

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

З А Т В Е Р Д Ж У Ю
Проректор з наукової роботи
В. В. Павліков
(ініціали та прізвище)
2020 р.
Відділ аспірантури і докторантури

РОБОЧА ПРОГРАМА
ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ВІБРОАКУСТИКА АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ
І ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань	14 «Електрична інженерія» (шифр і найменування галузі знань)
Спеціальність	142 «Енергетичне машинобудування» (код та найменування спеціальності)
Освітня програма	«Енергетичне машинобудування» (код та найменування спеціальності)
Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Форма навчання	денна

Харків – 2020

Робоча програма Віброакустика авіаційних двигунів і енергетичних установок
(назва дисципліни)
для студентів за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування»
освітньою програмою «Енергетичне машинобудування»

« I » липня 2020 р. 10 с.

Розробник:	<u>професор, к.т.н., до- цент</u> (посада, науковий ступінь та вчене звання)	 (підпис)	<u>В.С. Чигрин</u> (ініціали та прізвище)
Гарант ОНП:	<u>Зав. кафедрою, д.т.н., професор</u> (посада, науковий ступінь та вчене звання)	 (підпис)	<u>С. В. Єніфанов</u> (ініціали та прізвище)

ПОГОДЖЕНО:

Завідувач відділу аспірантури і докторантури	 (підпис)	<u>В. Б. Селевко</u> (ініціали та прізвище)
---	--	--

Голова наукового товариства студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених	 (підпис)	<u>Т. П. Старовойт</u> (ініціали та прізвище)
---	--	--

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)
Кількість кредитів – 5	Галузь знань: 14 <u>«Електрична інженерія»</u> (шифр і назва)	Вибіркова
Кількість модулів – 2	Спеціальність: 142 <u>«Енергетичне машинобудування»</u> (шифр і назва)	Навчальний рік 2021 / 2022
Кількість змістових модулів – 2		Семестр
Індивідуальне завдання: (назва)		4-й
Загальна кількість годин – денна – 64*/150		Лекції * 32 год.
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 самостійної роботи – 5,4	Рівень вищої освіти <u>Третій</u> (освітньо-науковий)	Практичні, семінарські * 32 год.
		Лабораторні * -
		Самостійна робота 86 год.
		Вид контролю іспит

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить: для денної форми навчання – $64 / 86 = 0,74$

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

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: дати студентам знання, навички і уміння, необхідні для віброакустичної діагностики авіаційних двигунів та енергетичних установок.

Завдання: проаналізувати ГТД як об'єкт віброакустичного діагностування, розшифровувати і аналізувати вібросигнал за допомогою перетворення Фур'є

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

Загальні компетентності:

ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

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

ЗК04. Здатність розробляти проекти та управляти ними.

Спеціальні (фахові) компетентності:

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

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.

СК05. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру у науковому пізнанні, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

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:

РН02. Вільно презентувати та обговорювати з фахівцями і нефахівцями результати досліджень, наукові та прикладні проблеми енергетичного машинобудування державною та іноземною мовами, кваліфіковано відображати результати досліджень у наукових публікаціях у провідних міжнародних наукових виданнях.

РН04. Розробляти, проектувати, модернізувати складні об'єкти енергетичного машинобудування, формувати вимоги до них, аналізувати адекватність методології проектування.

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.

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.

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

РН12. Знати сучасні підходи та засоби моделювання робочих процесів досліджуваних об'єктів та процесів управління, в тому числі в аерокосмічній галузі, вміти створювати нові, вдосконалювати та розвивати моделі систем та елементів об'єктів енергетичного машинобудування.

Міждисциплінарні зв'язки: вивчення курсу «Віброакустика авіаційних двигунів і енергетичних установок» базується на загальних знаннях з таких дисциплін як «Обробка та аналіз результатів наукових досліджень з використанням ІТ», «Управління науковими проектами», «Наукові проблеми забезпечення надійності, міцності та ресурсу об'єктів енергетичного машинобудування», «Наукові проблеми удосконалення робочих процесів об'єктів енергетичного машинобудування» та вибіркові компоненти переліка 2. Отримані знання є основою для успішної роботи над випускною роботою для отримання ступеня доктора філософії.

