



НАЗВА КУРСУ

Жорсткість складних пружних систем

Робоча програма навчального модуля (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка</i>
Освітня програма	<i>Літаки і вертольоти</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>120 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік</i>
Розклад занять	<i>В розкладі представлено згідно РНП лекції- 2 год. і 1 год. лабораторні роботи кожного тижня рівномірно протягом семестра</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: доцент кафедри АРБ, к.т.н., Бондар Юрій Іванович.</i>
Розміщення курсу	<i>https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3259</i>

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Навчальна дисципліна належить до циклу вибіркових освітніх компонентів та відіграє значну роль у підготовці фахівців у галузі літакобудування, закладаючи основні закони формування конструкцій авіаційних двигунів.

Дисципліна формує теоретичне та практичне застосування математичних методів визначення міцності і пружності механічних конструкцій ЛА і параметрів їх елементів, самостійної розробки відповідних математичних моделей як в інтегральному (параметричному) вигляді, так і з використанням методів числової апроксимації. Методи та регламентація визначення навантажень на конструкцію ЛА. Методи визначення пружно-деформованого стану елементів ЛА.

Метою кредитного модуля є формування у студентів здатностей:

- визначення інтегральних та розподілених навантажень на конструкцію ЛА,
- визначення жорсткості аеродинамічних елементів ЛА,
- конкретизації вимог норм льотної придатності до коливання авіаційних конструкцій ,
- користування методами проектувального та перевірного розрахунку, методів статичних та льотних випробувань, визначення ресурсу ЛА.

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

знання:

- методи проектувального розрахунку міцності конструкцій ЛА;
- норми льотної придатності, їх структура;
- методи проектувального розрахунку міцності конструкцій ЛА;
- методи визначення пружно-деформованого стану конструкцій;
- методи статичних та льотних випробувань ЛА.
- визначення діапазону експлуатаційних швидкостей та перевантажень;
- питання ресурсу конструкцій ЛА.
- визначення інтегральних та розподілених зовнішніх навантажень;

уміння:

- визначати матриці жорсткості пружної системи в глобальній системі координат;
- створювати скінченно-елементні моделі;
- визначати розрахункову схему вузлів та агрегатів в ЛА;
- комп'ютерного моделювання складних конструкцій.
- роботи з нормами льотної придатності;
- розраховувати пружно-деформований стан складних тонкостінних підкріплених конструкцій.

досвід:

- практичного застосування набутих теоретичних знань;
- самостійної роботи з навчальною, навчально-методичною і довідковою літературою.
- самостійної праці умовах реального дослідно–конструкторського бюро та дослідного виробництва, насамперед авіаційного напрямку.
- комп'ютерного моделювання складних конструкцій;

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Вивчення цієї дисципліни вимагає наявності у студентів базових знань з навчальної дисципліни «Деталі машин та основи конструювання (8/II)», навчальних дисциплін з стандартизації та взаємозамінності (1/св), навчальних дисциплін з основ авіації і космонавтики та загальній будові ЛА(2/св) , знання і вміння з дисципліни «Конструкція двигунів ЛА» , «Проектування ЛА»(4/св), «Конструювання ЛА»(11/II).

3. Зміст навчальної дисципліни

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 120 годин.

Теоретичний курс дисципліни складає 36 академічних годин і містить розділи і теми:

РОЗДІЛ 1. Визначення навантажень на конструкцію ЛА.

Тема 1.1 Деформації конструкцій літака під впливом статичних навантажень

Тема 1.2 Вплив деформації на конструкцію.

Тема 1.3 Порівняння критичних швидкостей крила, швидкості, які прийняті для розрахунку міцності ЛА.

РОЗДІЛ 2. Методи визначення пружно-деформованого стану елементів ЛА.

Тема 2.1 Властивості жорсткої конструкції.

Тема 2.2 Метод кінцевих елементів та його застосування до задач визначення пружно-деформованого стану конструкцій ЛА.

РОЗДІЛ 3. Відомості з аеродинаміки: двовимірне і тривимірне плинну рідини.

Тема 3.1. Установлений рух тонких профілів

Тема 3.2 Коливання тонких профілів у потоці

РОЗДІЛ 4. Статична аероупругість.

