

С И Л А Б У С
ВИБІРКОВОЇ ДИСЦИПЛІНИ ДЛЯ АСПІРАНТІВ
Інститут радіофізики і електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України

Назва дисципліни		Вибрані питання сучасної експериментальної радіофізики
Кількість кредитів		5
Рівень вищої освіти		третій (освітньо-науковий) рівень
Статус		вибірковий курс
Період викладання		другий рік навчання, четвертий семестр
Відповідальний за курс		Черпак Микола Тимофійович, д.ф.-м. н. професор
Контактна інформація		cherpak@ire.kharkov.ua; n.t.cherpak@gmail.com моб. тел. 096 783 3561
Номер та назва розділу	Викладач	Зміст
I. Поширення радіохвиль у природному середовищі	Миценко Ігор Михайлович, д. ф.-м. н., с.н.с.	<u>Знання</u> 1. Вступ Історія досліджень поширення радіохвиль у природному середовищі. Вклад в становлення цього наукового напрямку ІРЕ ім. О.Я.Усикова НАН України. Аналіз досягнутого рівня досліджень та головні результати. 2. Особливості поширення радіохвиль над океанською поверхнею. Умови поширення радіохвиль за межі радіогоризонту та їх зв'язок з фізичними процесами в привидному шарі тропосфери. 3. Дослідження дистанційних залежностей множника ослаблення радіохвиль метрового, дециметрового та сантиметрового діапазонів у Світовому океані. Методики визначення дистанційних залежностей множника ослаблення радіохвиль. Вимірювальні приймально-передавальні комплекси з імпульсним і безперервним випромінюванням. Результати експериментальних досліджень. Дослідження загоризонтного поширення радіохвиль поля прямого сигналу в період сонячного затемнення. 4. Радіолокаційне спостереження надводних об'єктів. Методика досліджень і апаратура. Результати досліджень та їх аналіз. Використання результатів радіофізичних досліджень для вирішення радіолокаційних завдань. <u>Вміння</u> 1. Знати основні механізми поширення радіохвиль за межі радіо горизонту. 2. Вміти визначити індекс рефракції N через метеорологічні параметри атмосфери.

		3. Вміти визначити повне ослаблення сигналів на трасі поширення. 4. Вміти визначити модифікаційний індекс рефракції. 5. Вміти визначити дальність дії РЛС з відомим енергопотенціалом, дистанційною залежністю ослаблення ЕПР надводного об'єкта. 6. Знати як використати результати радіофізичних досліджень для вирішення прикладних завдань. <u>Література</u> 1. Хитни Г.В., Рихтер Ю.Х., Папперт Р.А., Андерсон К.Д., Баумгартнер Дж. Б. Распространение радиоволн в тропосфере. Обзор ТИИЭР, 1985-т.73, №2.-с.106-128. 2. Дальнее тропосферное распространение УКВ. Под. редакцией Б.А. Введенского и др. М., Сов. Радио, 1965. -415 с. 3. Мыценко И.М., Загоризонтное распространение УКВ над Мировым океаном. Харьков, V lavke, 2016. -162 с. 4. Радиофизические исследования Мирового океана: Сб. научных трудов / НАН Украины. Институт радиофизики и электроники –Хар.ков. 1992.-220 с.
П. Фізика метаматеріалів	Полевой Сергей Юрійович, д. ф.-м. н., с.н.с.	<u>Знання:</u> 1. Штучні електродинамічні матеріали. Класифікація метаматеріалів. Матеріальні параметри природних і штучних середовищ. Фізична природа діелектричної проникності та природа її дисперсії. Закон Друде для природних матеріалів і для метаматеріалів. Магнітна проникність та джерела її дисперсії. Магнітна проникність поблизу електронного спінового резонансу. Рішення феноменологічного рівняння Блоха для магнітного моменту. Поняття штучних діелектриків та штучних магнетиків. Поняття негативних і позитивних значень матеріальних параметрів штучних середовищ. Методики проведення експерименту та установки для експериментальних досліджень електромагнітних властивостей штучних електродинамічних матеріалів в відкритому просторі та в хвилеводах, у тому числі в зовнішньому магнітному полі. 2. Фотонні кристали (ФК): зонна структура спектру в фотонних і в природних кристалах. Формування зонної структури енергетичного спектру природного матеріалу. Дисперсійне рівняння для ФК. Формування зонної структури частотного спектру фотонного кристала. Просторово обмежений ФК. Метод матриць передачі. Хвиля Блоха в одновимірному фотонному кристалі.

