

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи

В. В. Павліков

(підпис) (ініціали та прізвище)

« » 2020 р.

Відділ аспірантури і докторантури

РОБОЧА ПРОГРАМА

ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ПРОБЛЕМИ НЕСТІЙКОСТІ ТА МЕТОДИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТУРБОМАШИН

Галузі знань: 14 Електрична інженерія

Спеціальність: 142 Енергетичне машинобудування

Освітня програма: «Енергетичне машинобудування»

Рівень вищої освіти: третій (освітньо-науковий)

Форма навчання: денна
денна // заочна

Харків – 2020

РОБОЧА ПРОГРАМА
ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ПРОБЛЕМИ НЕСТІЙКОСТІ ТА МЕТОДИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
ТУРБОМАШИН
(назва дисципліни)

для здобувачів за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування
освітньої програми «Енергетичне машинобудування»

«28» серпня 2020 р., – 10 с.

Розробник: проф. кафедри 201, д-р. техн. наук, проф.  В.П. Герасименко
(посада, науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (прізвище та ініціали)

Гарант ОНП зав. кафедри, д-р. техн. наук, проф.  С.В. Спіфанов
(посада, науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (прізвище та ініціали)

ПОГОДЖЕНО:

Завідувач відділу
аспірантури і докторантури



В. Б. Селевко

Голова наукового товариства
студентів, аспірантів,
докторантів і молодих вчених



Т. П. Старовойт

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		денна форма навчання
Кількість кредитів – 7,5	Галузь знань: <i>14</i> <u>«Електрична інженерія»</u> (шифр і назва)	<i>Вибіркова</i>
Кількість модулів – 2	Спеціальність: <i>142</i> <u>«Енергетичне машинобудування»</u> (шифр і назва)	Навчальний рік
Кількість змістових модулів – 2		<i>2020 / 2021</i>
Індивідуальне завдання:		Семестр
(назва)		
Загальна кількість годин – денна – 85*/225		<i>4-й</i>
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 5 самостійної роботи– 7,5	Рівень вищої освіти <i>Третій</i> <u>(освітньо-науковий)</u>	Лекції *
		<i>51 год.</i>
		Практичні, семінарські *
		<i>34 год.</i>
		Лабораторні *
		<i>-</i>
		Самостійна робота
		<i>140 год.</i>
		Вид контролю
	<i>істит</i>	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить:
 $85/140 = 0,6$

¹⁾ Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину в залежності від розкладу занять.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: придбання здобувачами знань з теорії порушення стійкості різних систем і зокрема турбомашин і газотурбінних двигунів, а також підготування їх як експериментаторів шляхом отримання ними знань про експериментальні методи досліджень турбомашин і газотурбінних двигунів.

Завдання: вивчення здобувачами методик експериментальних досліджень технічних, аеродинамічних та вібраційних характеристик турбомашин і газотурбінних двигунів.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми здобувачі повинні досягти таких **компетентностей:**

Загальні:

ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК02. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК03. Здатність працювати в міжнародному контексті.

ЗК04. Здатність розробляти проекти та управляти ними.

Спеціальні (фахові):

СК01. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у сфері енергетичного машинобудування та дотичних до неї (нього, них) міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з в галузі електричної інженерії, та суміжних галузей.

СК02. Здатність усно і письмово презентувати та обговорювати результати наукових досліджень та/або інноваційних розробок українською та іноземною мовами, глибоке розуміння іншомовних наукових текстів за напрямом досліджень.

СК03. Здатність застосовувати сучасні інформаційні технології, бази даних та інші електронні ресурси, спеціалізоване програмне забезпечення у науковій та навчальній діяльності.

СК04. Здатність здійснювати науково-педагогічну діяльність у вищій освіті.

СК07. Здатність дотримуватись етики досліджень, а також правил академічної доброчесності в наукових дослідженнях та науково-педагогічній діяльності.

СК08. Здатність до формування системного наукового світогляду, професійної етики та загального культурного кругозору.

СК09. Здатність до продукування нових ідей і розв'язання комплексних проблем наукового пізнання, а також до застосування сучасних методологій, методів та інструментів педагогічної та наукової діяльності у сфері енергетичного машинобудування.

Програмні результати навчання:

РН03. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень (опитувань, спостережень) і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані.

РН05. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з енергетичного машинобудування та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

РН06. Застосовувати методи планування експериментальних досліджень, проводити їх з використанням інструментальних засобів (вимірювальних приладів) та обробляти результати досліджень, оцінювати адекватність результатів.