Тема 4.1. Явища аероупругості елементів ЛА

Тема 4.2. Форми аероупругих коливань

РОЗДІЛ 5. Динамічна реакція

Тема 5.1. Динамічна реакція на одиночний порив

Тема 5.2. Динамічна реакція на безперервну атмосферну турбулентність.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. A Modern Course in Aeroelasticity: Third revised and enlarged edition / Dowell, Crawley/ Kluwer Academic Publishers Dordrecht / Boston / London , 1995 Kluwer Academic Publishers.
2. Advanced aircraft design : conceptual design, analysis, and optimization of subsonic civil airplanes / Egbert Torenbeek/ pages Includes bibliographical references and index ISBN 978-1-118-56811-8 (cloth), 2013 Egbert Torenbeek
All rights reserved 2013 John Wiley and Sons, Ltd.
3. Aerodynamics for Engineering Students, Fifth Edition / E.L. Houghton, P.W. Carpenter/ Fifth edition published by Butterworth-Heinemann 2003, Includes index. ISBN 0 7506 51 11 3
4. Aircraft Structures for engineering students, Fourth Edition/ T. H. G. Megson/ Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK30 Corporate Drive, Suite 400, Burlington, MA 01803, USA, First edition 2007
5. Aeroelasticity / Raymond Bisplinghoff, Robert Halfman / Cambridge publishing company, 1956.
6. Introduction to Aircraft Aeroelasticity and Loads /Jan R. Wright, Jonathan E. Cooper/ University of Liverpool, UK. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England,2007

1. <https://arb.kpi.ua>.

2. <http://iat.kpi.ua>

Обов'язковими для прочитання є розділи з наведеної базової літератури, що тематично відповідають лекційному матеріалу. Факультативними з додаткової літератури є джерела 3, 4, 5.

Додаткова література необхідна для проведення розрахункових робіт на лабораторних роботах.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Дисципліна розрахована на один семестр. Вона складається з лекцій, лабораторних робіт, та самостійної роботи студента.

В лекційній частині курсу викладено методи визначення деформацій літака, його елементів та систем, умови їх взаємозв'язку та взаємодії, а також принципи формування реальних авіаційних конструкцій з урахуванням умов їх експлуатації. Тематика розділів 1–5 є базою дисципліни, так як дає студенту відповідний об'єм знань щодо будови та роботи всіх частин літака, їх взаємозв'язку та взаємодії. Від ступеня засвоєння цього матеріалу визначається глибина знань студента щодо предмета вивчення.

Перелік тем лекцій:

Лекція 1. Жорсткість аеродинамічних елементів ЛА.

Лекція 2. Швидкості, які прийняті для розрахунку міцності ЛА.

Лекція 3. Порівняння критичних швидкостей крила.

Лекція 4. Деформації конструкцій літака під впливом статичних навантажень.

Лекція 5. Жорсткісні властивості конструкцій. Деформація під впливом кількох сил. Коефіцієнти впливу.

Лекція 6. Властивості коефіцієнтів впливу.

Лекція 7. Деформації під впливом розподілених сил. Функції впливу.

Лекція 8. Спрощена схема пружного літака. Деформації крил літака.

Лекція 9. Відомості з аеродинаміки: двовимірне і тривимірне плину рідини.

Лекція 10. Установлений рух тонких профілів.

Лекція 11. Крила кінцевого розмаху.

Лекція 12. Коливання тонких профілів у потоці.

Лекція 13. Кручення простого двовимірного крила з елероном.

Лекція 14. Тонкі прямі крила. Стрілоподібні крила.

Лекція 15. Флатер простої системи з двома ступенями свободи. Форми аеропружних коливань.

Лекція 16. Флатер стрілоподібних крил. Флатер з одним ступенем свободи.

Лекція 17. Динамічна реакція на одиночний порив.

Лекція 18. Динамічна реакція на безперервну атмосферну турбулентність.

Лабораторні роботи.

Метою лабораторних робіт є закріплення на практиці теоретичних знань, отриманих на лекціях.

Лабораторна робота 1. Визначення матриці жорсткості і піддатливості прямолінійного стержня.

Лабораторна робота 2. Визначення матриці жорсткості і піддатливості криволінійного стержня.

Лабораторна робота 3. Визначення матриці жорсткості і піддатливості прямолінійного стержня в новій системі координат.

Лабораторна робота 4. Визначення матриці жорсткості пружної системи в глобальній системі координат.

