

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Навчально-науковий інститут аерокосмічних технологій

ЗАТВЕРДЖЕНО

Вченої радою НН ІАТ

(протокол № 4/21 від 21. 04. 2022 р.)

ПРОГРАМА КОМПЛЕКСНОГО АТЕСТАЦІЙНОГО ЕКЗАМЕНУ

здобувачів вищої освіти

освітнього ступеня «бакалавр»

за освітньо-професійною програмою

Системи керування літальними
апаратами та комплексами

спеціальності

173 Авіоніка

Розроблено та рекомендовано:
Кафедрою систем керування
літальними апаратами

(протокол № 9 від 13.04. 2022 р.)

Київ 2022

Преамбула

Програма комплексного атестаційного екзамену складена для проведення атестації студентів (здобувачів ступеня вищої освіти «бакалавр») з метою встановлення відповідності здобутих ними компетентностей та результатів навчання за освітньо-професійною програмою «Системи керування літальними апаратами та комплексами» вимогам стандарту вищої освіти зі спеціальності 173 Авіоніка, зокрема:

- ЗК 1 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях
- ЗК 10 Здатність синтезувати і аналізувати системи автоматичного керування
- Ф К 4 Здатність до аналізу та синтезу систем керування літальних апаратів
- Ф К 5 Здатність розробляти авіоніку літальних апаратів та системи наземних комплексів із використанням інформаційних технологій
- ФК 6 Здатність математично описувати і моделювати фізичні процеси в системах керування літальних апаратів
- Ф К 7 Здатність проектувати прилади та системи авіоніки із використанням автоматизованих систем
- Ф К 12 Здатність розробляти математичні моделі руху літальних апаратів, використовуючи аеродинаміку та теорію польоту

Для перевірки вищезазначених результатів до програми комплексного атестаційного екзамену включено питання з таких навчальних дисциплін:

1. Теорія автоматичного керування.
2. Метрологія, стандартизація та сертифікація.
3. Чутливі елементи систем авіоніки.
4. Основи навігації та радіолокації.
5. Основи будови систем керування літальних апаратів.
6. Інформаційно-вимірювальні пристрої.

Розробники програми:

Бурнашев Віталій Віталійович, к.т.н., доцент кафедри систем керування літальними апаратами _____

Пономаренко Сергій Олексійович, к.т.н, с.н.с., завідувач кафедри систем керування літальними апаратами _____

Черняк Микола Григорович, к.т.н., доцент, доцент кафедри систем керування літальними апаратами _____

Збруцький Олександр Васильович, д.т.н., професор, професор кафедри систем керування літальними апаратами, _____

Порядок проведення атестаційного екзамену

Порядок проведення атестаційного іспиту в дистанційному режимі має відповідати діючому Регламенту (<https://osvita.kpi.ua/node/148>) та містити:

- опис процедури проведення атестаційного іспиту з використанням дистанційних технологій навчання;

Екзамен є письмовим та проводиться в дистанційному режимі за допомогою відеоконференції в Zoom та електронної пошти. Тривалість екзамену – 3 години.

Перед початком екзамену члени атестаційної комісії проводять ідентифікацію студентів за допомогою відеозв'язку. Після цього секретар або члени комісії розсилають білети студентам особисто, а студенти підтверджують їх отримання. Відлік часу починається з моменту отримання білету останнім студентом.

Екзаменаційну роботу студенти виконують рукописно. Після її завершення студент повинен підписати кожний аркуш, зробити фотокопію своєї роботи та переслати її до встановленого часу на електронну адресу секретаря або члена комісії, яку було повідомлено перед початком екзамену.

Після надходження останньої роботи до комісії всі студенти від'єднуються від відеоконференції і комісія розпочинає перевірку робіт.

Оцінки оголошуються на наступний день після проведення екзамену.

