

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет авіаційних і космічних систем**

ЗАТВЕРДЖУЮ

декан факультету

авіаційних і космічних систем
(назва інституту/факультету)

_____ О.В. Збруцький
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 2017 р.

_____ О.В. Збруцький
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

**ЧУТЛИВІ ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ-2
ЛАЗЕРНІ ГІРОСКОПИ. АКСЕЛЕРОМЕТРИ**

Код модуля ПП.В.21/2
(назва та код кредитного модуля)

**РОБОЧА ПРОГРАМА
кредитного модуля**

підготовки першого (бакалаврського) рівня
(назва рівня вищої освіти)

напряму (спеціальності) 6.051103 "Авіоніка"
(шифр і назва)

програми професійного спрямування (спеціалізації) "Системи керування літальними апаратами та комплексами"
(шифр і назва)

форми навчання денна _____
(денна/заочна)

Ухвалено методичною комісією
факультету авіаційних і
космічних систем
(назва інституту/факультету)

Протокол від _____ 20__ р. № ____

Голова методичної комісії

_____ Ю.В. Бобков
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

Київ – 2017

Робоча програма кредитного модуля Чутливі елементи систем керування літальних апаратів-2. Лазерні гіроскопи. Акселерометри
(назва кредитного модуля)

для студентів напряму підготовки (спеціальності) 6.051103 "Авіоніка", програми професійного спрямування (спеціалізації) "Системи керування літальними апаратами та комплексами", рівня вищої освіти першого (бакалаврського), за денною формою навчання складена відповідно до програми навчальної дисципліни Чутливі елементи систем керування літальних апаратів
(назва навчальної дисципліни)

Розробники робочої програми:

доцент, к.т.н., доцент Черняк М.Г.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

доцент, к.т.н., доцент Бондаренко Є.А.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Робочу програму затверджено на засіданні кафедри приладів та систем керування літальними апаратами
(повна назва кафедри)

Протокол від « 14 » 06 20 17 року № 11

В.о. завідувача кафедри

(підпис) В.В. Сухов
(ініціали, прізвище)

« » 20 17 р.

1. Опис кредитного модуля

Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Загальні показники	Характеристика кредитного модуля
Галузь знань <u>0511 Авіаційна та ракетно-космічна техніка</u> (шифр і назва)	Назва дисципліни, до якої належить кредитний модуль <u>Чутливі елементи систем керування літальних апаратів</u>	Форма навчання <u>денна</u> (денна / заочна)
Напрямок підготовки <u>6.051103 Авіоніка</u> (шифр і назва)	Кількість кредитів ECTS <u>10</u>	Статус кредитного модуля <u>за вибором ВНЗ</u> (нормативний або за вибором ВНЗ/студентів)
Спеціальність <u>8.05110302, 7.05110302</u> <u>Системи керування літальними апаратами та комплексами</u> (шифр і назва)	Кількість розділів <u>2</u>	Цикл до якого належить кредитний модуль <u>професійної та практичної підготовки</u>
Спеціалізація _____ (назва)	Індивідуальне завдання <u>реферат</u> (вид)	Рік підготовки <u>4</u> Семестр <u>7</u>
Освітньо-кваліфікаційний рівень <u>бакалавр</u>	Загальна кількість годин <u>300</u>	Лекції <u>90</u> год.
		Практичні (семінарські) <u>36</u> год.
		Лабораторні (комп'ютерний практикум) <u>36</u> год.
Тижневих годин: аудиторних – <u>9</u> СРС – <u>7,7</u>	Самостійна робота <u>138</u> год., у тому числі на виконання індивідуального завдання <u>6</u> год.	
Вид та форма семестрового контролю <u>екзамен, усний</u> (екзамен / залік / диф. залік; усний / письмовий / тестування тощо)		

Кредитний модуль “Чутливі елементи систем керування літальних апаратів-2. Лазерні гіроскопи. Акселерометри” дисципліни “Чутливі елементи систем керування літальних апаратів” формує теоретичні знання та практичні навички

студентів з теорії, розрахунку, проектування та використання сучасних чутливих елементів (ЧЕ) систем керування літальними апаратами (СК ЛА) таких, як мікромеханічні акселерометри (ММА), лазерні гіроскопи, низькочастотні лінійні акселерометри (НЛА) прямого виміру (ПВ) та компенсаційного типу (КНЛА) на різних фізичних принципах дії.

Вивчення кредитного модуля базується на знаннях, отриманих студентами з курсів вищої математики (МПН.Н.04), фізики (МПН.Н.08), технічної механіки (МПН.Н.07), опору матеріалів (ПП.В.20), електротехніки (ПП.Н.09), теорії автоматичного керування (МПН.Н.06), електроніки і основ схемотехніки (ПП.Н.02), метрології, стандартизації та сертифікації (ПП.Н.06), інформаційно-вимірювальних пристроїв (ПП.Н.03), мікроконтролерних обчислювачів (ПП.Н.07), а також з кредитного модуля “ Чутливі елементи систем керування літальних апаратів-1. Теорія гіроскопів. Гіроскопічні чутливі елементи.” (ПП.В.21/1).

Успішне вивчення кредитного модуля підготовлює студентів до самостійного виконання курсового проекту (кредитний модуль " чутливі елементи систем керування літальних апаратів-3. Курсове проектування" ПП.В.21/3) та вивчення наступних навчальних дисциплін напряму підготовки 6.051103, таких як: основи навігації (ПП.Н.12); основи будови систем керування літальними апаратами (ПП.В.23); випробування технічних систем (ПП.В.28), а також дисциплін спеціальностей 7.05110302 і 8.05110302 таких, як: системи керування літальних апаратів (відповідно ПП.Н.05 і ПП.Н.11); сучасні методи та засоби стабілізації, орієнтації, навігації і наведення рухомих об'єктів (відповідно ПП.В.09 і ПП.В.18); проектування та оптимізація систем літальних апаратів (відповідно ПП.В.12 і ПП.В.21); математичне забезпечення пілотажно-навігаційних комплексів літальних апаратів (відповідно ПП.В.10 і ПП.В.19).