РН07. Розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проекти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми енергетичного машинобудування з дотриманням норм академічної етики і врахуванням соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів.

РН08. Розуміти загальні принципи та методи енергетичного машинобудування, а також методологію наукових досліджень, застосувати їх у власних дослідженнях у сфері енергетичного машинобудування та у викладацькій практиці.

РН09. Вивчати, узагальнювати та впроваджувати в навчальний процес інновації енергетичного машинобудування.

РН10. Здійснювати пошук та критичний аналіз інформації, концептуалізацію та реалізацію наукових проектів з енергетичного машинобудування.

РН11. Уміти управляти змістом, розкладом, вартістю, якістю, ризиками, людськими ресурсами та комунікаціями науково-технічних проектів в аерокосмічній галузі з відповідністю вимогам міжнародних стандартів.

РН14. Знати філософсько-світоглядні засади, сучасні тенденції, напрямки і закономірності розвитку вітчизняної та світової науки в умовах глобалізації й уміння їх використовувати в науково-дослідній та професійній діяльності у різних предметних галузях, у тому числі аерокосмічній галузі.

Міждисциплінарні зв'язки. Вивчення дисципліни надає підставу для подальшого навчання за дисциплінами «Теоретичні аспекти газодинамічного проектування та математичне моделювання газотурбінних двигунів» «Проблеми нестійкості і методи експериментальних досліджень турбомашин»,. Отримані знання є основою для успішної роботи над випускною роботою для отримання ступеня доктора філософії.

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовний модуль 1. Проблеми порушення газодинамічної стійкості турбокомпресорів (ТКР). ГТД та наслідки такої проблеми.

Тема 1. Вступ до дисципліни «Проблеми нестійкості та методи експериментальних досліджень турбомашин». Типи і форми нестійких режимів роботи лопатевих машин, ГТД, енергетичного обладнання, компресорних систем та комплексів.

Тема 2. Зривні явища в турбомашинах і ГТД: ЗУД і помпаж в надзвукових повітрозабірних авіаційних ГТД. Хлопки, вібраційне горіння, флатери і ін.

Тема 3. Обертовий зрив у компресорах. Моделі обертового зриву, обертовий зрив в відцентрованих компресорах на турбінних режимах роботи у газовій галузі. Обертовий зрив в парових турбінах на компресорних режимах роботи.

Тема 4. Форми обертового зриву у відцентрових компресорах турбонадуву дизелів.

Тема 5. Щілинні пристрої з протидії зривних явищ в компресорах.

Тема 6. Помпаж у гідравлічних системах з компресором. Статична й динамічна нестійкість роботи компресора. Математичне моделювання порушення стійкості та заходи щодо запобігання виникнення помпажу ГТД. Вплив акустичного імпедансу на порушення стійкості ГТД (системи з компресором).

Тема 7. Вібраційне горіння в камерах згоряння ГТД. Причини і наслідки такого горіння.

Модульний контроль

Модуль 2

Змістовний модуль 2. Експериментальні методи досліджень лопатевих машин і ГТД та отримання та отримання математичних моделей ГТД і його вузлів.

Тема 8. Експериментальні методи досліджень на основі використання теорії планування експерименту (ТПЕ). Теорія та явища ТПЕ. Переваги.

Тема 9. Визначення регресійних моделей ГТД з використанням планів 2ⁿ

Тема 10. Дріблення планів 2ⁿ. Міжблоковий ефект та визначальний контраст.

Тема 11. Застосування центральних композиційних планів (УКП).

Тема 12. Застосування латинських і греколатинських планів (ГЛП).

Тема 13. Методи оптимізації в ТПЕ.

Модульний контроль

4. Структура навчальної дисципліни

Назви тем і змістовних модулів	Кількість годин					
	усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7
Модуль 1						
Змістовний модуль 1 Проблеми порушення газодинамічної стійкості ГТД і ТКР						
Тема 1-4 Типи і форми нестійких режимів роботи ЛМ і ГТД, зривні явища і обертовий зрив в компресорах і турбокомпресорах.	66	16	10	–	–	40
Тема 5-7 Щілинні пристрої, помпаж і вібраційне горіння в ГТД і компресорах.	55	12	8	–	–	35
Модульний контроль	–	–	–	–	–	–
Разом за модулем 1	121	28	18	–	–	75
Модуль 2						
Змістовний модуль 2 Експериментальні методи дослідження ЛМ і ГТД						
Тема 8-10 Експериментальні методи досліджень на основі ТПЕ з визначенням лінійних алгебраїчних рівнянь - математичних моделей об'єктів.	52	12	8	–	–	32
Тема 11-13 Експериментальні методи досліджень з визначенням математичних моделей об'єктів (нелінійних алгебраїчних рівнянь) на основі ЦКП і ГЛП	52	11	8	–	–	33
Модульний контроль2	–	–	–	–	–	–
Разом за модулем 2	104	23	16	–	65	–
Усього по дисципліні	225	51	34	–	140	–