Екзаменаційний білет містить шість завдань, по одному завданню з кожної дисципліни, що входить до програми екзамену. Завдання можуть бути у вигляді відкритого теоретичного запитання або у вигляді задачі.

Перелік тем, що виносяться на атестаційний екзамен

РОЗДІЛ 1. ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

1. Передатні функції і частотні характеристики ланок і систем автоматичного керування (САК).
2. Послідовне та паралельне з'єднання ланок САК, структурне перетворення схем САК.
3. Критерії стійкості САК. Оцінка стійкості замкнених САК.
4. Показники якості перехідних процесів в САК.
5. Методика побудови логарифмічних частотних характеристик САК.
6. Оцінка точності САК за статистичними характеристиками керуючих сигналів і збурень.

7. Керованість лінійних САК.
8. Спостережуваність лінійних САК.
9. Оцінювання якості САК. Інтегральні оцінки якості САК.

РОЗДІЛ 2. МЕТРОЛОГІЯ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЯ

1. Методи вимірювань (класифікація). Типова структурна схема компенсаційного вимірювального перетворювача як приклад нульового методу.
2. Класифікація бортових засобів вимірювань. Визначення, схеми. Адитивні та мультиплікативні похибки вимірювань (графічне зображення для лінійної функції перетворення).
3. Похибки вимірювань (ПВ) і похибки засобів вимірювань. Класифікація (схема). Форми запису ПВ. Інструментальні та методичні похибки вимірювань. Сумарна ПВ. Основні та додаткові ПВ. Приклад запису додаткової систематичної температурної похибки вимірювального перетворювача.
4. Систематичні та випадкові похибки вимірювань. Співвідношення випадкових похибок одиничного та групового вимірювань.
5. Характеристики випадкових результатів вимірювань і похибок вимірювань (диференційна функція розподілу, математичне сподівання, дисперсія, середнє квадратичне відхилення). Графічна інтерпретація сумарної похибки однократного виміру Δ_i із зазначенням Δ_c , Δ_i , σ_x , $\sigma_{xГР}$ та співвідношень між ними.
6. Організація та проведення стандартизації на виробництві. Порядок розробки стандартів. Види та методи стандартизації.
7. Допуски та посадки. Основні поняття. Класифікація та позначення допусків відхилення форми. Класифікація та позначення допусків відхилення розташування поверхні.
8. Система допусків та посадок для деталей типу "вал". Система допусків та посадок для деталей типу "отвір".

РОЗДІЛ 3. ЧУТЛИВІ ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМ АВІОНІКИ

1. Гіроскопічний тахометр на двоступеневому гіроскопі. Кінематична схема. Способи організації компенсаційного зворотного зв'язку. Передатна функція, частотні характеристики і вимоги до них.
2. Диференціальні рівняння руху динамічно настроюваного гіроскопа з одно- та двокільцевим пружним підвісом. Сутність динамічного настроювання. Явище заклинювання ротора.
3. Рух динамічно настроюваного гіроскопа на основі, що рівномірно обертається.
4. Похибки динамічно настроюваного гіроскопа при кутовій вібрації основи.
5. Передатні функції динамічно настроюваного гіроскопа:
 - по кутовій швидкості основи;

- по збурюючому моменту.

6. Похибки незбалансованого динамічно настроюваного гіроскопа при постійному прискоренні та при вібрації основи:

- квадратурна;
- від різножорсткості підвісу;
- від незбалансованості підвісу.

7. Вимоги та синтез контуру компенсаційного зворотного зв'язку датчика кутової швидкості на динамічно настроюваному гіроскопі.

9. Математичні моделі вібраційних гіроскопів: роторного, коріюлісового, карданового, камер тонного.

10. Частотні характеристики при гармонічній кутовій вібрації основи вібраційних гіроскопів: роторного, коріюлісового, карданового, камертонного.

11. Частоти вільних коливань коріюлісового вібраційного гіроскопа, фазові траєкторії при рівномірному обертанні основи. Вимірювання кута повороту.