		Магнітофотонний кристал. Звичайні і незвичайні хвилі. Стан Тамма як приклад поверхневого стану. Експериментальні дослідження спектральних властивостей ФК та магнітофотонних кристалів. Планарні фотонні кристали. Експериментальне детектування рідин за допомогою планарних ФК з дефектом. Оптична активність у фізиці твердого тіла та електродинаміці. Кіральні фотонні кристали. Експериментальні дослідження спектральних та поляризаційних властивостей кіральних ФК та магнітофотонних кристалів. 3. Лівобічні метаматеріали: негативна діелектрична проникність та її природа в природних і штучних середовищах. Негативна магнітна проникність і її природа в природних і штучних середовищах. Лівобічне середовище. Формування прозорості штучного середовища. Формування зворотної хвилі в одновимірному шаруватому метаматеріалі. Експериментальні дослідження можливості керування хвилею в лівобічному матеріалі в хвилеводному виконанні. Лівобічний кіральний метаматеріал. <u>Вміння:</u> <u>Знати:</u> Головні закони взаємодії електромагнітного поля із ансамблем атомів твердого тіла (в класичному наближенні) та з типовими електродинамічними структурами ("штучними атомами"), що є основою класичних метаматеріалів в електродинаміці. <u>Вміти:</u> Розв'язувати хвильове рівняння, побудова зонної структури спектра – для класичних випадків задач збудження електромагнітних хвиль в штучних матеріалах, а саме – в фотоннокристалічних структурах. <u>Питання для самостійної роботи:</u> Плазмоподібні середовища на основі масивів металевих елементів, що використовуються метаматеріалах та метаповерхнях НВЧ діапазону. Керування спектральними властивостями метаматеріалів та метаповерхонь за допомогою механічного впливу та зовнішнього магнітного поля. <u>Основна література</u> 1. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн, М.: Наука 1983, 608с. 2. K. Inoue, K. Ohtaka, Photonic crystals, Springer, 320 p, m 2004 3. Ф.Г. Басс, А.А. Булгаков, А.П. Тетервов, Высокочастотные свойства полупроводников со сверхрешетками, М.» Наука».1989 г., 287 стр.
--	--	---

		4. R. Marcos, F. Martin, M. Sorrola, Metamaterials with Negative Parameters, Willey, 267p., 2007, 5. K. Busch, S. Lolkes, R. Wehrspolnetc., Photonic Crystals, (Advances in Design Fabrication Characterization), Wiley 2004, 354 p. 6. A. Serdukov, I. Semchenko, A. Sihvola, Electromagnetics of Bi-anisotropic Materials: Theory and Applications, Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers, 2001, 337p. 7. Quantum Electornics. A.Yariv, Wiley&Sons 1988, 676с. 8. М. Борн, Э Вольф, Основы оптики, Наука, 1973, 719 стр 9. S.I. Tarapov, Yu. P. Machekhin, A.S. Zamkovoy. Magnetic Resonance for Optoelectronic Materials Investigating. Kharkov: Collegium, 2008, 144 p., ISBN 978-966-8604-42-3. <u>Додаткова література</u> 1. Microwaves in Dispersive Magnetic Composite Media (Review Article), S.I. Tarapov and D.P. Belozorov, Low Temperature Physics, 2012, v.38, N.7, p.766-792. 2. Resonant Response in Mechanically Tunable Metasurface Based on Crossed Metallic Gratings with Controllable Crossing Angle, V. Yachin, L. Ivzhenko, S. Polevoy, and S. Tarapov, Applied Physics Letters, 2016, v.109, pp.221905 (1-4). 3. Mechanically Tunable Wire Medium Metamaterial in the Millimeter Wave Band, L. Ivzhenko, E. Odarenko, and S.I. Tarapov, PIERL, 2016, v. 64, p. 93-98. 4. Surface electromagnetic states in the photonic crystal–ferrite–plasma-like medium structure, Yu. O. Averkov, S.I. Tarapov, A.A. Kharchenko, and V.M. Yakovenko, Low Temp. Phys. 2014, 40, p. 667-674.
III. Надпровідникова радіофізика	Черпак Микола Тимофійович д.-ф. м. н., проф., Губін Олексій Іванович, к. ф.-м. н., с.н.с.	<u>Знання:</u> 1. Вступ. Основні експериментальні факти фізики надпровідності. Квантування магнітного потоку. Відмінності основних фізичних властивостей надпровідників і нормальних провідників. Основи феноменологічних теорій (Лондонів, Гінзбурга-Ландау) і мікроскопічної теорії (БКШ) надпровідності. 2. Надпровідники у мікрохвильових електромагнітних полях. Концепція мікрохвильового поверхневого імпедансу провідників. Поверхневий імпеданс надпровідників, залежність від температури і частоти. Співвідношення поверхневого імпедансу і комплексної провідності надпровідників. Експериментальна техніка для вимірювання поверхневого імпедансу надпровідників, зокрема ВТНП. Проблема вимірювання поверхневого реактансу. Імпеданс тонких плівок. Ефекти нелінійного імпедансу надпровідників та методи їх вимірювання. Критерій нелінійності.