2. Мета та завдання кредитного модуля

2.1. Метою кредитного модуля є формування у студентів здатностей:

- застосовувати сучасні методи та засоби вимірювання параметрів руху об'єктів в створенні сучасних лазерних гіроскопів (ЛГ) і низькочастотних лінійних акселерометрів (НЛА) прямого виміру та компенсаційного типу на різних фізичних принципах дії, як чутливих елементів (ЧЕ) гіроінерціальних систем (ГІС) навігації, орієнтації, стабілізації та керування (СК) рухом літальних апаратів(ЛА);
- здійснювати вибір, аналізувати, розраховувати та проектувати сучасні лазерні гіроскопи і низькочастотні лінійні акселерометри прямого виміру та компенсаційного типу на різних фізичних принципах дії;
- здійснювати метрологічні випробування ЛГ та НЛА;
- розраховувати похибки ЛГ і НЛА та забезпечувати їх точність в експлуатації у складі ГІС систем керування ЛА;
- продуктивно засвоювати вказані вище навчальні дисципліни напряму підготовки 6.051103 "Авіоніка", а також навчальні дисципліни спеціальностей 8.05110303 і 7.05110302 “Системи керування літальними апаратами та комплексами”.

На практичних заняттях кредитного модуля додатково здійснюється супровід та контроль виконання курсового проекту, який виконується у межах кредитного модуля “Чутливі елементи систем керування літальних апаратів-3. Курсове проектування” (ПП.В.21/3) і є базовим проектом для підготовки бакалаврського дипломного проекту за напрямом 051103 “Авіоніка”.

2.2. Основні завдання кредитного модуля.

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни студенти після засвоєння кредитного модуля мають продемонструвати такі результати навчання:

знання:

– галузей та принципів використання лазерних гіроскопів і низькочастотних лінійних акселерометрів різних типів і класів. Вимог, які ставляться до ЧЕ СК ЛА у різних задачах використання;

– базових фізичних принципів дії, функціональних і структурних схем побудови сучасних ЛГ і НЛА;

– методів розрахунку та проектування ЛГ і НЛА прямого виміру та компенсаційного типу на різних фізичних принципах дії за технічними вимогами до них;

– методів розрахунку похибок основних типів ЛГ і НЛА;

– структурно-алгоритмічних методів підвищення точності ЛГ і НЛА та методів обробки їх вихідних сигналів у складі систем;

– основних методів випробувань та перевірки ЛГ і НЛА.

уміння:

– вибрати тип ЛГ і НЛА для виконання конкретних вимірювальних завдань у складі СК ЛА різних типів і класів;

– складати та розв’язувати рівняння руху, досліджувати функції перетворення та похибки ЛГ і НЛА прямого виміру та компенсаційного типу на різних фізичних принципах дії;

– розробляти та розраховувати конструкції, функціональні та структурні схеми ЛГ і НЛА прямого виміру та компенсаційного типу на різних фізичних принципах дії;

– розраховувати конструктивні параметри базових функціональних вузлів ЛГ і НЛА прямого виміру та компенсаційного типу на різних фізичних принципах дії;

– розробляти основні конструкторські документи (креслення загального виду, схеми функціональні, структурні та принципи, креслення деталей та складальні креслення вузлів) на ЛГ і НЛА.

досвід:

– практичного використання ЛГ і НЛА для вирішення різних вимірювальних задач;

– вибору раціонального комплексу нормуючих метрологічних характеристик ЛГ і НЛА при вирішенні вимірювальних задач у складі СК ЛА;

– практичного виконання метрологічних та експлуатаційних випробувань ЛГ і НЛА та використання стендового обладнання для цих випробувань;

– обробки результатів випробувань ЛГ і НЛА різного призначення;

– самостійної роботи з учбовою, учбово-методичною та довідковою літературою в галузях гіроскопічної техніки та вимірювальних перетворювачів інерціальної інформації на нових фізичних принципах дії для систем навігації, орієнтації та стабілізації ЛА.

3. Структура кредитного модуля

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні (семінарські)	Лабораторні (комп'ютерний практикум)	СРС
1	2	3	4	5	6
Розділ 3. Низькочастотні лінійні акселерометри					
<i>Тема 3.1.</i> Загальні відомості про НЛА як чутливі елементи систем навігації, орієнтації та керування рухом ЛА	22	10	4	2	6
<i>Тема 3.2.</i> Нормовані метрологічні та експлуатаційні характеристики НЛА. Метрологічна математична модель НЛА в реальних умовах експлуатації	27	10	4	6	7
<i>Тема 3.3.</i> Використання НЛА у складі систем навігації, орієнтації та керування рухом ЛА	21	7	3	3	8
<i>Контрольна робота 1.</i> Перша частина МКР 1 за темами 3.1-3.3	2,5	1			1,5
<i>Тема 3.4.</i> Параметричні (тензорезисторні, емнісні) мікроелектронні та автогенераторні НЛА прямого виміру	35	14	4	5	12
<i>Тема 3.5.</i> Компенсаційні НЛА	20	3	3	2	12
<i>Контрольна робота 2.</i> Друга частина МКР 1 за темами 3.4-3.5	2,5	1			1,5
Разом за розділом 3	130	46	18	18	48
Розділ 4. Лазерні гіроскопи					
<i>Тема 4.1.</i> Загальні відомості про лазерний гіроскоп	13	2	4	2	5
<i>Тема 4.2.</i> Осьовий контур в резонаторі ЛГ	18	8	4		6
<i>Тема 4.3.</i> Гаусів пучок в резонаторі ЛГ	12	6			6
<i>Тема 4.4.</i> Електромагнітні хвилі в резонаторі ЛГ	13	7			6
<i>Контрольна робота 3.</i> Перша частина МКР 2 за темами 4.1-4.4	2,5	1			1,5

1	2	3	4	5	6
Тема 4.5. Математична модель кільцевого лазера як чутливого елемента ЛГ	20	6	4	4	6
Тема 4.6. Підсистеми ЛГ	12	4	2	2	4
Тема 4.7. Математична модель вихідного сигналу ЛГ	18	4	2	6	6
Тема 4.8. Сертифікація ЛГ	17	5	2	4	6
Контрольна робота 4. Друга частина МКР 2 за темами 4.5-4.8	2,5	1			1,5
Разом за розділом 4	128	44	18	18	48
Підготовка реферату	6				6
Екзамен	36				36
Всього годин	300	90	36	36	138

4. Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	Розділ 3. Низькочастотні лінійні акселерометри
	Тема 3.1. Загальні відомості про НЛА як чутливі елементи систем навігації, орієнтації та керування рухом ЛА
1,2	Призначення і основні завдання, які вирішують НЛА в СК ЛА. Види рухів літального апарата, які вимірюють НЛА. Загальний принцип дії НЛА. Література: [1.1] с.8-12; [1.4] с.4-15; [1.5] с.5-12; [1.15] с.2-3.
3,4	Класифікація сучасних НЛА. НЛА прямого виміру (НЛА ПВ) та компенсаційні НЛА (КНЛА). Види та порівняльний аналіз чутливих елементів (ЧЕ) і пружних підвісів НЛА. Аналіз базових структурних схем НЛА ПВ та КНЛА. Література: [1.5] с. 19–24; [1.4] с. 15–18; [2.3] с. 123–139
5	Класифікація сучасних НЛА (продовження). Класифікація за кількість ВО, за типом технологій, які використовуються у виробництві, за типом ЗКП компенсаційних НЛА. Співвідношення “точність-ціна” для сучасних НЛА. Література: [1.4] с. 15–18; [2.3] с. 123–185.
	Тема 3.2. Нормовані метрологічні (НМХ) та експлуатаційні (ЕХ) характеристики НЛА. Метрологічна математична модель НЛА в реальних умовах експлуатації
6	Структура НМХ НЛА. Статичні нормовані метрологічні характеристики чутливості НЛА. Пряма та зворотна функції перетворення (ФП) НЛА. Література: [1.2] с. 80–86, 90–109, 283–284; [1.7] с. 7–33; [1.15]
7,8	Статичні нормовані метрологічні характеристики точності НЛА. Метрологічна модель сумарної похибки (адитивної, мультиплікативної та похибки від не лінійності) НЛА як векторного вимірювального перетворювача. Модель адитивної похибки "зміщення нуля" НЛА (температурна, від довгострокової нестабільності, від нелінійності, додаткові

	від параметрів руху основи) (температурна, від невідтворюваності, від дрейфу у запуску, від гістерезису, від порогової чутливості та розподільної здатності, додаткові від параметрів руху основи). Динамічний діапазон НЛА. Література: [1.4] с. 4–18; [1.2] с. 80–86, 90–109, 283–284
9	Статичні нормовані метрологічні характеристики точності НЛА (продовження). Модель мультиплікативної похибки коефіцієнта перетворення НЛА (температурна, від довгострокової нестабільності, від нелінійності, додаткові від параметрів руху основи). Література: [1.2] с. 104–109; [1.7] с. 33–65, 126–164
10	Результуючі моделі основної та додаткових похибок навігаційних НЛА в реальних умовах експлуатації. Література: [1.2] с. 104–109; [1.7] с. 33–65, 126–164. Завдання на СРС-1.
	Тема 3.3. Використання НЛА у складі систем навігації і орієнтації рухомих об'єктів
11	Порівняльна характеристика динаміки руху сучасних рухомих об'єктів. Класифікація автономних платформних (ПНС) і безплатформних (БНС) навігаційних систем. Використання НЛА у складі ПНС. Література: [1.2] с.280–314. Завдання на СРС-2.
12	Використання НЛА у складі БНС. Вимоги до метрологічних характеристик НЛА ПНС крейсуєчих рухомих об'єктів (літаки, кораблі). Література: [1.2] с. 152–166. Завдання на СРС-3.
13	Використання НЛА у складі систем горизонтування та початкової виставки навігаційних систем. Література: [1.2] с. 152–314; [1.1]; [2.2]
14	Формування та подальшого використання частотного вихідного сигналу прецизійних НЛА у складі навігаційних систем. Модульна контрольна робота за темами 3.1, 3.2, 3.3 (перша частина МКР №1). Література: [1.2]; [1.4]; [1.5], [2.1] с. 71-90. Завдання на СРС-4.
	Тема 3.4. Параметричні (тензорезисторні, ємнісні) мікроелектронні та автогенераторні НЛА прямого виміру
15,16	Класифікація сучасних НЛА прямого виміру (ПВ). Мікроелектронні тензорезисторні НЛА ПВ (основи теорії та розрахунку, конструкція, похибки). Література: [1.4] с. 15–18; [1.5] с. 19–23; [2.4] с. 80–107
17,18	Мікроелектронні ємнісні НЛА ПВ (основи теорії та розрахунку, конструкція, похибки). Література: [1.10] с. 11–18, 28-45; [1.6] с. 14–18; [2.4] с. 131–149 Завдання на СРС-5.
19	Фізичні основи побудови автогенераторних НЛА ПВ.

