



Моделювання аеродинамічних явищ та процесів в умовах дозвукових, трансзвукових та надзвукових швидкостей

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Третій (доктора філософії)</i>
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка
Освітня програма	Авіаційна та ракетно-космічна техніка
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	2 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	180 годин/ 6 кредитів ECTS
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен/РГР
Розклад занять	Лекції - 26 навч. годин, практичні (семінарські) заняття - 18 навч. годин.
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: доцент ІАТ, к.т.н. Зінченко Дмитро Миколайович +320632973370 Практичні / Семінарські: професор ІАТ, д.т.н. Кабанячий Володимир Володимирович vkabanyachyi@ukr.net
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс (Moodle, Google classroom, тощо)

Програма навчальної дисципліни

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

Мета навчальної дисципліни є формування у здобувачів вищої освіти таких компетентностей:

- здатність застосовувати знання в галузі механіки твердого тіла, рідини, газу та плазми для розробки математичних моделей пов'язаних задач за спеціалізацією.
- здатність самостійно виконувати науково-дослідну діяльність у галузі авіаційної та ракетно-космічної техніки з використанням сучасних теорій, методів та інформаційно-комунікаційних технологій.
- здатність проводити теоретичні дослідження, математичне та комп'ютерне моделювання аеродинамічних явищ та процесів.
- здатність розробляти і використовувати методи проведення лабораторних та натурних аеродинамічних випробувань ЛА, з введенням необхідних поправок, які враховують відмінності фізичних властивостей лабораторних моделей від натурних конструкцій та особливі лабораторні умови, а також з урахуванням усіх видів похибок.

Предметом дисципліни є особливості застосування числових методів обчислюваної аеродинаміки, що на сьогодні є широкоживаними в процесі проектування авіаційної техніки.

Програмними результатами навчання є:

- Уміння системно мислити та застосовувати творчі здібності до формування принципово нових ідей. Демонструвати власні думки, вміння дискутувати, аргументовано захищати прийняті рішення.
- Уміння обґрунтовано обирати та розробляти математичні моделі для описання складних зв'язаних задач, що відносяться до процесів проектування, виробництва, випробування та (або) сертифікації авіаційної та ракетно-космічної техніки.
- Підтверджене професійними сертифікатами вміння використовувати новітнє спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язання задач у науковій діяльності відповідно до освітньої програми.
- Уміння розробляти методики експериментальних досліджень процесів та об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки з використанням новітнього автоматизованого обладнання.
- Уміння визначати причинно-наслідкові зв'язки між характеристиками технологічних систем та об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки, розуміння та навички використання принципів системного аналізу їх для удосконалення та розвитку,

а також

- **знання:** математичних основ вживаних методів обчислюваної аеродинаміки ; методів опису структур розрахункових моделей та їх властивостей засобами сучасних мов програмування; методів створення алгоритмів інтеграції розрахункових моделей та процесів проектування;
- **уміння:** визначати розв'язані і формулювати нерозв'язані задачі з досліджуваної проблеми чи задачі; формулювати мету дослідження та задачі, які належить розв'язати для її досягнення; виконувати багатокритеріальну оптимізацію; вирішувати задачу одновимірної оптимізації з урахуванням спеціальних вимог і особливостей процесу проектування механічних систем; вирішувати задачу багатовимірної оптимізації з обмеженнями з урахуванням спеціальних вимог і особливостей процесу проектування механічних систем; застосовувати числові методи аналізу для дослідження механічних систем із використанням засобів сучасних інформаційних технологій;
- **досвід:** розробка алгоритмів використання розрахункових моделей поверхні агрегатів планеру літака, аналіз результатів числового моделювання та використання їх в процесі аналізу аеродинамічних характеристик літальних апаратів.

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

Вивчення дисципліни вимагає наявності у докторів філософії навичок користування персональними комп'ютерами на рівні досвідченого користувача, володіння основними методами програмування, а також наявності знань і вмінь, які вони отримають під час вивчення дисциплін першого та другого рівнів підготовки за спеціальністю « 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка» а також дисциплін «Програмування та використання БД « (3/ св) , «Основи наукових досліджень» (1/III) та « Механіка КМ » (2/св).