		3. Основи надпровідникової радіофізики. Мікрохвильові лінії передачі на основі ідеального металу, нормального металу і надпровідника; порівняння. Пасивні прилади: Резонатори, фільтри, мультиплексери. Квазічастинкове тунелювання, ВАХ. Туннельна спектроскопія. Активні прилади: квантові детектори та частотні змішувачі (міксери), їх значення для субТГц радіофізики. Квантова межа шумової температури. Ефекти Джозефсона. Модель Фейнмана і закон збереження енергії. Внутрішній ефект Джозефсона в ВТНП структурах. Джозефсонівські генератори. Декілька слів про сквіди як прилади, які не мають аналогів на основі інших матеріалів. <u>Вміння:</u> 1. Знати основні фізичні, зокрема електричні, магнітні та електромагнітні властивості надпровідників. 2. Вміти визначати мікрохвильовий поверхневий імпеданс надпровідних плівок за результатами вимірювання добротності та частотного зсуву резонатора з надпровідником. Чітко уявляти проблему вимірювання поверхневого реактансу. 3. Вміти визначати комплексну провідність надпровідників із вимірювання поверхневого імпедансу. 4. Вміти аналізувати хвилеводні та резонаторні структури, що створюються на основі надпровідників, зокрема ВТНП. <u>Основна література</u> 1. В.В. Шмидт, Введение в физику сверхпроводников, МЦНМО, М., 2000 2. Zhi-Yan Shen, High-Temperature Superconducting Microwave Circuits, Artech House, Boston-London, 1994. 3. M. Lancaster, Passive Microwave Device Applications of High-Temperature Superconductors, Cambridge, 1997. 4. I.B. Vendik, O.G. Vendik, High Temperature Superconductor Devices for Microwave Signal Processing, parts I, II and III, SCLADEN Ltd, St.-Petersburg, 1997. <u>Додаткова література</u> 1. Баранник А. А., Губин А. И., Лавринович А. А., Черпак Н. Т., Микроволновая радиофизика необычных сверхпроводников, Радиофизика и электроника, т. 23, №4, с. 15-36, 2018. 2. О. А. Баранник, Квазіоптичні діелектричні резонатори з елементами незвичайних надпро-
--	--	--