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовий модуль 1

ТЕМА 1. Ціль і порядок вивчення дисципліни. Звітність по дисципліні. Термінологія. Історія розвитку віброакустики. Віброакустика. Віброакустична діагностика. Призначення і специфіка віброакустичної діагностики. Перелік задач віброакустичної діагностики і напрямки їх рішення. Структура систем віброакустичної діагностики. Історія розвитку віброакустичної діагностики.

ТЕМА 2. Вібрація в авіаційних ГТД, параметри, які характеризують вібрації, суперпозиція коливань. Спектри періодичних і неперіодичних коливань, квазіполігармонічні коливання. Аналіз часових рядів у задачах віброакустики.

ТЕМА 3. Роторна вібрація, вібрація аеродинамічного походження; вібрація, яка збуджується процесами в газоповітряному тракті; вібрація, яка збуджується редукторами і зубчастими передачами; вібрація підшипникових вузлів; вібрація, яка збуджується коливаннями лопаток і дисків. Акустичний шум ГТД. Вібрація агрегатів і трубопроводів. Вібрація силового корпусу ГТД. Особливості вібрації в ДВЗ. Приклади реальних віброакустичних сигналів справних і дефектних об'єктів. Боротьба з небезпечними вібраціями і акустичними шумами в двигунах.

ТЕМА 4. Математичні моделі вібрації. Динамічна модель ГТД. Моделі вібрації агрегатів. Особливості коливань параметричних і нелінійних систем.

Модуль 2

Змістовий модуль 2

ТЕМА 5. Призначення і специфіка віброакустичної діагностики. Задачі віброакустичної діагностики і шляхи їх рішення. Структура системи віброакустичного діагностування. Вибір місць установлення віброперетворювачів на двигуні, режимів проведення діагностичних випробувань і реєстрація віброакустичного сигналу.

ТЕМА 6. Класифікація і способи зображення віброакустичних процесів. Спектрально-кореляційний аналіз віброакустичних процесів. Характеристики випадкових процесів.

ТЕМА 7. Кліпування спектру і синхронна гребінчаста фільтрація. Кепстральний аналіз. Виявлення схованої періодичності за допомогою функції кореляції.

ТЕМА 8. Розпізнавання за зміною вібрації у процесі роботи об'єкта на підставі еталонних комплексів діагностичних ознак, методами статистичної класифікації. Розпізнавання за обмеженої кількості діагностичних ознак.

ТЕМА 9. Класифікація вимірювальних перетворювачів. Перетворювачі інерційної дії. П'єзоелектричні перетворювачі. Індукційні і індуктивні перетворювачі. Схеми перетворювачів.

ТЕМА 10. Перспективи розвитку віброакустичної діагностики.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
1		л	п	лаб	інд	с.р.
2	3	4	5	6	7	
СЕМЕСТР 4						
Модуль 1						
Змістовий модуль 1.						
ТЕМА 1. Ціль і порядок вивчення дисципліни. Звітність по дисципліні. Поняття про віброакустику і вібродіагностику.	6	2	-	-	-	4
ТЕМА 2. Вібрація в авіаційних ГТД, параметри, які характеризують вібрації, суперпозиція коливань.	16	4	6	-	-	6
ТЕМА 3. Роторна вібрація, вібрація аеродинамічно-	20	4	6	-	-	10

го походження; вібрація, яка збуджується процесами в газоповітряному тракті; вібрація, яка збуджується редукторами і зубчастими передачами; вібрація підшипникових вузлів; вібрація, яка збуджується коливаннями лопаток і дисків.						
ТЕМА 4. Математичні моделі вібрації. Динамічна модель ГТД.	18	4	4	-	-	10
Разом за змістовим модулем 1	60	14	16	-	-	30
Модуль 2						
Змістовий модуль 2.						
ТЕМА 5. Призначення і специфіка віброакустичної діагностики. Задачі віброакустичної діагностики і шляхи їх рішення.	16	2	4	-	-	10
ТЕМА 6. Класифікація і способи зображення віброакустичних процесів.	20	4	6	-	-	10
ТЕМА 7. Кліпування спектру і синхронна гребінчаста фільтрація.	10	2	-	-	-	8
ТЕМА 8. Розпізнавання за зміною вібрації у процесі роботи об'єкта на підставі еталонних комплексів діагностичних ознак, методами статистичної класифікації.	14	4	-	-	-	10
ТЕМА 9. Класифікація вимірювальних перетворювачів. Перетворювачі інерційної дії.	20	4	6	-	-	10
ТЕМА 10. Перспективи розвитку віброакустичної діагностики.	10	2	-	-	-	8
Разом за змістовим модулем 2	90	18	16	-	-	56
Усього годин	150	32	32			86

