студента може приймати комісія, яка створюється директором ННІТ. Оцінка комісії є остаточною. У випадку отримання студентом 0 балів (неприйнятно), що тягне відрахування за невиконання навчального плану.

Оцінювання студентів здійснюється за накопичувальною 100-бальною системою і складається із двох основних оцінкових блоків і розподіляється в певних пропорціях 60 (бали напрацьовані під час вивчення дисципліни – Поточний контроль), 40 (підсумкове оцінювання - Іспит

Форми контролю	Види навчальної роботи	Оцінювання
ПОТОЧНИЙ КОНТРОЛЬ	Виконання практичних робіт, робота на заняттях:	50 балів
	- присутність на заняттях (при пропусках занять з поважних причин допускається відпрацювання пройденого матеріалу)	за кожне відвідування 1 бал
	- участь у експрес-опитуванні	за кожну правильну відповідь 0,25 бала
	- доповідь з презентацією за тематикою самостійного вивчення дисципліни (оцінка залежить від повноти розкриття теми, якості інформації, самостійності та креативності матеріалу, якості презентації і доповіді), підготовка реферату	за кожну презентацію (реферат) максимум 3 бали
	- усне опитування, тестування, рішення практичних задач	за кожну правильну відповідь 0,5 бала
	- участь у навчальній дискусії, обговоренні ситуаційного завдання	за кожну правильну відповідь 2 бали
	- участь у діловій грі	кожну участь 1 бал

	Самостійна робота	8 балів	
РУБІЖНЕ ОЦІНЮВАННЯ (МОДУЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ)	Модульний контроль «ОСНОВИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ МОБІЛЬНОГО ЗВ’ЯЗКУ З РУХОМИМИ ОБ’ЄКТАМИ»	максимальна оцінка – 10 балів	
ПІДСУМКОВЕ ОЦІНЮВАННЯ <i>Ispit</i>	Іспит проходить у письмовій (тест) формі.	40 балів	
Додаткова оцінка			
Види навчальної роботи		Оцінювання	
Участь у наукових конференціях, підготовка наукових публікацій за тематикою освітньої компоненти:			
Тези доповіді на фаховій конференції		3 бали	
Стаття у фаховому виданні		5 балів	
Стаття в іноземному рецензованому виданні		10 балів	
Максимальна кількість додаткових балів, які можуть бути зараховані здобувачу освіти - 10 балів.			
ПІДСУМКОВА ОЦІНКА ЗА ДИСЦИПЛІНУ			
бали	Критерії оцінювання	Рівень компетентності	Оцінка /запис в екзаменаційній відомості
90-100	Студент демонструє повні й міцні знання навчального матеріалу в обсязі, що відповідає робочій програмі дисципліни, правильно й обґрунтовано приймає необхідні рішення в різних нестандартних ситуаціях. Вміє реалізувати теоретичні положення дисципліни в практичних розрахунках, аналізувати та співставляти дані об’єктів діяльності фахівця на основі набутих з даної та суміжних дисциплін знань та умінь. Знає сучасні технології та методи розрахунків з даної дисципліни. За час навчання при проведенні практичних занять, при виконанні індивідуальних / контрольних завдань проявив вміння самостійно вирішувати поставлені завдання, активно включатись в дискусії, може відстоювати власну позицію в питаннях та рішеннях, що розглядаються. Зменшення 100-бальної оцінки може бути пов’язане з недостатнім розкриттям питань, що стосується дисципліни, яка вивчається, але виходить за рамки об’єму матеріалу, передбаченого робочою програмою, або студент проявляє невпевненість в тлумаченні теоретичних положень чи складних практичних завдань.	Високий Повністю забезпечує вимоги до знань, умінь і навичок, що викладені в робочій програмі дисципліни. Власні пропозиції студента в оцінках і вирішенні практичних задач підвищує його вміння використовувати знання, які він отримав при вивченні інших дисциплін, а також знання, набуті при самостійному поглибленому вивченні питань, що відносяться до дисципліни, яка вивчається.	Відмінно / Зараховано (А)
82-89	Студент демонструє гарні знання, добре володіє матеріалом, що відповідає робочій програмі дисципліни, робить на їх основі аналіз можливих ситуацій та вміє застосовувати теоретичні положення при вирішенні практичних задач, але допускає окремі неточності. Вміє самостійно виправляти допущені помилки, кількість яких є незначною. Знає сучасні технології та методи розрахунків з даної дисципліни. За час навчання при проведенні практичних занять, при виконанні індивідуальних / контрольних завдань та поясненні прийнятих рішень, дає вичерпні пояснення.	Достатній Забезпечує студенту самостійне вирішення основних практичних задач в умовах, коли вихідні дані в них змінюються порівняно з прикладами, що розглянуті при вивченні дисципліни	Добре / Зараховано (В)