	Література: [1.6] с. 9–18; [2.5] с. 7–35, 167–178
20	Автогенераторні струнні НЛА ПВ високої і середньої точності: теорія; базові конструкції; особливості розрахунку. Література: [1.3] с. 184–185; [1.5] с. 40–50; [1.6] с. 22–72
21	П'єзореzonансні автогенераторні НЛА ПВ високої і середньої точності на об'ємних акустичних хвилях (ОАХ): теорія; базові конструкції; особливості розрахунку; похибки. Література: [1.6] с. 9–18; [2.5] с. 7–35, 167–178. Завдання на СРС-6. Завдання на СРС-7.
Тема 3.5. Компенсаційні НЛА	
22	Прецизійні компенсаційні НЛА з ПП і магнітоелектричним зворотним компенсаційним перетворювачем (МЕ ЗКП): рівняння ідеальної роботи; структурна і функціональна схеми; передаточні функції. Література: [1.2] с. 80–83; [1.4] с. 18–27; [1.5] с. 25–32; [1.6] с. 72–104; [2.2] с. 117–124; Завдання на СРС-8.
23	Мікроелектронний ємнісний компенсаційний НЛА з аналоговим електростатичним контуром від'ємного зворотнього зв'язку (основи теорії та розрахунку). Література: [1.5] с. 60–63; [2.4] с. 131–148. Модульна контрольна робота за темами 3.4 і 3.5 (друга частина МКР №1). Завдання на СРС-9.
Розділ 4. Лазерні гіроскопи	
Тема 4.1. Загальні відомості про ЛГ. Механічна аналогія ЛГ	
24	Призначення і склад лазерного гіроскопа. Принцип дії. Механічна аналогія ЛГ. Література: [1.6] с.5-41, 121-196; [1.9] с.182-192; [1.11] с.8-31; [13] с.160-181; [1.14] с.346-379. Завдання на СРС-10.
Тема 4.2. Осьовий контур в резонаторі ЛГ	
25,26	Математичні співвідношення, які зв'язують між собою лінійні та кутові координати осьового контура на вході в суміжні дзеркала резонатора ЛГ. Розрахунок оптичних довжин плечей і оптичного периметра резонатора ЛГ. Розрахунок зміщень центру світлової плями гауссова пучка на поверхнях дзеркал. Література: [2.4] с.176-182
27,28	Розрахунок лінійного поперечного відхилення осьового контуру від номінальної осі резонатора у заданій відліковій площині. Побудова осьового контуру в квадратному резонаторі ЛГ з двома плоскими та двома однаковими суміжними сферичними дзеркалами. Література: [2.4] с.176-182. Завдання на СРС-11.

Тема 4.3. Гаусів пучок в резонаторі ЛГ	
29	Параметри гауссова пучка та їх розрахунок. Променеві матриці оптичних елементів резонатора ЛГ. Матриця його повного обходу. Література: [2.4] с.104-109, 91-97, 126-131
30,31	Розрахунок параметрів гауссова пучка в квадратному резонаторі ЛГ з двома плоскими та двома однаковими суміжними сферичними дзеркалами. Література: [2.4] с.104-109, 91-97, 126-131. Завдання на СРС-12.
Тема 4.4. Електромагнітні хвилі в резонаторі ЛГ	
32,33	Хвильове рівняння для вектора Е в обертовій системі координат. Література: [1.6] с.42-65; [1.7]; [1.8] с.21-29; [1.9] с.224-227; [1.11] с.31-52
34,35	Розщеплення частот зустрічних хвиль ЛГ у випадку його рівномірного обертання в інерціальному просторі. Геометричний масштабний множник ЛГ. Модульна контрольна робота за темами 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 (перша частина МКР №2). Література: [1.6] с.42-65; [1.7]; [1.8] с.21-29; [1.9] с.224-227; [1.11] с.31-52. Завдання на СРС-13.
Тема 4.5. Математична модель кільцевого лазера як чутливого елемента ЛГ	
36	Кільцевий лазер (КЛ) як чутливий елемент ЛГ. Призначення і склад КЛ. Оптико-фізична схема КЛ. Література: [1.5] с.120-129; [1.6] с.42-80, 121-162; [1.7]
37,38	Принцип роботи кільцевого He-Ne лазера. Динамічні рівняння КЛ. Фізичний зміст параметрів, які входять до складу динамічних рівнянь КЛ. Література: [1.8] с.17-130; [1.9] с.222-263; [1.11] с.56-107; [1.12] с.376-391; [2.5] с.300-310; [2.6]; [2.11] с.5-55, 216-236. Завдання на СРС-14.
Тема 4.6. Підсистеми ЛГ	
39,40	Система стабілізації струмів розряду. Система стабілізації периметра. Система вібраційного рознесення частот зустрічних хвиль. Система зняття й обробки інформації. Література: [1.6] с.163-196; [1.11] с.133-165; [1.14] с.346-379
Тема 4.7. Математична модель вихідного сигналу ЛГ	
41	Масштабний множник та кутова ціна імпульсу ЛГ. Зміщення нуля ЛГ. Частотна характеристика рівномірно обертового ЛГ. Зона синхронізації зустрічних хвиль ЛГ. Література: [1.8] с.102-113; [1.9] с.192-221; [1.11] с.107-117; [2.12] с.21-71
42	Частотна характеристика повільно обертового вібруючого ЛГ. Коефіцієнт відносної нелінійності частотної характеристики ЛГ. Коефіцієнт випадкового кутового відходу. Математична модель вихідного сигналу ЛГ. Література: [1.8] с.102-113; [1.9] с.192-221; [1.11] с.107-117; [2.12] с.21-71.

	Завдання на СРС-15.
	Тема 4.8. Сертифікація ЛГ
43	Експериментальне визначення масштабного множника та кутової ціни імпульсу ЛГ. Література: [2.11] с.231-236 Завдання на СРС-16.
44,45	Експериментальне визначення зміщення нуля ЛГ. Модульна контрольна робота за темами 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 (друга частина МКР №2). Література: [2.11] с.231-236.

5. Практичні заняття

Основні завдання циклу практичних занять – закріпити у студентів, шляхом виконання практичних завдань та рішення практичних задач за вивченими темами, теоретичні положення кредитного модуля та дати студентам певні уміння їх практичного застосування за напрямом підготовки, а також здійснити супровід та контроль виконання курсового проекту, який виконується у межах кредитного модуля “Чутливі елементи систем керування літальних апаратів-3. Курсове проектування” (ПП.В.21/3) і є базовим проектом для підготовки бакалаврського дипломного проекту за напрямом 051103 “Авіоніка”.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Статичні нормовані метрологічні характеристики точності НЛА. Розробка метрологічних моделей сумарної похибки (адитивної, мультиплікативної та похибки від не лінійності) НЛА як векторного вимірювального перетворювача лінійного прискорення рухомих об'єктів різного призначення. <i>(По темах 3.1, 3.2).</i>
2	Видача завдання на курсовий проект (КП). Зміст та методика виконання КП. Загальна, відповідно до вимог ЕСКД, методика проектування ЧЕ СКЛА при виконанні КП. Вимоги до конструкторських документів КП. <i>(По всіх темах кредитних модулів ПП.В.21/1, і ПП.В.21/2).</i>
3,4	Використання НЛА у складі систем навігації, орієнтації та керування рухом ЛА (методики розрахунків для крейсуючих рухомих об'єктів (літаки, кораблі), ракетних ЛА, а також систем горизонтування та початкової виставки). <i>(По темах 3.2, 3.3).</i>
5	Розрахунок параметричних НЛА ПВ (загальна методика, приклади та особливості розрахунку). <i>(По темі 3.4).</i> Контроль виконання КП відповідно до календарного плану курсового проектування.
6,7	Загальні основи проектування електромеханічних ЧЕ СКЛА побудованих по схемі прямого виміру. Приклади. Контроль виконання КП відповідно до календарного плану курсового проектування. <i>(По темі 5.1, темах 2.1, 2.3,</i>