5. Теми семінарських занять

№	Назви занять	Кількість годин

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Конструкція вимірювальних перетворювачів вібрації	4
2	Дослідження динамічного гасника коливань	4
3	Побудова АЧХ вібродатчиків і їх тарировка	4
4	Спектральний аналіз вібросигналу	4
5	Визначення технічного стану двигуна за його вібраціями	6
6	Дослідження вібрацій газотурбінного двигуна	4
7	Дослідження властивостей напівхвильового гасника шуму	2
8	Оцінка технічного стану підшипників кочення за їх вібраціями	4
	Разом	32

7. Теми лабораторних занять

№	Назви занять	Кількість годин

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Поняття про віброакустику і вібродіагностику.	4
2	Вібрація в авіаційних ГТД, параметри, які характеризують вібрації, су-перпозиція коливань.	6
3	Роторна вібрація, вібрація аеродинамічного походження; вібрація, яка збуджується процесами в газоповітряному тракті; вібрація, яка збуджується редукторами і зубчастими передачами; вібрація підшипникових вузлів; вібрація, яка збуджується коливаннями лопаток і дисків.	10
4	Математичні моделі вібрації. Динамічна модель ГТД.	10
5	Призначення і специфіка віброакустичної діагностики. Задачі віброакустичної діагностики і шляхи їх рішення.	10
6	Класифікація і способи зображення віброакустичних процесів.	10
7	Кліпування спектру і синхронна гребінчаста фільтрація. Смугові фільтри	8
8	Розпізнавання за зміною вібрації у процесі роботи об'єкта на підставі еталонних комплексів діагностичних ознак, методами статистичної класифікації.	10
9	Класифікація вимірювальних перетворювачів. Перетворювачі інерційної дії.	10
10	Сучасні напрями і перспективи розвитку віброакустичної діагностики.	8
	Разом	86

9. Індивідуальні завдання

№	Назви занять	Кількість годин

10. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, практичних занять, індивідуальні консультації (при необхідності), самостійна робота здобувачів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники), а також в літературних джерелах.

11. Методи контролю

Виконання та захист лабораторних робіт, письмовий модульний контроль, фінальний контроль (іспит) у вигляді підсумку балів за семестр, семестровий контроль (іспит).

Семестровий контроль (іспит) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту. Під час складання семестрового іспиту здобувач має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту складається з чотирьох запитань. Запитання розподілено таким чином:

Перше запитання – запитання з теоретичної частини (змістовий модуль 1);

Друге запитання – діагностика з використанням параметрів вібрації (змістовий модуль 2);

Два запитання стосуються методів експериментальних досліджень вібрацій і обробки вібраційних сигналів (лабораторні роботи).

Максимальна кількість балів за кожне запитання – 25.

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

12.1 Розподіл балів, які отримують студенти (кількісні критерії оцінювання)

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Робота на лекціях	0...0,5	7	0...3,5
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	2...3	12	24...36
Модульний контроль	6...10	1	6...10
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...0,5	9	0...4,5
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	2...3	12	24...36
Модульний контроль	6...10	1	6...10
Усього за семестр			60...100

12.2 Якісні критерії оцінювання

Для одержання позитивної оцінки студент повинен

знати:

- конструкцію, роботу, особливості експлуатації авіаційного двигуна як джерела вібрації і об'єкта діагностування;
- призначення і специфіку віброакустичної діагностики, структуру віброакустичної діагностики, засоби і методи віброакустичного діагностування;
- класифікацію вібраційних процесів, параметри, які характеризують вібрації ГТД, зв'язок між віброзміщенням, віброшвидкістю і віброприскоренням;
- методи вимірювання вібрацій, класифікацію перетворювачів вібрації, шуму і удару;
- спектри коливань, пряме и зворотне перетворення Фур'є;
- джерела шуму и вібрацій і акустичного шуму у ГТД;
- особливості вібрації в двигунах внутрішнього згоряння;
- методи боротьби з небезпечними вібраціями і шумами;
- математичні моделі вібрацій, вимоги до вібромоделі ГТД;
- призначення і специфіку віброакустичної діагностики, завдання віброакустичної діагностики та шляхи їх вирішення, структуру системи віброакустичної діагностики;
- вибір діагностичних параметрів, місць установки віброперетворювачів на двигуні і режимів проведення діагностичних випробувань;
- класифікацію і способи представлення віброакустичних сигналів, характеристики випадкових процесів, спектрально-кореляційний аналіз віброакустичних процесів;
- віброакустичну діагностику експлуатаційних дефектів, розпізнавання станів у вібродіагностиці авіаційних ГТД;
- перспективи розвитку віброакустики.

вміти:

- виконувати аналіз ГТД як об'єкта віброакустичного діагностування;
- розшифровувати і аналізувати вібросигнал за допомогою перетворення Фур'є;
- виконувати аналіз вібросигналу в часовій і частотній областях;
- розпізнавати технічний стан двигуна за допомогою віброакустичної інформації;
- встановлювати вібродатчики на двигуні, вимірювати вібрації;
- розраховувати параметри гасників вібрації і шуму;
- аналізувати вібрації підшипникових вузлів;
- будувати математичні моделі вібрацій;
- виконувати кліпування спектру, кепстральний аналіз, формувати фільтри;

- аналізувати вібрації у процесі напруження двигуна;
- виконувати розпізнавання на основі еталонних комплексів ознак.

12.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати необхідний мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Мати уяву про вимоги норм льотної гідності; конструкцію авіаційних ГТД різних типів; конструкцію вузлів і деталей двигуна; роботу двигуна як джерела вібрації і об'єкта діагностування; призначення і специфіку віброакустичної діагностики, структуру віброакустичної діагностики, засоби і методи віброакустичного діагностування; класифікацію вібраційних процесів, параметри, які характеризують вібрації ГТД, зв'язок між віброзміщенням, віброшвидкістю і віброприскоренням; методи вимірювання вібрацій, класифікацію перетворювачів вібрації, шуму і удару; спектри коливань; джерела шуму и вібрацій і акустичного шуму у ГТД; методи боротьби з небезпечними вібраціями і шумами; призначення і специфіку віброакустичної діагностики, завдання віброакустичної діагностики, структуру системи віброакустичної діагностики; вибір діагностичних параметрів, місць установки віброперетворювачів на двигуні і режимів проведення діагностичних випробувань; характеристики випадкових процесів, спектрально-кореляційний аналіз віброакустичних процесів; віброакустичну діагностику експлуатаційних дефектів; розпізнавання станів у вібродіагностиці авіаційних ГТД.

Добре (75-89). Твердо опанувати мінімум знань та вмінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Знати вимоги норм льотної гідності; конструкцію авіаційних ГТД основних типів, вимоги до двигунів різного призначення, конструкцію вузлів цих двигунів та деталей; роботу двигуна як джерела вібрації і об'єкта діагностування; призначення і специфіку віброакустичної діагностики, структуру віброакустичної діагностики, засоби і методи віброакустичного діагностування; класифікацію вібраційних процесів, параметри, які характеризують вібрації ГТД, зв'язок між віброзміщенням, віброшвидкістю і віброприскоренням; методи вимірювання вібрацій, класифікацію перетворювачів вібрації, шуму і удару; спектри коливань; джерела шуму и вібрацій і акустичного шуму у ГТД; методи боротьби з небезпечними вібраціями і шумами; математичні моделі вібрацій, вимоги до вібромоделі ГТД; призначення і специфіку віброакустичної діагностики, завдання віброакустичної діагностики, структуру системи віброакустичної діагностики; вибір діагностичних параметрів, місць установки віброперетворювачів на двигуні і режимів проведення діагностичних випробувань; класифікацію і способи представлення віброакустичних сигналів, характеристики випадкових процесів, спектрально-кореляційний аналіз віброакустичних процесів; віброакустичну діагностику експлуатаційних дефектів; розпізнавання станів у вібродіагностиці авіаційних ГТД; перспективи розвитку віброакустики.