Результати вивчення докторами філософії дисципліни Моделювання аеродинамічних явищ та процесів в умовах дозвукових, транзвукових та надзвукових швидкостей є базовими для виконання дисертації та подальших наукових досліджень.

3. Зміст навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин			
	Всього	у тому числі		
		Лекції	Практичні	СРС
Тема 1. Основні поняття та рівняння.	46	4	2	40
Тема 2. Засади обчислень.	48	6	3	39
Тема 3. Практичне застосування обчислювальної аеродинаміки.	39	4	2	33
Тема 4. Інші теми	39	4	2	33
РГР	4			4
Екзамен	4			4
Всього годин:	180	18	9	153

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література.

1. Batchelor G.K. An Introduction to Fluid Dynamics. Cambridge University Press, The Edinburgh Building, Cambridge CB2 2RU, UK, 2000. - 631 p.
2. Houghton E.L. & Carpenter P.W. Aerodynamics for Engineering Students. - Linacre House, Journal Hill, Oxford OX2 8DP, 2003. - 614 p.
3. Fletcher C. A. J. Computational Techniques for Fluid Dynamics. 1 Fundamental and General Techniques. - 2nd ed. p. cm. - Springer series in computational physics, 1998. - 401 p. (<https://doi.org/10.1007/978-3-642-58229-5>).
4. Fletcher C. A. J. Computational Techniques for Fluid Dynamics. 2 Specific Techniques for Different Flow Categories. r. - 2nd ed. p. cm. - Springer series in computational physics, 2005. - 493 p. (<https://doi.org/10.1007/978-3-642-58239-4>)

Допоміжна література

1. Frank M. W. Fluid Mechanics. The McGraw-Hill Companies, Inc., 1221 Avenue of the Americas, New York, NY 10020, 2011. – - 1131 p.
2. Anderson, John D. Computational Fluid Dynamics: The Basics With Applications. Science/Engineering/Math. McGraw-Hill Science, 1995 – 287 p.

Інформаційне забезпечення

1. Сайт НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського" <http://kpi.ua>.
2. Сайт ІАТ <https://iat.kpi.ua/about-2/>
3. Сайт кафедри космічної інженерії <https://ki.kpi.ua/en/>.
4. Сайт кафедри АРБ <https://arb.kpi.ua/uk/>

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Кредитний модуль розраховано на один семестр. Він складається з лекцій та комп'ютерних практикумів.

В лекційній частині курсу описуються принципи розрахунку обтікання поверхні агрегатів ЛА, доктори філософії вивчають сучасну технологію моделювання обтікання поверхні літальних апаратів. Виконання комп'ютерних практикумів повинно допомогти докторам філософії більш глибоко засвоїти теоретичний матеріал. Під час комп'ютерних практикумів доктори філософії закріплюють навички створення аналізу вірогідності вихідних даних та вибору розрахункових схем ЛА.

Лекційні заняття.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
Тема.1 Моделювання обтікання поверхні течією із дозвуковою швидкістю.	
1.	Лекція 1. Особливості методів обчислюваної аеродинаміки, що застосовуються для моделювання дозвукової течії. Сучасні методи обчислюваної аеродинаміки, що застосовуються для вирішення задач обтікання поверхні течією із дозвуковою швидкістю. <u>Лекція проводиться у вигляді індивідуальних занять.</u>
2.	Лекція 2. Типові задачі проектування ЛА, що потребують моделювання дозвукової течії. Типові задачі дозвукової аеродинаміки. Зв'язок характерних задач дозвукової аеродинаміки із етапами проектування агрегатів конструкції ЛА.
Тема 2 Моделювання обтікання поверхні течією із трансзвуковою швидкістю.	
3.	Лекція 3. Особливості обтікання поверхні ЛА із трансзвуковою швидкістю. Основні засади трансзвукової аеродинаміки, що пов'язані із задачами проектування конструкції сучасних ЛА.
4.	Лекція 4. Особливості методів обчислюваної аеродинаміки, що застосовуються для моделювання трансзвукової течії. Сучасні методи обчислюваної аеродинаміки, що застосовуються для вирішення задач обтікання поверхні течією із трансзвуковою швидкістю.
5.	Лекція 4. Типові задачі проектування ЛА, що потребують моделювання трансзвукової течії. Типові задачі трансзвукової аеродинаміки. Зв'язок характерних задач трансзвукової аеродинаміки із етапами проектування агрегатів конструкції ЛА.