	2.4, 2.5 кредитного модуля ПП.В.21/1, та темі 3.4 кредитного модуля ПП.В.21/2).
8,9	Розрахунок автогенераторних НЛА ПВ (загальна методика, приклади та особливості розрахунку). (По темі 3.4).
10,11	Розрахунок компенсаційних НЛА (загальна методика, приклади та особливості розрахунку). (По темі 3.5). Контроль виконання КП відповідно до календарного плану курсового проектування.
12,13	Розрахунок осьового контуру резонатора ЛГ. (По темах 4.1,4.2). Контроль виконання КП відповідно до календарного плану курсового проектування.
14,15	Розрахунок масштабного множника і кутової ціни імпульсу ЛГ. (По темах 4.5-4.7). Контроль виконання КП відповідно до календарного плану курсового проектування.
16,18	Розрахунок основних складових зміщення нуля ЛГ. (По темах 4.5-4.7). Контроль виконання КП відповідно до календарного плану курсового проектування.
18	Розрахунок коефіцієнта випадкового кутового відходу ЛГ. (По темах 4.7, 4.8).

6. Лабораторні заняття

Основні завдання циклу лабораторних занять – закріпити у студентів, шляхом практичного виконання лабораторних робіт на лабораторному обладнанні та реальних пристроях що вивчаються, теоретичних положень кредитного модуля, та дати студентам певні вміння виконання експериментальних досліджень та обробки отриманих результатів за напрямом підготовки.

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд. годин
1	Вивчення методу та стенду для статичних і температурних випробувань лінійних акселерометрів.	4
2	Вивчення конструкції та дослідження основних метрологічних характеристик двовісного лінійного мікромеханічного навігаційного акселерометра шляхом його статичних випробувань.	4
3	Визначення температурних похибок двовісного лінійного мікромеханічного навігаційного акселерометра.	6
4	Експериментальне визначення неплоскостності пластини чутливого елемента прецизійного маятникового компенсаційного акселерометра типу АКБ.	4
5	Експериментальне дослідження впливу обертання на енергетичні та вихідну характеристики кільцевого лазера (КЛ).	4

6	Експериментальне визначення коефіцієнтів частотної характеристики КЛ на стенді для динамічних випробувань.	6
7	Експериментальне визначення масштабного множника, масштабного коефіцієнта і кутової ціни імпульсу ЛГ на стенді для динамічних випробувань.	6
8	Експериментальне визначення зміщення нуля ЛГ на стенді для статичних випробувань.	4

7. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Завдання на СРС-1. Динамічні метрологічні характеристики НЛА. Амплітудно-, фазо-частотні характеристики. Смуга пропускання. Діапазон робочих частот. Динамічні похибки, шляхи зменшення цих похибок (<i>самостійне вивчення за конспектом лекцій викладача</i>). Література: [1.2] с. 90–109; [1.4] с. 9–10; [1.7] с. 7–33; [1.15]; [2.1] с. 71–90.	6
2	Завдання на СРС-2. Вивчити за конспектом лекцій викладача метрологічні та експлуатаційні характеристики НЛА типу КИ-67, С-6186М, КЕАФ-67, АК-5 (Росія), АКБ (Україна), JN-06 (Китай), QA-3000 (США), які використовуються у складі ракетних систем навігації та керування (<i>самостійне вивчення за конспектом лекцій викладача</i>).	3
3	Завдання на СРС-3. Вивчити за конспектом лекцій викладача метрологічні та експлуатаційні характеристики НЛА типу АК-6, А-12, А-15, АК-10, АТ-1104 (Росія), АКК (Україна), QA-2000 (США), які використовуються у складі авіаційних та корабельних систем (<i>самостійне вивчення за конспектом лекцій викладача</i>).	3
4	Завдання на СРС-4. Вивчити за конспектом лекцій викладача метрологічні та експлуатаційні характеристики НЛА типу ADXL-105, 210, 250 (США), які використовуються у складі систем виміру коливань, вібрації та ударів (<i>самостійне вивчення за конспектом лекцій викладача</i>). Література: [2.7].	3
5	Завдання на СРС-5. Вивчити по [2.7] конструкцію, роботу та технічні характеристики інтегральних ємнісних НЛА ПВ типу ADXL	3
6	Завдання на СРС-6. Вивчити по [1.6, 2.5] конструкцію і технічні характеристики п'єзорезонансного автогенераторного НЛА ПВ на ОАХ типу С-6186М.	2
7	Завдання на СРС-7. П'єзорезонансні автогенераторні НЛА ПВ середньої точності на ПАХ: теорія; базові конструкції;	2