Відмінно (90-100). Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Здати модульне тестування з відмінною оцінкою (припускається здати один з двох модулів з оцінкою «добре»). Повно знати основний та додатковий матеріал. Знати вимоги норм льотної гідності; конструкцію авіаційних ГТД усіх типів, вимоги до двигунів різного призначення, конструкцію вузлів цих двигунів та деталей; конструкцію, роботу, особливості експлуатації авіаційного двигуна як джерела вібрації і об'єкта діагностування; призначення і специфіку віброакустичної діагностики, структуру віброакустичної діагностики, засоби і методи віброакустичного діагностування; класифікацію вібраційних процесів, параметри, які характеризують вібрації ГТД, зв'язок між віброзміщенням, віброшвидкістю і віброприскоренням; методи вимірювання вібрацій, класифікацію перетворювачів вібрації, шуму і удару; спектри коливань, пряме и зворотне перетворення Фур'є; джерела шуму и вібрацій і акустичного шуму у ГТД; особливості вібрації в двигунах внутрішнього згорання; методи боротьби з небезпечними вібраціями і шумами; математичні моделі вібрацій, вимоги до вібромоделі ГТД; призначення і специфіку віброакустичної діагностики, завдання віброакустичної діагностики та шляхи їх вирішення, структуру системи віброакустичної діагностики; вибір діагностичних параметрів, місць установки віброперетворювачів на двигуні і режимів проведення діагностичних випробувань; класифікацію і способи представлення віброакустичних сигналів, характеристики випадкових процесів, спект-

рально-кореляційний аналіз віброакустичних процесів; віброакустичну діагностику експлуатаційних дефектів; розпізнавання станів у вібродіагностиці авіаційних ГТД; перспективи розвитку віброакустики.

Шкала оцінювання: бальна і традиційна

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

13. Методичне забезпечення

1. Чигрин В.С., Суховій С.І. Віброакустика і вібродіагностика авіаційних двигунів (навч. посіб., гриф МОН). - Харків, ХАІ, 2012. – 264 с.
https://library.khai.edu/catalog?mode=DocBibRecord&lang=ukr&caller_mode=BookList&docid=510402516;
2. Дидактичні матеріали (наочні посібники, плакати) та розрізні макети газотурбінних двигунів і агрегатів в аудиторіях 103, 122 та 124;
3. Лабораторні стенди ауд. 136 для проведення досліджень вібрації.
3. Програми ПЕОМ з моделювання і оброблення вібраційних процесів, повчальні програми.
4. Методичні навчальні посібники за темами та розділами курсу.

14. Рекомендована література

Базова

1. Чигрин В.С. Диагностика и системы контроля технического состояния авиационных двигателей (учебное пособие). – Харьков, Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2019. – 216 с.
https://library.khai.edu/catalog?mode=DocBibRecord&lang=ukr&caller_mode=BookList&docid=510522426
2. Чигрин В.С., Гусев Ю.А., Бугаенко О.М., Попуга А.И. Виброакустика авиационных двигателей. – Х.: ХАИ, 2014. – 52 с.
3. Чигрин В.С., Суховій С.І. Віброакустика і вібродіагностика авіаційних двигунів (навч. посіб., гриф МОН). - Харків, ХАІ, 2012. – 264 с.
https://library.khai.edu/catalog?mode=DocBibRecord&lang=ukr&caller_mode=BookList&docid=510402516
4. Чигрин В. С., Скрипка О. І. Віброакустика авіаційних двигунів. Державний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського, 1999. – 15с.

Допоміжна

1. Генкин М. Д., Соколова А. Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. - М. : Машиностроение, 1987. - 288 с.
2. Попков В. И. и др. Виброакустическая диагностика в судостроении / В. И. Попков, Э. Л. Мышинский, О. В. Попков. – Л., 1983. – 256 с.
3. Вибрация в технике. Справочник: в 6 т. / пред. ред. совета, гл. редактор издания В. Н. Челомей. – М., 1981.

15. Інформаційні ресурси

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://khai-k203.tilda.ws>, <http://education.khai.edu/departament/203>