Тема 3 Моделювання обтікання поверхні течією із надзвуковою швидкістю.	
6.	Лекція 6. Особливості обтікання поверхні ЛА із надзвуковою швидкістю. Основні засади надзвукової аеродинаміки, що пов'язані із задачами проектування конструкції сучасних ЛА.
7.	Лекція 7. Особливості методів обчислюваної аеродинаміки, що застосовуються для моделювання надзвукової течії. Сучасні методи обчислюваної аеродинаміки, що застосовуються для вирішення задач обтікання поверхні течією із надзвуковою швидкістю.
8.	Лекція 8. Особливості розрахункових моделей, що застосовуються для моделювання надзвукової течії. Сучасні методи обчислюваної аеродинаміки, що застосовуються для вирішення

	задач обтікання поверхні течією із надзвуковою швидкістю.
9.	Лекція 9. Типові задачі проектування ЛА, що потребують моделювання надзвукової течії. Типові задачі надзвукової аеродинаміки. Зв'язок характерних задач надзвукової аеродинаміки із етапами проектування агрегатів конструкції ЛА.

Комп'ютерний практикум.

№ з/п	Назва комп'ютерного практикуму	Кількість ауд.годин
1	Панельно-вихровий метод симетричних особливостей. Загальні положення. (Тема 1) <u>Комп'ютерний практикум проводиться у вигляді індивідуальних занять.</u>	2
2	Визначення аеродинамічних характеристик компонування літака. Створення розрахункової моделі. (Тема 1)	2
3	Інтегро-диференційний метод в'язко-невязкої взаємодії для розрахунку обтікання поверхні ЛА трансзвуковою течією. Загальні положення. (Тема 2) <u>Комп'ютерний практикум проводиться у вигляді індивідуальних занять.</u>	2
4	Метод скінчених елементів та його застосування для розрахунку обтікання поверхні ЛА надзвуковою течією. Загальні положення. (Тема 3) <u>Комп'ютерний практикум проводиться у вигляді індивідуальних занять.</u>	3

6. Самостійна робота студента/аспіранта

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1.	Місце обчислюваної аеродинаміки в процесі проектування сучасних літальних апаратів. Сучасні задачі обчислюваної аеродинаміки та засоби їх вирішення. Класифікація методів обчислюваної аеродинаміки та задач, що застосовуються (Тема 1)	29
2.	Панельно-вихоровий метод симетричних особливостей. Створення розрахункової моделі. Загальні положення. (Тема 1)	29
3.	Загальні засади вибору та подальшої оптимізації параметрів розрахункової моделі літака із наявністю поверхні екрану. Особливості побудови розрахункової моделі. Досягнення оптимального рівня обчислюваної ефективності та точності розрахунку. (Тема 1)	29
4.	Особливості компонування спеціальної розрахункової моделі транспортного літака для визначення впливу працюючої системи активного реверсу на характеристики літального апарату. Створення	29

	розрахункової моделі. (Тема 2)	
5	Особливості компонування спеціальної розрахункової моделі несучої схеми крило+фюзеляж для визначення загальних аеродинамічних характеристик гіперзвукового літального апарату. (Тема 3)	29

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладачі ставить перед здобувачем:

- **правила відвідування занять:**
 - у режимі очного навчання заняття відбуваються в аудиторії згідно розкладу занять;
 - у режимі дистанційного навчання заняття відбуваються у вигляді онлайн-конференції у програмі Zoom - посилання на конференцію видається на початку семестру.
- **правила поведінки на заняттях:**
 - забороняється займатися будь-якою діяльністю, яка прямо не стосується предмету дисципліни або може зашкодити здоров'ю;
 - дозволяється використання засобів зв'язку лише для пошуку необхідної для виконання завдань інформації в Інтернет;
 - забороняється будь-яким чином не етична поведінка під час проведення занять.
- **правила призначення заохочувальних та штрафних балів:**
 - докладна інформація із приводу штрафних та заохочувальних балів наведена у п.8 «Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання»;
 - максимальна кількість заохочувальних та штрафних балів визначається відповідно до Положення про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського, Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського, а також інших Положень та рекомендацій, які діють в КПІ ім. Ігоря Сікорського.
- **політика дедлайнів та перескладань:**
 - перескладання будь-яких контрольних заходів передбачено тільки за наявності документально підтверджених вагомих причин відсутності на занятті;
 - перескладань для підвищення балів передбачено.
- **політика округлення рейтингових балів:**
 - округлення рейтингового балу відбувається до цілого числа за правилами округлення.
- **політика оцінювання контрольних заходів:**
 - оцінювання контрольних заходів відбувається відповідно до Положення про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського, Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського, а також інших Положень та рекомендацій, які діють в КПІ ім. Ігоря Сікорського;
 - нижня межа позитивного оцінювання кожного контрольного заходу має бути не менше 60% від балів, визначених для цього контрольного заходу;
 - негативний результат оцінюється в 0 балів.

Академічна доброчесність

- Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі КПІ ім. Ігоря Сікорського. Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

- Норми етичної поведінки
- Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі КПІ ім. Ігоря Сікорського. Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Оскарження результатів контрольних заходів

У випадку незгоди із результатами контрольних заходів студенти можуть виконувати і/або захищати їх у присутності комісії, яка формується із викладачів кафедр АРБ та КІ

Загальні рекомендації

Лекційні, практичні заняття рекомендується відвідувати в повному обсязі.

Для допуску до семестрового контролю студентам необхідно виконати і захистити реферат, відпрацювати обидві частини МКР в термінах до останнього заняття за розкладом. Семестровий контроль проходить в вигляді заліку. Для студентів, що не впоралися із завданнями вчасно, можливо відпрацювання в режимі консультацій і складання екзамену під час додаткової сесії.

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

В процесі вивчення дисципліни студенти виконують контрольну роботу тривалістю 2 навчальні години. Метою виконання контрольної роботи є контроль ступеню засвоєння студентами теоретичних знань, отриманих під час викладання лекційного матеріалу..

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за наступне:

- 1) комп'ютерні практикуми;
- 2) модульну контрольну роботу;
- 3) відповіді на іспиті.

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

1. Комп'ютерні практикуми

Ваговий бал – 6.

Максимальна кількість балів дорівнює $6 \text{ балів} \times 5 = 30 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання:

- повне виконання завдання – 6;
- виконання, але теоретичні знання недостатні – 3... 5;
- не підготовлений – 0.

2. Модульна контрольна робота

Ваговий бал – 10.

Максимальна кількість балів дорівнює $10 \text{ балів} \times 1 = 10 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання:

- повне виконання завдання – 10;
- неповне виконання завдання – 4...8;
- незадовільне виконання – 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 та штрафних балів дорівнює 4.

Розрахунок шкали (R) рейтингу:

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R_c = 30 + 10 = 40 \text{ балів.}$$

Необхідною умовою допуску до екзамену є виконання усіх лабораторних робіт та МКР.

Екзаменаційна складова шкали дорівнює 60 % від **R**, а саме **60 балів**, і складається з двох частин: теоретичної та практичної (вирішення задачі).

5. Теоретична частина.

- вільне володіння матеріалом, відповідь на усі додаткові питання – 30 балів;
- досить впевнене володіння матеріалом, неповні відповіді на додаткові питання – 23 бали;
- невпевнена відповідь на основне питання, не має відповіді на додаткові питання – 18 балів;
- не має відповіді на основне питання – 0 балів.

6. Практична частина.