		відників, доктор. дис. фіз.-мат. наук. ІРЕ ім. О.Я.Усикова, Харків, 2020. 3. S. M. Anlage, Microwave superconductivity, IEEE, Journal of Microwave, vol. 1, no 1, p. 389-402, 2021.
IV. Несинусоїдна електродинамі- ка, надширокосму- гові сигнали	Почанін Геннадій Петрович, к. ф.-м. н., с.н.с. Рубан Вадим Петрович, к. ф.-м. н., с.н.с.	<u>Знання:</u> 1. Особливості випромінювання надширокосмугових імпульсних електромагнітних полів. Визначення надширокосмугового (НШС) сигналу. Теоретичні методи розв'язання задач випромінювання, поширення та дифракції НШС імпульсних електромагнітних полів. Типи НШС сигналів. Властивості НШС імпульсних електромагнітних полів. 2. Надширокосмугові імпульсні антени. Особливості конструкції НШС антен. Характеристики антен. Методи визначення характеристик НШС імпульсних антен. 3. Генератори потужних імпульсних електричних сигналів. Методи накопичення енергії. Потужні швидкодіючі електричні ключі. 4. Поширення НШС імпульсів у природніх та штучних середовищах. Застосування НШС і імпульсних електромагнітних полів у радіолокації. Георадар. Типи георадарів. Принцип роботи. Апаратура для реєстрації коротких імпульсних сигналів <u>Вміння:</u> 1. Розуміння процесів, що відбуваються у антені при випромінювання електромагнітного поля. 2. Вміння розраховувати і вимірювати характеристики антен. 3. Розуміння принципів побудови георадарів. Вміння визначати основні елементи, блок-схеми, основні методи обробки георадіолокаційних сигналів. 4. Розуміння, як і якого типу георадар слід використовувати для певних завдань підповерхневої радіолокації з урахуванням електрофізичних властивостей середовища. <u>Література</u> 1. Harmuth, H. F. <i>Nonsinusoidal Waves for Radar and Radio Communication</i>. New York: Academic Press, 1981. 376 p. 2. Taflov A. <i>Computational electrodynamics: The finite-difference time-domain method</i>. – New York: Artech House, 1995. – 599 p. 3. Лазоренко О. В., Черногор Л. Ф. <i>Сверхширокополосные сигналы и физические процессы</i>. — Харьков: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2009. — 576 с. 4. Miller, E. K., & Landt, J. E. <i>“Direct Time-Domain Techniques for Transient Radiation and Scattering</i>

		<i>from Wires.</i>” Proceedings of the IEEE, Vol. 68, No. 11, Nov. 1980, pp. 1396-1423. 5. Astanin L.Yu., Kostylev A.A. Ultrawideband Radar Measurements: Analysis and Processing. London: The Institute of Electrical Engineers, 1997. 6. Подповерхностная радиолокация / М.И. Финкельштейн и др.; под. ред. М.И. Финкельштейна. М.: Радио и связь, 1994. 216с. 7. Daniels D.J. Ground penetrating radar. London: The Institution of Engineering and Technology, 2004. 8. Исследование объектов с помощью пикосекундных импульсов / Г.В. Глебович, А.В. Андриянов, Ю.В. Введенский, И.П. Ковалев, В.В. Крылов, Ю.А. Рябинин / Под ред. Г.В. Глебовича – М.: Радио и связь. – 1984. – 256 с. 9. Рябинин, Ю. А. Стробоскопическое осциллографирование. М.: Сов. Радио, 1972. 272 с. 10. Рамзей В. Частотно - независимые антенны. Пер. с англ. – М.:Мир, 1968. – 175 с. Додаткова література 1. Ground Penetrating Radar Theory and Applications / ed. by H. Jol. ELSEVIER, 2009. 524 p. – ISBN 978-0-444-53348-7 2. Harmuth H.F., Shao Dingrong Antennas for nonsinusoidal waves. I. Radiators // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 1983. – Vol.25, №1. – P.13–24. 3. Baum C.E. Intermediate field of an impulse – radiating antenna // Ultra–wideband short pulse electromagnetics 4. – New York: Kluwer Academic / Plenum Publishers. – 1999. – P.77–89. 4. Третьяков О.А. Эволюционные волноводные уравнения // Радиотехника и электроника. – 1989. – Т.34, №5. – С.917–926. 5. Mesyats G.A., Rukin S.N., Yalandin M.I. Generation of high–power subnanosecond pulses // Ultra–wideband short pulse electromagnetics 4. – New York: Kluwer Academic / Plenum Publishers. – 1999. – P.1–9. 6. Вычислительные методы в электродинамике / Под ред. Р.Миттры: Пер. с англ. – М.: Мир, 1977. – 485 с. Lukin K.A., Pochanin G.P., Masalov S.A. Large current radiator with avalanche transistor switch // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 1997. – Vol.39, №2. – P.156–160.
--	--	---