12. Принцип дії, призначення, класифікація та нормовані метрологічні характеристики навігаційних лінійних акселерометрів навігаційних лінійних акселерометрів.

13. Класифікація лінійних акселерометрів по точності. Порівняльний аналіз структурних схем маятникових акселерометрів прямого вимірювання та компенсаційних акселерометрів.

14. Порівняльний аналіз вимог до основних функціональних вузлів (пружний підвіс чутливого елемента, датчик переміщень, зворотній компенсаційний перетворювач) лінійних акселерометрів прямого вимірювання та компенсаційних.

15. Динамічні характеристики навігаційних лінійних акселерометрів (АЧХ, ФЧХ, передатна функція, смуга пропускання, амплітудна та фазові похибки). Забезпечення допустимих динамічних похибок навігаційних лінійних акселерометрів.

16. Ємнісний навігаційний лінійний акселерометр прямого вимірювання. Функціональна схема, конструкція, функція перетворення.

17. Компенсаційні навігаційні лінійні акселерометри. Функціональна та структурна схеми, конструкція, функція перетворення.

18. Тензорезисторний навігаційний лінійний акселерометр прямого вимірювання. Функціональна схема, конструкція, функція перетворення, мостова вимірювальна ланка.

19. Формування частотного вихідного сигналу навігаційного лінійного акселерометра з метою розрахунку швидкості літального апарату без похибок інтегрування.

20. Призначення лазерного гіроскопа та його метрологічні параметри.

21. Склад лазерного гіроскопа.

22. Масштабний множник лазерного гіроскопа.

23. Кутова ціна імпульсу лазерного гіроскопа. Зміщення нуля лазерного гіроскопа.

РОЗДІЛ 4. ОСНОВИ НАВІГАЦІЇ і РАДІОЛОКАЦІЇ

1. Загальна характеристика та класифікація методів навігації.
2. Способи врахування гравітаційного прискорення.
3. Алгоритми роботи горизонтальних каналів інерціальної навігаційної системи напіваналітичного типу з географічним опорним тригранником.
4. Особливості роботи вертикального каналу інерціальної навігаційної системи напіваналітичного типу.
5. Алгоритми роботи інерціальної навігаційної системи напіваналітичного типу з вільною в азимуті платформою.
6. Алгоритми роботи інерціальної навігаційної системи геометричного типу.
7. Алгоритми роботи інерціальної навігаційної системи аналітичного типу (два варіанти, коротка характеристика).
8. Алгоритми роботи безплатформних інерціальних навігаційних систем на давачах кутової швидкості. Способи визначення орієнтації об'єкта відносно інерціальної системи координат (коротка характеристика).
9. Алгоритми роботи безплатформних інерціальних навігаційних системи на вільних гіроскопах.
10. Алгоритми роботи акселерометричних безплатформних інерціальних навігаційних систем.

РОЗДІЛ 5. ОСНОВИ БУДОВИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

1. Сервоприводи каналів автоматичного керування літальних апаратів. Типовий електричний сервопривід. Електрогідравлічний сервопривід. Динамічні характеристики приводу.
2. Критерії оцінки пілотажних властивостей літака. Загальні вимоги до пілотажних характеристик. Основні уявлення про стійкість та керованість літака.
3. Класифікація каналів автоматичного керування. Структура типового каналу автоматичного керування літака. Особливості апаратурної реалізації каналів керування.
4. Автоматичне балансування літака. Демпфери кутових коливань літака. Демпфер тангажу.
5. Автоматичне балансування літака. Демпфери кутових коливань літака. Демпфер ристання.
6. Автоматичне керування кутом крену. Процеси, що відбуваються в контурах автоматичного керування кутом крену.
7. Автоматичне керування кутом тангажу. Особливості контурів автоматичного керування кутом тангажу.