- впевнене та швидке вирішення задачі, вільне володіння програмним забезпеченням , впевнені відповіді на додаткові питання – 30 балів;
- повне вирішення задачі, але неоптимальний програмний код – 23 бали;
- неповне вирішення задачі, труднощі у володінні мовою програмування – 18 балів;
- задача не вирішена – 0 балів.

Таким чином, рейтингова шкала з дисципліни складає $R = R_c + R_e = 40 + 60 = 100$ 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	Не допущено

Умови позитивної проміжної атестації у семестрі.

Для отримання "зараховано" з першої проміжної атестації (8 тиждень) студент матиме не менш, ніж 12 балів (за умови, якщо на початок 8 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів "ідеальний" студент має отримати 20 балів).

Для отримання "зараховано" з другої проміжної атестації (14 тиждень) студент матиме не менш, ніж 24 бали (за умови, якщо на початок 14 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів "ідеальний" студент має отримати 40 балів).

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Питання до МКР.

1. Особливості застосування методів обчислюваної аеродинаміки в процесі проектування сучасних літальних апаратів.

2. Зв'язок задач аеродинамічного проектування та математичного моделювання обтікання поверхні.
3. Вибір параметрів сітки розрахункової моделі компоновки крило+фюзеляж.
4. Особливості виконання розрахункових робіт на етапі ескізного проектування.
5. Аналіз результатів застосування спеціальних розрахункових моделей компоновання крило+фюзеляж гіперзвукового літального апарату
6. Оптимізація розрахункової сітки під режим польоту транспортного літака
7. Врахування та можлива оптимізація ефекту інтерференції крила з фюзеляжем.
8. Параметри розрахункової моделі літака із наявністю поверхні екрану.
9. Врахування та можлива оптимізація ефекту інтерференції крила з фюзеляжем.
10. Аналіз придатності розрахункової сітки моделі компоновання крило +фюзеляж.
11. Аналіз придатності розрахункової сітки моделі компоновання крило +фюзеляж.
12. Оптимізація розрахункової сітки під режим польоту транспортного літака
13. Специфіка побудови розрахункової сітки моделі компоновання крило +фюзеляж гіперзвукового літака.
14. Оптимізація розрахункової сітки для режиму польоту гіперзвукового літака.
15. Аналіз результатів застосування спеціальних розрахункових моделей компоновання крило+фюзеляж транспортного літака.
16. Аналіз результатів застосування спеціальних розрахункових моделей компоновання крило+фюзеляж гіперзвукового літального апарату.
17. Особливості створення розрахункових моделей механізованого крила.
18. Особливості створення розрахункових моделей механізації передньої крайки крила.
19. Особливості створення розрахункових моделей механізації задньої крайки крила.
20. Особливості створення розрахункових моделей інтерцептора крила.
21. Особливості створення розрахункової моделі для гвинтового рушія літального апарату.
22. Особливості створення розрахункової моделі для реактивного рушія літального апарату.
23. Особливості створення розрахункової моделі для систем газодинамічного реверсу літального апарату.
24. Алгоритм визначення вихідних даних транспортного літака в крейсерській конфігурації.
25. Алгоритм визначення ефекту інтерференції крила з фюзеляжем.
26. Алгоритм визначення параметрів розрахункової моделі компоновки крило+фюзеляж.
27. Алгоритм визначення ефективності механізації.
28. Алгоритм визначення параметрів оперення літака, що проектується.
29. Параметричні моделі визначення ефективності оперення.
30. Вибір та подальшої оптимізації параметрів розрахункової моделі літака із наявністю працюючого рушія
31. Баланс рівня обчислюваної ефективності та точності розрахунку.
32. Досягнення оптимального рівня обчислюваної ефективності та точності розрахунку.
33. Оптимізація розрахункової сітки під режим польоту транспортного літака

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцент, к.т.н. Дмитро ЗІНЧЕНКО

Ухвалено кафедрою авіа- та ракетобудування (протокол № 10 від 09.06.2022 р.)

Ухвалено кафедрою космічної інженерії (протокол № 7 від 29.06.2022р.).

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 4 від 30.06.2022 р.)