5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
Не передбачено навчальним планом		

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Методика досліджень тривимірної течії в обертовому зриві	4
2	Обертовий зрив в відцентровому нагнітачі природного газу Ц 6,3А/30-2,2 на турбінних режимах роботи в експлуатації	8
3	Вібраційне горіння в ГТД ДН-80	6
4	Статистична обробка результатів дослідження на основі ТПЕ	6
5	Використання ЦКП для отримання характеристики ГТД $N_e = f(n_{TK}, n_{TC})$	6
6	Використання латинського прямокутника для виявлення впливу другорядних змінних	4
Разом		34

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
Не передбачено навчальним планом		

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ до навчальної дисципліни	2
2	Проблеми нестійких режимів роботи турбокомпресорів і ГТД	6
3	Методи експериментальних досліджень тривимірної структури течії в зонах обертових зривів	8
4	Розрахунково-теоретична модель зон часткового зриву в ступені осевого компресора	8
5	Обертовий зрив в осевих турбінах на компресорних режимах роботи	8
6	Обертовий зрив в відцентрових компресорах	8
7	Щілинніадроторні пристрої в осевих компресорах	8
8	Щілинні пристрої в відцентрових компресорах	8
9	Моделі помпажу в гідравлічних мережах	19
10	Вібраційне горіння в камерах згоряння ГТД	10
11	Експериментальні методи досліджень з ТПЕ	10
12	Насичені плани експериментів 2 ^н	10
13	Центральні композиційні плани і їх використання	16
14	Греко-латинські квадрати	14
15	Комбіновані плани	5
Разом		140

9. Індивідуальні завдання

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
Не передбачено навчальним планом		

10. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій і семінарських занять індивідуальні консультації за необхідністю; самостійна робота здобувачів за матеріалами опублікованими в технічній літературі та навчальними посібниками кафедри 201.

11. Методи контролю

Проведення поточного контролю, захист звітів з практичних робіт, письмові модульні контролі, підсумковий контроль у вигляді іспиту.

Семестровий контроль (іспит) проводиться у разі відмови здобувача від балів поточного тестування та за наявності допуску до іспиту у вигляді письмового іспиту (комплексне завдання). При складанні семестрового іспиту має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту складається з двох питань, одне з яких відноситься до першого модуля, а інше – до другого. Кожне питання оцінюється 0...50 балів.

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують здобувачі

12.1. Розподіл балів, які отримують здобувачі (кількісні критерії оцінювання)

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Модуль 1			
Присутність на лекціях, їх конспектування	0-2	8	0-16
Присутність на семінарських заняттях з активною участю в них	0-4	4	0-16
Складання модульного контролю	0-18	1	0-18
Разом за модуль 1			0-50
Модуль 2			
Присутність на лекціях, їх конспектування	0-2	8	0-16
Присутність на семінарських заняттях та активна участь в обговоренні завдання	0-4	4	0-16
Складання модульного контролю	0-18	1	0-18
Разом за модуль 2			0-50
Всього за семестр			0-100

12.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

- проблеми нестійкості в науці і техніці;
- теоретичні основи порушення стійкості та математичні методи розв'язання задач;
- методики та засоби вимірювання теплотехнічних параметрів ТМ і ГТД та обробки дослідних даних;
- методи та засоби вимірювання вібраційних сигналів і їх оброблення;
- математичні методи дослідження характеристики ГТД і його вузлів.

Необхідний обсяг умінь для одержання позитивної оцінки:

- вивчати найбільш раціональні та доцільні математичні методи розв'язання задач порушення стійкості;
- користуватися математичними методами планування досліджень ТМ і ГТД;
- розрахувати теплотехнічні характеристики ЛМ і ГТД за результатами дослідних вимірювань;
- визначати джерела вібрації та її природу.

12.3. Якісні критерії оцінювання:

Задовільно (60-74). Показати мінімум знань та умінь. Захистити всі індивідуальні завдання та лабораторні роботи. Знати основні положення дисципліни при недостатньо глибокому засвоєнні логічних зв'язків між частинами, що складають єдину систему. Уміти використовувати програми розрахунку для одержання параметрів та характеристик лопаткових машин та ГТД.