75-81	Студент в загальному добре володіє матеріалом, знає основні положення матеріалу, що відповідає робочій програмі дисципліни, робить на їх основі аналіз можливих ситуацій та вміє застосовувати при вирішенні типових практичних завдань, але допускає окремі неточності. Вміє пояснити основні положення виконаних завдань та дати правильні відповіді при зміні результату при заданій зміні вихідних параметрів. Помилки у відповідях/рішеннях/ розрахунках не є системними. Знає характеристики основних положень, що мають визначальне значення при проведенні практичних занять, при виконанні індивідуальних / контрольних завдань та поясненні прийнятих рішень, в межах дисципліни, що вивчається.	Достатній Конкретний рівень, за вивченим матеріалом робочої програми дисципліни. Додаткові питання про можливість використання теоретичних положень для практичного використання викликають утруднення.	Добре / Зараховано (C)
64-74	Студент засвоїв основний теоретичний матеріал, передбачений робочою програмою дисципліни, та розуміє постанову стандартних практичних завдань, має пропозиції щодо напрямку їх вирішень. Розуміє основні положення, що є визначальними в курсі, може вирішувати подібні завдання тим, що розглядалися з викладачем, але допускає значну кількість неточностей і грубих помилок, які може усувати за допомогою викладача.	Середній Забезпечує достатньо надійний рівень відтворення основних положень дисципліни	Задовільно / Зараховано (D)
60-63	Студент має певні знання, передбачені в робочій програмі дисципліни, володіє основними положеннями, що вивчаються на рівні, який визначається як мінімально допустимий. З використанням основних теоретичних положень, студент з труднощами пояснює правила вирішення практичних/розрахункових завдань дисципліни. Виконання практичних / індивідуальних / контрольних завдань значно формалізовано: є відповідність алгоритму, але відсутнє глибоке розуміння роботи та взаємозв'язків з іншими дисциплінами.	Середній Є мінімально допустимим у всіх складових навчальної програми з дисципліни	Задовільно / Зараховано (E)
35-59	Студент може відтворити окремі фрагменти з курсу. Незважаючи на те, що програму навчальної дисципліни студент виконав, працював він пасивно, його відповіді під час практичних робіт в більшості є невірними, необґрунтованими. Цілісність розуміння матеріалу з дисципліни у студента відсутня.	Низький Не забезпечує практичної реалізації задач, що формуються при вивченні дисципліни	Незадовільно з можливістю повторного складання) / Не зараховано (FX) <i>В залікову книжку не представляється</i>
1-34	Студент повністю не виконав вимог робочої програми навчальної дисципліни. Його знання на підсумкових етапах навчання є фрагментарними. Студент не допущений до здачі екзамену/заліку.	Незадовільний Студент не підготовлений до самостійного вирішення задач, які окреслює мета та завдання дисципліни	Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням / Не допущений (F) <i>В залікову книжку не представляється</i>

ДОТРИМАННЯ ВИМОГ АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ

Викладання та засвоєння навчальної дисципліни передбачає неухильне дотримання вимог академічної доброчесності, яка регулюється Законом України “Про освіту” (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2014, № 37-38, ст.2004), «Методичними рекомендаціями для закладів вищої освіти з підтримки принципів академічної доброчесності» (Лист МОН № 1/9-650 від 23.10.18 року), іншими нормативними документами. Зокрема, основні засади дотримання академічної доброчесності визначено у «КОДЕКС АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ від 14.08.2023 р., № 111. Відповідно до ст.42 Закону України “Про освіту” академічна доброчесність - це сукупність етичних принципів та визначених законом правил, якими мають керуватися учасники освітнього процесу під час навчання, викладання та провадження наукової (творчої) діяльності з метою забезпечення довіри до результатів навчання та/або наукових (творчих) досягнень.

Дотримання академічної доброчесності передбачає:

- самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання (для осіб з особливими освітніми потребами ця вимога

застосовується з урахуванням їхніх індивідуальних потреб і можливостей);

- посилання на джерела інформації у разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей;

- дотримання норм законодавства про авторське право і суміжні права;

- надання достовірної інформації про результати власної навчальної (наукової, творчої) діяльності, використані методики досліджень і джерела інформації.

ПОЛІТИКА ДОБРОЧЕСНОСТІ

Здобувач вищої освіти виконуючи самостійну або індивідуальну роботу повинен дотримуватись політики доброчесності. У разі наявності плагіату в будь яких видах робіт Здобувача, він отримує незадовільну оцінку і повинен повторно виконати завдання, які передбачені у Силабусі.