	особливості розрахунку; похибки (<i>самостійне вивчення за конспектом лекції викладача</i>). Вивчити по [2.5, 2.7] конструкцію, роботу та технічні характеристики автогенераторного НЛА ПВ на ПАХ типу 2SA	
8	Завдання на СРС-8. Вивчити по [2.2, 2.7] конструкцію, роботу та технічні характеристики прецизійних КНЛА з ПП типу АК-6, ДА-9, А-15.	4
9	Завдання на СРС-9. Вивчити по [1.2, 1.4, 1.6] похибки КНЛА з ПП та структурно-алгоритмічні методи підвищення точності КНЛА.	7
10	Завдання на СРС-10. Ознайомитись по [2.6] з особливостями побудови лазерних гіроскопів провідних фірм.	3
11	Завдання на СРС-11. Побудувати осьовий контур в рівнобічному 3-кутному резонаторі ЛГ з одним сферичним та двома плоскими дзеркалами.	8
12	Завдання на СРС-12. Розрахувати параметри гауссового пучка в рівнобічному 3-кутному резонаторі ЛГ з одним сферичним та двома плоскими дзеркалами.	9
13	Завдання на СРС-13. Ознайомитись по [1.7] з методикою виведення хвильового рівняння для вектора E в обертовій системі координат.	4
14	Завдання на СРС-14. Ознайомитись по [1.7] з формулами для розрахунку лембовських коефіцієнтів в динамічних рівняннях КЛ для випадку рівноізотопної суміші неону.	4
15	Завдання на СРС-15. Ознайомитись по [2.6] з методами боротьби із синхронізацією зустрічних хвиль, які застосовуються в лазерних гіроскопах провідних фірм.	3
16	Завдання на СРС-16. Ознайомитись по [2.6] з точностними характеристиками лазерних гіроскопів провідних фірм.	5

8. Індивідуальні завдання

Робочім навчальним планом за напрямом підготовки 6.051103 передбачено виконання в межах даного кредитного модуля індивідуального завдання у вигляді реферату.

Завдання на реферат передбачає аналіз сучасного стану і тенденцій розвитку НЛА або ЛГ для використання в конкретних СК ЛА, а також дослідження сучасних тенденцій розвитку конкретних типів НЛА (ЛГ).

Напрямки тематики рефератів додаються до робочої програми (Додаток Б). Об'єм реферату – 15-20 сторінок.

9. Контрольні роботи

Після вивчення навчального матеріалу за темами:

- 3.1-3.3 проводиться модульна (тематична) контрольна робота (перша частина МКР№1) тривалістю 1 академічна година;
- 3.4-3.5 проводиться модульна (тематична) контрольна робота (друга частина МКР№1) тривалістю 1 академічна година;
- 4.1-4.4 проводиться модульна (тематична) контрольна робота (перша частина МКР№2) тривалістю 1 академічна година;
- 4.5-4.8 проводиться модульна (тематична) контрольна робота (друга частина МКР№2) тривалістю 1 академічна година;

До складу завдання кожної частини МКР входять два питання з навчального матеріалу тем, який віднесено до аудиторного та самостійного вивчення студентами (під час годин СРС).

Мета проведення МКР – перевірка рівня знань та практичних умінь студентів з навчального матеріалу, який віднесено до аудиторного та самостійного вивчення студентами.

10. Рейтингова система оцінювання результатів навчання

Рейтинг студента з кредитного модуля складається з балів, що отримуються за: виконання та захист 8 лабораторних робіт; виконання завдань 9 практичних занять та відповіді на практичних заняттях; 2 модульні контрольної роботи (МКР) (кожна МКР поділяється на дві частини тривалістю по 1 акад. годині кожна); один реферат; активність на лекціях (заохочувальні бали); відповідь на екзамені. Семестровим контролем є екзамен.

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання:

1. Практичні заняття

Ваговий бал – 1 бал. Критерії оцінювання:

- "добре", виконання завдання заняття не менше ніж на 75%, добрі знання базового теоретичного матеріалу з тем за якими проводиться заняття – 1 бал;
- "задовільно", виконання завдання заняття приблизно на 60...75%, задовільне знання базового теоретичного матеріалу з тем за якими проводиться заняття – 0,5 бали;
- "незадовільно", виконання завдання заняття менше ніж на 60%, або відсутність на занятті – 0 балів.

Максимальна кількість балів за всі практичні заняття дорівнює $16 \times 9 = 9$ балів.

2. Лабораторні роботи

Ваговий бал – 2 бали. Критерії оцінювання:

- "відмінно", виконання завдання роботи не менше ніж на 90%, своєчасний захист роботи – 2 бали;
- "добре", виконання завдання роботи приблизно на 75...90%, теоретичні знання недостатні, або не своєчасний захист – 1,5 бали;
- "задовільно", виконання завдання роботи приблизно на 60...75%, або немає звіту, або слабкі теоретичні знання – 1 бал;
- "незадовільно", виконання завдання роботи менше ніж на 60%, або робота не виконувалась – 0 балів.

Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи дорівнює $26 \times 8 = 16$ балів.

3. Модульний контроль (дві МКР, кожна МКР з 2-х частин)

Ваговий бал кожної частини МКР – 4 бали.

Критерії оцінювання кожної частини контрольної роботи:

- "відмінно", повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 4 бали;
- "добре", достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації) – 3,9...3 балів;
- "задовільно", неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) – 2,4...2,9 бали;
- "незадовільно", незадовільна відповідь (менше 60% потрібної інформації) – 0 балів.

Максимальна кількість балів за кожну МКР дорівнює $46 + 46 = 8$ балів.

Максимальна кількість балів за дві МКР дорівнює $86 + 86 = 16$ балів.

4. Реферат

Ваговий бал – 9 балів. Критерії оцінювання:

- "відмінно", творчий підхід до розкриття проблеми – 9 балів;
- "добре", глибоке розкриття проблеми, відображена власна позиція – 8...6 балів;
- "задовільно", обґрунтоване розкриття проблеми з певними недоліками – 5 балів;
- "незадовільно", тему не розкрито, реферат не зарахований – 0 балів.

5. Заохочувальні та штрафні бали за:

- творчу активність на заняттях – 2...1 бал;
- відсутність пропусків лекцій – 2...1 бал;
- несвоєчасне відпрацювання лабораторних занять, які пропущено - мінус 2...1 бал;
- несвоєчасна здача реферату на перевірку - мінус 2...1 бал

Максимальна кількість заохочувальних балів дорівнює 4 балам, а максимальна кількість штрафних балів дорівнює мінус 4 балам.

Рейтингова шкала з кредитного модуля складає

$$R = R_{CM} + R_{EM} = 506 + 506 = 100 \text{ балів, де:}$$

- R_{CM} - максимальна сума балів за контрольні заходи протягом семестру (максимальна величина стартового рейтингу з кредитного модуля), яка складає $R_C = 96 + 166 + 166 + 96 = 50$ балів;
- $R_{EM} = 50$ балів - максимальна сума балів за відповідь на екзамені.