Добре (75-89). Володіти основними знаннями та уміннями, що передбачені програмою дисципліни. Захистити всі індивідуальні завдання та лабораторні роботи. Знати основні положення дисципліни при достатньо глибокому засвоєнні логічних зв'язків між

частинами, що складають єдину систему; достатньо вільно використовувати знання для аналізу типових задач. Уміти використовувати програми розрахунку для одержання параметрів та характеристик лопаткових машин та ГТД, аналізувати одержані результати та робити правильні висновки.

Відмінно (90-100). Володіти всіма знаннями та уміннями, що передбачені програмою дисципліни. Захистити всі індивідуальні завдання та лабораторні роботи. Знати всі положення дисципліни при глибокому засвоєнні логічних зв'язків між частинами, що складають єдину систему; вільно використовувати знання для аналізу типових та нетипових задач. Уміти використовувати програми розрахунку для одержання параметрів та характеристик лопаткових машин та ГТД, аналізувати одержані результати, робити правильні висновки та розробляти рекомендації для їх покращання.

Шкала оцінювання: бальна і традиційна

Сума балів	Оцінка за традиційною шкалою	
	Іспит, диференційований залік	Залік
90 – 100	Відмінно	Зараховано
75 – 89	Добре	
60 – 74	Задовільно	
0 – 59	Незадовільно	Не зараховано

13. Методичне забезпечення

Павленко Г.В. Математичне моделювання авіаційних ГТД при дослідженні їх експлуатаційних характеристик. -Х.: ХАІ, 1986. - 123 с.
https://library.khai.edu/catalog?mode=DocBibRecord&lang=ukr&caller_mode=BookList&docid=67001153

14. Рекомендована література

Базова

1. Герасименко В.П. Теорія авіаційних двигунів. // Підручник – Х.: ХАІ, 2003.
https://library.khai.edu/catalog?mode=DocBibRecord&lang=ukr&caller_mode=BookList&docid=510098412
2. Вибір параметрів і термогазодинамічний розрахунок газотурбінних двигунів: Навч. посібник / О.В. Кіслов, К.В. Фесенко – Х.: Нац. аерокосм. ун-т ім. Н.Є. Жуковського «ХАІ», 2019. – 64 с.
https://library.khai.edu/catalog?mode=DocBibRecord&lang=ukr&caller_mode=BookList&docid=510520481
3. Кіслов О.В., Коткін В.В. Чисельне дослідження характеристик сопла турбореактивного двигуна багаторежимного самолета в умовах дозвукового зовнішнього обтікання. Монографія // О. В. Кіслов, В. В. Коткін. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. Н. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2017. – 152 с.
https://library.khai.edu/catalog?mode=DocBibRecord&lang=ukr&caller_mode=BookList&docid=510493141
4. Кіслов О.В., Коткін В.В. Чисельне дослідження характеристик сопла турбореактивного двигуна багаторежимного самолета в умовах дозвукового

зовнішнього обтікання. Монографія // О. В. Кіслов, В. В. Коткін. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. Н. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2017. – 152 с.
https://library.khai.edu/catalog?mode=DocBibRecord&lang=ukr&caller_mode=BookList&docid=510493141

Допоміжна

1. Павленко Г. В. Газодинамический розрахунок осьової газової турбіни / Г. В. Павленко, А. Г. Волов. – Харків, ХАІ. – 2007. – 75 с.
https://library.khai.edu/catalog?mode=DocBibRecord&lang=ukr&caller_mode=BookList&docid=510246052

2. Павленко Г. В. Термогазодинамічних розрахунок газотурбінних двигунів і установок / Г. В. Павленко. – Харків, ХАІ. – 2007. – 64 с.
https://library.khai.edu/catalog?mode=DocBibRecord&lang=ukr&caller_mode=BookList&docid=510246052

3. Павленко Г. В. Газодинамический розрахунок осьового компресора ГТД / Павленко Г.В. – Харків, ХАІ. – 2002. – 57 с.
https://library.khai.edu/catalog?mode=DocBibRecord&lang=ukr&caller_mode=BookList&docid=510202040

14. Інформаційні ресурси

Вивчені попередньо навчальні дисципліни, конспект лекцій, джерела з Інтернету.

Інтернет-адреса постійного розміщення опису робочої програми:

<https://khai.edu.ua/education/osvitni-programi-i-komponenti/osvitni-programi-phd/energetichne-mashinobuduvannya2/perelik-komponentiv16/>

Сайт кафедри <http://k201.khai.edu>