РОЗДІЛ 6. ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ

1. Вимірювальні перетворювачі (ВП) прямого виміру та компенсаційні ВП (метод вимірювання, структурні схеми, рівняння ідеальної роботи).

2. Класифікація похибок вимірювальних перетворювачів (ВП) та систем (класифікаційна таблиця та пояснення термінів). Метрологічна модель похибок ВП з поліноміальною функцією перетворення (в одиницях вхідної та вихідної величин).

3. Структура нормованих метрологічних характеристик вимірювальних перетворювачів (ВП) та систем. Характеристики типу вимірювань. Скалярний та векторний ВП.

4. Прямі та зворотні функції перетворення (ФП) інформаційно-вимірювальних пристроїв (ІВП). Форми запису прямої та зворотної ФП для скалярного та векторного ІВП. Переваги зворотної ФП.

5. Динамічні метрологічні характеристики інформаційно-вимірювальних пристроїв та систем. Забезпечення потрібних діапазону робочих частот, амплітудної та фазової динамічних похибок вимірювального перетворювача (ВП). Вплив цих вимог на статичні характеристики ВП.

6. Аналіз розімкненої структурної схеми інформаційно-вимірювальних пристроїв та систем з послідовним з'єднанням ланок (коефіцієнт перетворення, адитивна похибка, мультиплікативна похибка).

7. Аналіз розімкненої структурної схеми інформаційно-вимірювальних пристроїв та систем з паралельним з'єднанням ланок (коефіцієнт перетворення, адитивна похибка, мультиплікативна похибка).

8. Аналіз замкненої структурної схеми інформаційно-вимірювальних пристроїв та систем зі зворотнім від'ємним зв'язком (коефіцієнт перетворення, адитивна похибка, мультиплікативна похибка).

Приклад екзаменаційного білету
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 173 Авіоніка

(назва)

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 1

комплексного атестаційного екзамену на здобуття освітнього ступеня бакалавра зі спеціальності
173 Авіоніка

1. Передатні функції і частотні характеристики ланок і систем автоматичного керування (САК).
2. Алгоритми роботи горизонтальних каналів інерціальної навігаційної системи напіваналітичного типу з географічним опорним тригранником.
3. Структура нормованих метрологічних характеристик вимірювальних перетворювачів (ВП) та систем. Характеристики типу вимірювань. Скалярний та векторний ВП.
4. Пояснити принцип роботи компенсаційного гіротахметра на 2-х ступеневому гіроскопі та розрахувати максимальний струм $I_{\text{дм max}}$ датчика моменту, якщо кінетичний момент гіроскопа $H=30$ г см с, коефіцієнт передачі датчика моменту $K_{\text{дм}} = 30$ г см /А, коефіцієнт передачі датчика кута $k_{\text{дк}} = 40$ V/рад, коефіцієнт підсилення ланки зворотнього зв'язку $k_{\text{зз}} = 8,5$ A/V, c – коефіцієнт пружності пружини, максимальне значення вимірюваної переносної кутової швидкості $\omega_{\text{max}} = 1$ рад/с.
5. Паспортна функція перетворення (ФП) вимірювального перетворювача (ВП) тиску має вигляд : $U_{\text{П}} = K_{0\text{П}} + K_{1\text{П}}P$, [В]. Числові значення коефіцієнтів ФП: $K_{0\text{П}} = -0,3\text{В}$; $K_{1\text{П}} = 1\text{В/атм}$. Обчислити: Числове значення результату вимірювання (РВ) тиску \hat{P} , [атм] , якщо результат вимірювання вихідної напруги ВП за допомогою вольтметра складає $\hat{U} = 2,7\text{В}$.
6. Математична модель і принцип дії сервоприводу літака

Кожне завдання має однакову вагу і оцінюється за стобальною шкалою. Оцінка розраховується як середнє арифметичне оцінок по кожному завданню і округлюється за математичними правилами

Затверджено на засіданні

кафедри систем керування літальними апаратами

Протокол №__ від «___» _____ 2022 року

В. о. зав. кафедри _____ Сергій Пономаренко

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Критерії оцінювання

Критерії оцінювання стосуються лише змісту письмової відповіді на питання комплексного атестаційного екзамену, тобто оцінюється лише письмова робота студента.