Умови позитивної проміжної атестації. Для отримання "зараховано" з проміжної атестації студент матиме не менше ніж 20 балів.

Рейтингова оцінка студента з кредитного модуля складає

$$RD = R_C + R_E,$$

де: R_C – сума всіх рейтингових балів (отриманих за всі заходи) і заохочувальних (штрафних) балів. При цьому максимальна величина R_C , яку може отримати студент (з заохочувальними балами) складає 50 балів; R_E – сума балів отриманих за екзаменаційну контрольну роботу.

Необхідною умовою допуску до екзамену є відсутність заборгованостей з лабораторних робіт та стартовий рейтинг студента $RD \geq 25$ балів.

На екзамені студенти виконують письмову контрольну роботу. Контрольне завдання цієї роботи складається з двох запитань - теоретичного питання, яке перевіряє теоретичні знання студента, та практичної задачі, яка перевіряє практичні навички студента. Кожне запитання оцінюється в 25 балів.

Система оцінювання на екзамені теоретичного запитання:

- "відмінно", повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 25...24 бали;
- "добре", достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації) – 23...20 балів;
- "задовільно", неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) – 19...15 балів;
- "незадовільно", незадовільна відповідь (менше 60% потрібної інформації) – 0 балів.

Система оцінювання на екзамені практичної задачі:

- "відмінно", повне, практично безпомилкове розв'язування задачі (не менше 90% потрібної інформації) – 25...24 бали;
- "добре", повне розв'язування задачі із несуттєвими неточностями (не менше 75% потрібної інформації) – 23...20 балів;
- "задовільно", розв'язування задачі виконано з певними недоліками (не менше 60% потрібної інформації) – 19...15 балів;
- "незадовільно", розв'язування задачі виконано з певними недоліками (не менше 60% потрібної інформації), або зовсім не виконано – 0 балів.

Рейтингова оцінка студента переводиться до екзаменаційної оцінки за університетською шкалою згідно з таблицею

Рейтингові бали, <i>RD</i>	Оцінка за університетською шкалою
$95 \leq RD \leq 100$	Відмінно
$85 \leq RD \leq 94$	Дуже добре
$75 \leq RD \leq 84$	Добре
$65 \leq RD \leq 74$	Задовільно
$60 \leq RD \leq 64$	Достатньо
$RD < 60$	Незадовільно
Невиконання умов допуску до семестрового контролю	Не допущено

11. Методичні рекомендації

Навчальний матеріал по кожному типу ЧЕ СК ЛА викладати в такому об'ємі: основи теорії; базові конструкції і функціональні схеми; рівняння руху, структурні

схеми і передаточні функції; основні варіанти побудови вимірювальних ланцюгів; похибки; розрахунок основних конструктивних параметрів.

Лабораторні роботи виконуються студентами у складі бригад по графіку, розробленому викладачем. Захист результатів попередньої лабораторної роботи здійснюється в процесі виконання наступної лабораторної роботи.

Всі лабораторні роботи студентами повинні бути захищені до здачі екзамену з кредитного модуля.

Інформаційно-методичне забезпечення кредитного модуля включає: опис кредитного модуля; положення про рейтингову систему оцінки успішності студентів з кредитного модуля; методичні вказівки до вивчення кредитного модуля та виконання лабораторних робіт; інструктивно-методичні матеріали для виконання завдань на СРС.

Контроль виконання КП (кредитний модуль ПП.В.21/3) кожним студентом відповідно до календарного плану курсового проектування проводиться на практичних заняттях данного кредитного модуля за графіком розробленим викладачем.

12. Рекомендована література

12.1. Базова

- 1.1. *Дубовской В.Б.* Измерения низкочастотных ускорений – М.: Наука, 1981. – 107 с.
- 1.2. *Инерциальные системы управления / Под ред. Д. Питмана.* – М.: Воен. Изд-во Мин. Обороны СССР, 1964. – 456 с.
- 1.3. *Никитин Е.А., Балашова А.А.* Проектирование дифференцирующих и интегрирующих гироскопов и акселерометров – М.: Машиностроение, 1968. – 216 с.
- 1.4. *Коновалов С.В., Никитин Е.А., Селиванова Л.М.* Гироскопические системы. Проектирование гироскопических систем. Часть 3. Акселерометры, датчики угловой скорости, интегрирующие гироскопы и гироскопические системы. Учебное пособие / Под ред. Д. С. Пельпора. – М.: Высшая школа, 1980. – 128 с.
- 1.5. *Афонькин И.В.* Измерители линейных скоростей и ускорений объектов. Конспект лекций. – Л.: Изд-во Ленинградского политехн. Ин-та, 1972. – 148 с.
- 1.6. *Мельников В.Е.* Электромеханические преобразователи на базе кварцевого стекла – М.: Машиностроение, 1984. – 160 с.
- 1.7. *Синельников А.Е.* Низкочастотные линейные акселерометры. Методы и средства проверки и градуировки – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 176 с.
- 1.8. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт на тему “Визначення основних конструктивних параметрів чутливих елементів прецизійних маятникових компенсаційних акселерометрів з пружним підвісом” з курсу “Чутливі елементи гіроінерціальних систем” /Укл. М.Г. Черняк – К.: НТУУ “КПІ”, 1999. – 24с.
- 1.9. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи “Визначення жорсткісних характеристик пружного підвісу навігаційного маятникового компенсаційного акселерометра” з курсу “Чутливі елементи гіроінерціальних систем” /Укл. М.Г. Черняк – К.: НТУУ “КПІ”, 1999. – 20с.