V. Квазіоптика та терагерцева радіофізика	Мізрахі Сергій Вікторович, к. ф.- м. н., с. н. с. Когут Олександр Євгенович д.ф.-м.н. проф.	<u>Знання:</u> 1. Вступ. Квазіоптика та терагерцеві технології у сучасній науці й техніці. Квазіоптика: історичні передумови й сучасні тенденції розвитку. Піонерські дослідження в області квазіоптики. Внесок радянських і українських учених в розробку й розвиток квазіоптичних терагерцевих технологій. Принципи й сучасні тенденції розвитку терагерцевої квазіоптики. 2. Основні засоби та методи генерування та приймання терагерцевих хвиль. Передача електромагнітної енергії хвилями та спрямованими квазіоптичними пучками; квазіоптичні лінії передачі. Хвилеводи класу «порожнистий діелектричний проміневід». Діелектричні, металодіелектричні, гофровані хвилеводи. Інші типи квазіоптичних ліній передачі. Порожнистий діелектричний проміневід (ПДП) - базова лінія передачі для створення радіовимірювальних приладів терагерцевого діапазону. Основні вимоги до базового проміневоду. Типи хвиль (моди) у ПДП. Загасання хвиль та модова самофільтрація у ПДП. 3. Функціональні квазіоптичні елементи і пристрої загального застосування на основі ПДП. Лінійний поляризуючий елемент. Роздільник пучка. Поляризаційний роздільник пучка. Принципи дії. Основні радіофізичні характеристики. Особливості конструкції. Параметри та область застосування. 4. Терагерцеві методи дослідження для найбільш важливих спеціальних застосувань. Діагностика плазми. Електродинамічне моделювання радіолокаційних характеристик розсіяння. Неруйнівний контроль матеріалів: еліпсометрія, рефлектометрія та спектроскопія внутрішнього відбиття, мікрохвильова томографія. <u>Вміння</u> 1. Знати основні фізичні властивості терагерцевої ділянки частот. Розуміти основні принципи квазіоптики та знати основні історичні досягнення у галузі. Уявляти сучасні тенденції розвитку. 2. Знання основних засобів та методів генерування та приймання терагерцевих хвиль. Знання основних видів ліній передачі електромагнітних хвиль терагерцевої ділянки частот. Розуміння принципів дії хвилеводів та квазіоптичних ліній передачі. 3. Знати принцип дії, конструктивні особливості і характеристики функціональних квазіоптичних елементів і пристроїв загального застосування. 4. Знання основних методів досліджень терагерцевої радіофізики для найбільш важливих спеціальних застосувань. <u>Основна література</u>
--	---	---

		1. Кулешов Е.М. Главы 7- 8 / Е. М. Кулешов // Электроника и радиофизика миллиметровых и субмиллиметровых радиоволн под ред. А.Я.Усикова – Киев: Наукова думка, 1986.–С.126--157. 2. P. F. Goldsmith, Quasioptical Systems: Gaussian Beam Quasioptical Propagation and Applications, Wiley-IEEE Press, 1998. 4. C. Yeh , F. I. Shimabukuro, The Essence of Dielectric Waveguides, Springer, 2008. 5. Генерация и усиление сигналов терагерцового диапазона / А. Г. Баланов, В. Д. Ерёмка, В. Е. Запевалов, А. Е. Храмов и др. – Саратов : Изд-во Саратов. гос. техн. ун-т. - 2016. - 460 с. ISBN 978-5-7433-3013-3. 6. Квазиоптические антенно-фидерные системы // Киселев В.К., Костенко А.А., Хлопов Г.И., Яновский М.С / Под ред. Г.И. Хлопова. – Харьков: ИПП «Контраст», 2013. – 408с. ISBN 978-966-8855-92-4. 7. Киселев В.К. Физическое моделирование электромагнитного рассеяния в квазиоптических направляющих структурах терагерцового диапазона /В.К. Киселев// Радиофизика и электроника. – Харьков: Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – 2008. – т. 13, спец. выпуск. – С. 359-376. 8. Конев В.А., Кулешов Е.М., Пунько Н.Н. Радиоволновая эллипсометрия / Под ред. И.С.Ковалева. - Минск: Наука и техника, 1985. - 104с. 9. Bahaa E. A. Saleh, Introduction to Subsurface Imaging, Cambridge, 2011. <u>Додаткова література:</u> 10. A. A. Kostenko, A. I. Nosich, and P. F. Goldsmith, “Historical background and development of Soviet quasioptics at near-mm and sub- mm wavelengths,” Chapter 15 in T. Sarkar (Ed.), History of Wireless, New York: Wiley, pp. 473-542, 2006. 11. T. L. Zinenko, “Yevgeny Mitrofanovich Kuleshov, 1922–2016 – His contribution to early sub-millimeter wave quasioptics,” Int. J. Microwave and Wireless Technologies, vol. 8, no 8, pp. 1129–1132, 2016. 12. Mizrakhy S. History and Perspectives of THz Components and Circuits Using Oversize Dielectric-Lined Waveguides / Sergey Mizrakhy // Proceedings of the 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), May 29 – June 2, 2017, Kyiv, Ukraine. –P. 198-201.
--	--	--