Відповідь на кожне питання оцінюється за 100-бальною шкалою:

- повна відповідь з висновками формул, схемами, поясненнями, прикладами, розрахунками (не менше 95 % потрібної інформації) - 100...95 балів;

- повна відповідь з непринциповими неточностями (не менше 85 % потрібної інформації) - 94...8 балів;

- повна принципово правильна відповідь зі скороченим набором схем, пояснень, прикладів, розрахунків (не менше 75 % потрібної інформації) - 84...75 бали;

- повна принципово правильна відповідь зі скороченим набором схем, пояснень, прикладів, розрахунків та (або) з неточностями у формулюваннях (не менше 65 % потрібної інформації) - 74...65 балів;

- не повна відповідь, в якій відсутні принципові неточності (не менше 60 % потрібної інформації) - 60...65 балів;

- неповна відповідь з грубими помилками та (або) принциповими неточностями (менше 60 % потрібної інформації) або відсутність відповіді – 0 балів.

Загальна оцінка за екзамен обчислюється як середнє арифметичне значення балів шести завдань. Таким чином, за результатами екзамену студент може набрати від 0 до 100 балів. Чисельний еквівалент оцінки в балах:

$$Q = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6) / 6.$$

Таким чином, за результатами екзамену студент може набрати від 0 до 100 балів.

Залежно від загальної суми отриманих балів Q студенту, згідно критеріїв ECTS, виставляється оцінка:

Сума набраних балів	Університетська шкала оцінок рівня здобутих компетентностей
95...100	<i>Відмінно</i>
85...94	<i>Дуже добре</i>
75...84	<i>Добре</i>
65...74	<i>Задовільно</i>
60...64	<i>Достатньо</i>

**Рекомендована література для підготовки до атестаційного
екзамену**

1. Skogestad S., Postlethwaite I. Multivariable Feedback Control: Analysis and Design, 2nd Edition, New York: Wiley. – 2005. – 569 p.
2. Kwakernaak H.. H2 optimisation - Theory and applications to robust control design. 2007. – 56 P. Пупков К. А., Егупов Н.Д. Методы классической и современной теории автоматического управления. Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – Т. 1.– 656 с.
3. Пупков К. А., Егупов Н.Д. Методы классической и современной теории автоматического управления. Теория оптимизации автоматического управления. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – Т. 4.– 744 с.
4. Бесекерский В. А. Теория систем автоматического управления. СПб.: Профессия, 2004. – 752 с.
5. Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. - М.: Машиностроение, 1976. - 185 с.
6. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы. – СПб.: Питер, 2005. – 336 с.
7. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы. – СПб.: Питер, 2006. – 272 с.
9. Kwakernaak H.. H2 optimisation - Theory and applications to robust control design. 2007. – 56 P. Режим доступа:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1367578802800104>
10. Apostolyuk V. Coriolis vibratory gyroscopes. Theory and design. Springer – 2016. –117p.
11. Apostolyuk V, Logeeswaran V. J. and Tay F. Efficient design of micromechanical gyroscopes // Journal of Micromechanics and Microengineering. – 2002. - № 12 pp. 948-954. Режим доступа:
12. Лукьянов Д.П., Распопов В.Я., Филатов Ю.В. Прикладная теория гироскопов. – СПб.: ЦНИИ «Электроприбор». – 2015. – 316 с.
11. Павловский М.А. Теория гироскопов. – К.: Вища школа, 1986. - 303 с.

12. Одинцов А.А, Теория и расчет гироскопических приборов. - К.: Вища школа, 1985. - 392 с.