- 1.10. *Мручко Ю.В.* Схемотехника приборов и устройств СОН: Учебное пособие. – М.: Изд-во МАИ, 1981. – 68 с.
- 1.11. Акселерометри: метод. Вказівки до викон. лабор. робіт з навч. дисципліни "Чутливі елементи систем керування літальними апаратами" /Уклад.: М.Г. Черняк, О.М. Апончукова. – К.: НТКК "КИІ", 2011. – 64с.
- 1.12. *Макаров И.М., Менский Б.М.* Линейные автоматические системы (элементы теории, методы расчета справочный материал). – 2-е изд., перераб.и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 504 с.
- 1.13. *Шваб И.А. Селезнёв А.В.* Измерения угловых ускорений. – М.: Машиностроение, 1983. – 160 с.
- 1.14. *Зеленка И.* Пьезоэлектрические резонаторы на объемных и поверхностных акустических волнах: Материалы, технология, конструкция, применение: Пер. с чешск. – М.: Мир, 1990. – 584 с.
- 1.15. ГОСТ 18955-73. Акселерометры линейные. Термины и определения, 1973. – 11 с.

12.2. Допоміжна

- 2.1. *Бабич О.А.* Обработка информации в навигационных комплексах. – М.: Машиностроение, 1991. – 512 с.
- 2.2. *Аш Ж.* с соавторами. Датчики измерительных систем: В 2-х книгах. Кн. 2. Пер. с франц. – М.: Мир, 1992. – 424 с.
- 2.3. Автоматизация проектирования устройств измерительной техники / Ю.М. Туз, А.И. Забарный, Б.Н. Белоусов и др. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1988. – 288 с.
- 2.4. *Левшина Е.С., Новицкий П.В.* Электрические измерения физических величин: (Измерительные преобразователи). Учебн. пособие для вузов. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1983. – 320 с..
- 2.5. *Малов В.В.* Пьезорезонансные датчики. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 272 с.
- 2.6. *М. Серидж, Т. Лихт.* Справочник по пьезоэлектрическим акселерометрам и преусилителям. – Изд-во фирмы «Брюль и Кьер», Дания, 1987. – 187с.
- 2.7. Технические описания и технические условия на низкочастотные линейные акселерометры типа ВТ-48, АТ-1101, 2SA, АК-5, АК-6, АКБ, ДА-9, А-!5, АТ-1104, ВТ-51, ADXL-105, 210, 215.
- 2.8. Технические описания и технические условия на стендовое испытательное оборудование типа ОДГ-10, ТВТ-2 и оптические измерительные приборы типа КО-10, АК-1.

13. Інформаційні ресурси

1. Нормативно-технічна документація, навчальна та спеціальна література з інформаційно-вимірювальних пристроїв та систем керування [Електронні ресурси] – Режим доступу: [http:// antic-r.narod.ru/doc.htm](http://antic-r.narod.ru/doc.htm) .
2. Аристов, А.И. Метрология, стандартизация, сертификация [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.И. Аристов, В.М. Приходько, И.Д. Сергеев, Д.С. Фатюхин. – М.: ИНФРА-М, 2012. – 256 с. – Режим доступа: <http://znanium.com> /-Загл. с экрана.

3. Ревенков, А.В. Теория и практика решения технических задач [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.В. Ревенков, Е.В. Резчикова. -2 е изд., испр. и доп. М.:Форум, 2009.-384 с. -Режим доступа: <http://znanium.com> /-Загл. с экрана.

4.Сизиков, В.С. Обратные прикладные задачи и MatLab [Электронный ресурс] / В.С.Сизиков // 1-е изд., 2011. –256 с. - Режим доступа: <http://e.lanbook.com/> -Загл. с экрана

ДОДАТКИ:

1. Додаток А. Положення про рейтингову систему оцінки успішності студентів з кредитного модуля “Інформаційно-вимірювальні пристрої-2. Проектування вимірювальних пристроїв”.

2. Додаток Б. Напрямки тематики рефератів за темами кредитного модуля.

НАПРЯМКИ ТЕМАТИКИ РЕФЕРАТІВ

1. Використання ЛГ у складі систем навігації сучасних літаків.
2. Використання ЛГ у складі систем навігації та керування сучасних ракетних ЛА.
3. Використання ЛГ у складі систем орієнтації сучасних літаків та ракетних ЛА.
4. Гаусів пучок в резонаторі ЛГ.
5. Осьовий контур в резонаторі ЛГ..
6. Електромагнітні хвилі в резонаторі ЛГ.
7. Кільцевий лазер як чутливий елемент ЛГ.
8. Сертифікація ЛГ.
9. Характеристики та конструкції лазерних гіроскопів провідних фірм.
10. Використання НЛА у складі систем навігації та керування крейсуєчих рухомих об'єктів (літаки, кораблі).
11. Використання НЛА у складі систем навігації та керування сучасних ракетних ЛА.
12. Використання НЛА у складі систем орієнтації сучасних літаків та ракетних ЛА.
13. Використання НЛА у складі систем горизонтування та початкової виставки навігаційних систем.
14. Методи випробувань, градуювання та перевірки НЛА.
15. Структурні та алгоритмічні методи підвищення точності НЛА.
16. Шляхи покращення співвідношення “точність-ціна” для сучасних НЛА.
17. Метрологічні моделі похибок сучасних НЛА як векторних вимірювальних перетворювачів. Шляхи спрощення цих моделей.
18. Шляхи покращення статичних метрологічних характеристик сучасних НЛА ПВ та КНЛА.
19. Шляхи покращення динамічних метрологічних характеристик сучасних НЛА ПВ та КНЛА.
20. Трансформаторні НЛА ПВ.
21. Тензорезистивні напівпровідникові НЛА ПВ.
22. Акустoeлектронні НЛА ПВ.
23. Акустoeлектронні НЛА ПВ з безпроводною передачею інформації.
24. П'єзорезонансні НЛА ПВ.
25. П'єзоелектричні віброакселерометри.
26. Диференціальні струнні НЛА ПВ.
27. Ємнісні кутові акселерометри для СК ЛА.
28. Ємнісні мікромеханічні НЛА ПВ.
29. Прецизійні магнітоелектричні компенсаційні НЛА для НС ЛА.
30. Прецизійні електростатичні компенсаційні НЛА для НС ЛА.

Додаток складено доцентом, к.т.н Черняком М.Г. та доцентом, к.т.н. Бондаренком Є.А.