Лабораторна робота 5. Визначення деформації пружної аеродинамічної поверхні.

6. Самостійна робота студента

Мета: навчити студента самостійної роботи над літературою, умінню вести пошук додаткових джерел інформації, умінню узагальнювати інформацію і доповідати;

- поширити та закріпити знання студента з тематики кожного розділу навчальних матеріалів дисципліни шляхом поглиблення знань з лекційного матеріалу, а також самостійне вивчення окремих тем. Перелік питань відведених на самостійне відпрацювання:

1. Визначення навантажень на конструкцію ЛА.
2. Норми льотної придатності.
3. Швидкості, які прийняті для розрахунку міцності ЛА
4. Максимальні перевантаження ЛА.
5. Оригінальна «швидкість-перевантаження».
6. Проектувальний розрахунок елементів ЛА.
7. Навантаження на крила та оперення.
8. Навантаження на фюзеляж та шасі.
9. Методи визначення пружно-деформованого стану елементів ЛА.
10. Методи визначення розподілених аеродинамічних навантажень
11. Метод кінцевих елементів та його застосування до задач визначення пружно-деформованого стану конструкцій ЛА
12. Жорсткість конструкцій ЛА.
13. Явища аеропружності елементів ЛА
14. Визначення жорсткісних параметрів елементів ЛА.
15. Випробування конструкцій ЛА.
16. Статичні та льотні випробування конструкцій ЛА

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування лекцій і лабораторних робіт є обов'язковим і здійснюється за затвердженим розкладом або згідно з індивідуальним планом здобувача вищої освіти. В разі пропуску з поважних причин лекцій студент опрацьовує відповідну літературу і викладає основні положення у короткому рефераті. Відпрацювання пропущених лабораторних занять проводиться наприкінці семестру за окремим затвердженим графіком. На аудиторних заняттях мобільні телефони мають бути відключені. Складні моменти тем, що виносяться на лекції можуть доручатися здобувачам вищої освіти для підготовки коротких доповідей або дискусійних питань до обговорень з метою збільшення активності слухачів. Лабораторні роботи захищаються під час виконання чергової лабораторної роботи у вигляді звітів з відповіддю на контрольні запитання. Пропущені лабораторні роботи проводяться і захищаються за окремим графіком в кінці семестру.

Використовується наступні правила заохочувальних і штрафних балів.

За участь в інститутській олімпіаді з дисципліни нараховується 5 балів, за роботу з удосконалення дидактичного матеріалу з дисципліни нараховується 5 балів, за активну участь в обговоренні складних тем +1...4 балів

За не допуск до лабораторного практикуму у зв'язку з незадовільним вхідним контролем при повторному відпрацюванні знімається 1 бал, за відсутність на практичному занятті без поважних причин знімається 2 бали, відсутність на занятті без поважної причини: -1...-4 бал.

В разі визначення не самостійного виконання практичних занять- результати анулюються.

2. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль: *експрес-опитування за темою заняття, контрольні роботи;*

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: залік; зарахування лабораторних робіт.

Умови допуску до семестрового контролю: зарахування усіх лабораторних робіт; семестровий рейтинг більше 60 балів.

2.1. Рейтингова система оцінювання результатів навчання:

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за лабораторні роботи та модульну контрольну роботу.

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

1. Лабораторні роботи

Ваговий бал – 15.

Максимальна кількість балів дорівнює 15 балів x4 =60 балів.

Критерії оцінювання:

- повне виконання завдання – 15;
- виконання, але теоретичні знання недостатні – 10...14;
- виконання, але немає звіту – 8;
- робота не виконувалась – 0.

2. Модульна контрольна робота

Ваговий бал – 20.

Максимальна кількість балів дорівнює 20 балів x2 =40 балів.

Критерії оцінювання:

- повне виконання завдання – 10;
- виконання, але теоретичні знання недостатні – 6...8;
- робота не виконувалась – 0.

Штрафні та заохочувальні бали:

- творчий підхід до роботи, активна участь в обговоренні тем, самостійний пошук тем: +1...4 балів;
- відсутність пропусків лекцій без поважних причин: +2...4 бали;

- відсутність на занятті без поважної причини: –1...–4 бал.
Максимальна кількість заохочувальних балів дорівнює 10.