13. Булгаков Б.В. Прикладная теория гироскопов. - М.: МГУ, 1976. - 400 с.

14. Ишлинский А.Ю. и др. Лекции по теории гироскопов. - М.: МГУ, 1983. - 243 с.

15. Магнус К. Гироскоп. Теория и применение. - М.: Мир, 1974. - 626 с.

16. Гироскопические системы, ч. 1 и 2 /Под ред. Д.С. Пельпора. - М.: Высшая школа, 1971.

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0960-1317/12/6/327>

19. Збруцький О.В., Маляров С.П., Янкелевич Г.Є. Двовимірні гіроскопічні системи керування з симетрією // Київ, "Політехніка". – 2019. - 120с.

20. Titterton, D. H., & Weston, J. L. Strapdown inertial navigation technology (2nd ed.). Institution of Engineering and Technology. – 2004. – 552 p.

20. Бондар П.М., Степанковський Ю.В. Фізичні основи орієнтації та навігації: навчальний посібник. Ч. 2, Ч. 3. - Кіровоград: ПОЛІМЕД-Сервіс, 2009. - 204 с.

21. [Вовасов В.Е., Герко С.А.](#) Комплексирование радиотехнических систем управления с другими информационными датчиками: учебное пособие для вузов. – М.: МАИ. – 2020. – 242 с.

22. Бесекерский В.А., Фабрикант Е.А. Динамический синтез систем гироскопической стабилизации. - Л.: Судостроение, 1968.

23. Климов Д.М. Инерциальная навигация на море. - М.:Наука, 1984.

24. Бромберг П.В. Теория инерциальных навигационных систем. - М.: Ма-шиностроение, 1979.

25. Мелешко В.В. Инерциальные навигационные системы. Начальная выставка. - К.: Корнейчук, 2000. - 160 с.

27. Навигационные приборы и системы / Б.Б. Самотокин, В.В. Мелешко, Ю.В. Степанковский. - К.: Вища школа, 1986. - 343 с.

28. Titterton, D. H., & Weston, J. L. Strapdown inertial navigation technology (2nd ed.). Institution of Engineering and Technology. – 2004. – 552 p.

Режим доступу: <http://docshare04.docshare.tips/files/23602/236021451.pdf>

29. Roger W. Pratt. Flight Control Systems. Practical issues in design and implementation. - The Institution of Engineering and Technology. – 2011. – 412 p.

30. Sadraey M. Automatic Flight Control Systems // Synthesis Lectures on Mechanical Engineering, February 2020, Vol. 4, No. 1 , Pages 1-173. Режим доступу:

30. Воробьёв В.В., Киселёв А.М., Поляков В.В. Системы управления летательных аппаратов. — М.: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 2008. — 203 с.

31. Системы автоматического управления полетом. Самолет как объект управления. – М. : ИД Академии Жуковского, 2018. – 52 с.

32. Казак В.Н., Туник А.А., Салимон В.И. Системы автоматического и полуавтоматического управления полетом. – Киев: изд. НАУ, 2001. – 200 с.

33. Асланян А.Э. Системы автоматического управления полётом летательных аппаратов. – Киев: ВВАИУ, 1984. – 436 с.

34. Красовский А. А. Системы автоматического управления полетом и их аналитическое конструирование. - М: Наука, 1973.

35. Михалёв И.А., Окоемов Б.Н., Чикулаев М.С. Системы автоматического управления самолетом. – М.: Машиностроение. – 1987. – 240 с.

36. Roger W. Pratt. Flight Control Systems. Practical issues in design and implementation. - The Institution of Engineering and Technology. – 2011. – 412 p.

37. Sadraey M. Automatic Flight Control Systems // Synthesis Lectures on Mechanical Engineering, February 2020, Vol. 4, No. 1 , Pages 1-173. Режим доступа:

<https://www.morganclaypool.com/doi/abs/10.2200/S00968ED1V01Y201911MEC023>