		13. A. A. Galuza, V. K. Kiseliov, I. V. Kolenov, A. I. Belyaeva, Y. M. Kuleshov, "Developments in THz-range ellipsometry: quasi-optical ellipsometer," IEEE Trans. on Terahertz Science and Technology, vol. 6, no. 2, pp. 183-190, 2016. 14. V. I. Bezborodov, V. K. Kiseliov, Y. M. Kuleshov, P.K. Nesterov, S.V. Mizrakhy, et al. "Sub-Terahertz quasi-optical reflectometer for CFRP surface inspection advanced materials research," Trans. Tech. Publications. Switzerland, vol. 664. pp. 547-550, 2013.
VI. Методи розв'язання зворотних некоректних задач обробки даних радіофізичних вимірювань	Мельник Сергій Іванович к. т. н., с.н.с.	<u>Знання:</u> 1. Загальний підхід до обробки експериментальних даних. Томографічні методи як узагальнений інформаційний підхід до обробки експериментальних даних. Специфіка та фізичні особливості радіофізичних вимірювань. Інформаційний аналіз радіофізичних сигналів та їх моделювання. Особливості первинної обробки даних радіофізичних вимірювань. 2. Класичні методи вирішення некоректних задач. Коректність зворотної задачі за Тихоновим. Стабілізуючий функціонал. Параметр регуляризації. Ітераційні алгоритми вирішення зворотних задач. Вінерівська фільтрація. 3. Нові інформаційні методики вирішення зворотних некоректних задач обробки даних. Інформаційна складність як узагальнення параметрів регуляризації. Вирішення зворотних некоректних задач за умов недоліку апіорної інформації. Обробка сигналів з великої дискретністю в інформаційному полі результатів. <u>Вміння:</u> 1. Вміння будувати математичну модель радіофізичних вимірювань. 2. Вміння розробити оптимальну схему вирішення зворотної некоректної задачі. 3. Вміння оптимізувати вибір параметру регуляризації згідно апіорної інформації щодо рішення зворотної задачі. 4. Вміння застосовувати загальний критерій мінімізації складності опису до вибору оптимального рішення зворотної некоректної задачі. <u>Література</u> 1. Якубов В.П. Статистическая радиофизика: Учебное пособие. Томск: Изд-во НТЛ, 2006. 2. Купер Дж., Макгиллем К. Вероятностные методы анализа сигналов и систем. М.: Мир, 1989.

		3. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных, М.: Мир, 1989, ISBN 5–03–001071–8. 4. Свешников А. Г. Математические методы в задачах анализа и синтеза слоистых сред / А. Г. Свешников, А. В. Тихонравов // Мат. моделирование – 1989. – 1, № 7. – С. 13–38. 5. Якубов В.П., Шипилов С.Э., Суханов Д.Я., Клоков А.В. Радиоволновая томография: достижения и перспективы: монография / Под ред. В.П. Якубова. Томск: Изд-во НТЛ, 2014. 264 с. 6. Якубов В.П., Машаруев М.Л. Метод двойной фокусировки для когерентной томографии неоднородных сред. // Известия вузов. Физика, 1997, №4, 87- 92. 7. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1979. 8. Василенко Г.И., Тараторин А.М. Восстановление изображений. М.: Радиоисвязь, 1986. Додаткова література 1. Tuluzov, I. and Melnyk, S. “Solution of problems of dynamics in the information space of states on the basis of the principle of complexity minimization”. Ukrainian Metrological Journal, [S.l.], n. 3, p. 15-18, Sep. 2017. 2. Melnik S.I., Melnik S.S. Reconstruction of images with large non-uniform increments. Telecommunications and Radio Engineering 75(8):719-732, January 2016 3. Мельник С.И., Миценко І. М. Можливості побудови томографічних вимірювань стану атмосфери на основі сигналів геостационарних супутників. Сборник тезисов XI Международной научно-технической конференции МЕТРОЛОГИЯ – 2018. 9–11 октября 2018 г. Харьков.
Звітність		<u>Екзамен</u>