Розрахунок шкали (R) рейтингу:

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$RD = 60 + 40 = 100 \text{ балів.}$$

Таким чином, рейтингова шкала з дисципліни складає **R = RC = 100 балів.**

Студенти, які наприкінці семестру мають рейтинг менше, ніж 60 балів, а також ті, хто хоче підвищити оцінку у системі ECTS, виконують контрольну роботу. Контрольне завдання цієї роботи складається з теоретичного питання, яке перевіряє знання теорії, та задачі, яке перевіряє практичні навички студента. Максимальна кількість балів, які нараховуються за контрольну роботу, дорівнює 100.

Теоретична частина.

- вільне володіння матеріалом, відповідь на усі додаткові питання – 50 балів;
- досить впевнене володіння матеріалом, неповні відповіді на додаткові питання – 40 балів;
- невпевнена відповідь на основне питання, неповні відповіді на додаткові питання – 30 балів;
- не має відповіді на основне питання – 0 балів.

Практична частина.

- впевнене та швидке вирішення задачі, вільне володіння інструментарієм, впевнені відповіді на додаткові питання – 50 балів;
- повне вирішення задачі, але неоптимальний програмний код – 40 балів;
- неповне вирішення задачі, труднощі у володінні мовою програмування – 30 балів;
- задача не вирішена – 0 балів.

Рейтингові бали, R	Оцінка за університетською шкалою
95–100	Відмінно
85–94	Дуже добре
75–84	Добре
65–74	Задовільно
60–64	Достатньо
< 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску до заліку	Не допущено

Умови позитивної проміжної атестації у семестрі.

Для отримання "зараховано" з першої проміжної атестації (8 тиждень) студент матиме не менш, ніж 20 балів (за умови, якщо на початок 8 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів "ідеальний" студент має отримати 40 балів).

Для отримання "зараховано" з другої проміжної атестації (14 тиждень)) студент матиме не менш, ніж 60 балів (за умови, якщо на початок 14 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів "ідеальний" студент має отримати 100 балів).

8. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Теми рефератів.

1. Визначення навантажень на конструкцію ЛА.
2. Норми льотної придатності.
3. Швидкості, які прийняті для розрахунку міцності ЛА
4. Максимальні перевантаження ЛА.
5. Оригінальна «швидкість-перевантаження».

6. Проектувальний розрахунок елементів ЛА.
7. Навантаження на крила та оперення.
8. Навантаження на фюзеляж та шасі.
9. Методи визначення пружно-деформованого стану елементів ЛА.
10. Методи визначення розподілених аеродинамічних навантажень
11. Метод кінцевих елементів та його застосування до задач визначення пружно-деформованого стану конструкцій ЛА
12. Аеропружність конструкцій ЛА.
13. Явища аеропружності елементів ЛА
14. Визначення жорсткісних параметрів елементів ЛА.
15. Випробування конструкцій ЛА.
16. Статичні та льотні випробування конструкцій ЛА
17. Методи визначення ресурсу конструкцій ЛА

Питання до модульної контрольної роботи.

1. Вираження енергії деформації через коефіцієнти впливу.
2. Інтегрування за допомогою вагових матриць.
3. Енергетичні методи обчислення прогинів.
4. Диференціальні рівняння руху балки.
5. Обчислення деформацій суцільних крил змінної товщини.
6. Динамічна рівновага тонкої балки при крученні.
7. Визначення нормальних функцій та частот власних коливань.
8. Довільні малі рухи профілю в дозвуковому потоці.
9. Крила і тіла в тривимірному потоці.
10. Вплив стисливості потоку на флатер.
11. Закони подібності для пружних систем.
12. Моделювання інерційних властивостей.
13. Монтаж і випробування систем. Підготовка агрегатів планера для монтажу обладнання.
14. Основні етапи і програми випробувань літальних апаратів. Види і засоби випробувань, моделювання, стендові і натурні випробування, літаючі лабораторії, аналоги, літаючі моделі, сертифікаційні випробування на відповідність нормам льотної придатності. Пасивний і активний експеримент.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: доцентом кафедри АРБ, к.т.н., Бондарем Юрієм Івановичем.

Ухвалено кафедрою АРБ (протокол № 10 від 16.06.23)

Погоджено Методичною комісією НН ІАТ (протокол №6 від 22.06.20232)