



Силабус освітнього компонента

Програма навчальної дисципліни



Спецглави динаміки машин та систем

Шифр та назва спеціальності
113 – Прикладна математика

Інститут
ННІ Комп'ютерного моделювання, прикладної фізики та математики

Освітня програма
Комп'ютерне та математичне моделювання,

Кафедра
Математичне моделювання та інтелектуальні обчислення в інженерії (161)

Рівень освіти
Магістр-науковець (1 рік 9 місяців)

Тип дисципліни
Науково-професійна, вибіркова

Семестр
3

Мова викладання
Українська

Викладачі, розробники



Грищенко Володимир Миколайович

Volodimir.grischenko@khpі.edu.ua

Кандидат технічних наук, доцент кафедри ММІ НТУ "ХПІ"

Автор понад 90 наукових та методичних публікацій.

Провідний лектор дисциплін: «Теорія динамічних процесів-I», «Теорія динамічних процесів-II», «Метод скінченних елементів», «Математичні методи аналізу динаміки машин», «Нелінійні процеси та моделі», «Моделювання динамічних процесів»

[Детальніше про викладача на сайті кафедри](#)

Загальна інформація

Анотація

Вібрації супроводжують роботу всіх машин та можуть стати небезпечними. В дисципліні наводиться ряд практично важливих прикладів проявів вібрації в таких об'єктах енергомашинобудування як ГТД, парові турбіни, роторні системи та інші. Особливістю розрахункових моделей для них є те, що вони розглядаються як єдині динамічні системи, в яких процеси різних видів в їх окремих підсистемах взаємопов'язані. Приводяться методи обчислення рівня вібрації в них та аналіз процесів, теоретична частина яких та практичні навички були викладені в попередніх курсах. Використовуються комп'ютерні засоби для чисельних розрахунків рівня вібрації. Дисципліна викладається у 3-му семестрі та передбачає: 32 години лекцій, 32 години практичних занять, 86 годин самостійної роботи. Контрольне розрахункове завдання. Колоквіум. Підсумковий контроль – залік.

Мета та цілі дисципліни

Метою курсу є інтеграція знань та навичок з вивчення динамічних процесів в елементах конструкцій, набутих в попередніх курсах для аналізу проявів вібрації в елементах таких об'єктів енергомашинобудування як ГТД, парові турбіни, роторні системи та інші. Особливістю розрахункових моделей для них є те, що вони розглядаються як єдині динамічні системи, в яких процеси різних видів в окремих підсистемах взаємопов'язані. Приводяться як загальні принципи

побудови розрахункових моделей так і аналіз окремих вібраційних процесів актуальних для конкретних об'єктів.

Формат занять

Лекції, практичні заняття, самостійна робота, консультації, контрольне завдання та Колоквіум. Підсумковий контроль - залік.

Компетентності

ЗК3. Здатність оволодівати сучасними знаннями, формулювати та вирішувати проблеми.

ЗК7. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

СК1. Здатність розв'язувати задачі й проблеми, які можуть бути формалізовані, потребують оновлення й інтеграції знань, зокрема в умовах неповної інформації.

СК2. Здатність проводити наукові дослідження з розробки нових та адаптації існуючих математичних та комп'ютерних моделей для дослідження різноманітних процесів, явищ і систем, здійснювати відповідні експерименти та аналізувати одержані результати.

СК4. Здатність розробляти та досліджувати математичні та комп'ютерні моделі, проводити обчислювальний експеримент та розв'язувати формалізовані задачі за допомогою спеціалізованих програмних засобів.

СК9. Здатність математично формалізувати постановку наукових та практичних задач, обирати математичний аналітичний або чисельний метод її розв'язання, що забезпечує потрібні точність і надійність результату.

СК11. Здатність до математичного опису різноманітних динамічних процесів, що можуть відбуватись в системах об'єктів проектування.

СК12. Здатність виявляти сутність науково-технічних проблем в професійній діяльності, застосовувати відповідні математичні моделі для дослідження механічних об'єктів та процесів.

Результати навчання

РН4. Будувати математичні моделі складних систем і вибирати методи їх дослідження, реалізовувати побудовані моделі програмно та перевіряти їх адекватність за допомогою комп'ютерних технологій.

РН11. Володіти навичками абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

РН14. Мати знання математично формалізувати постановку наукових та практичних задач, обирати математичний аналітичний або чисельний метод її розв'язання, що забезпечує потрібні точність і надійність результату.

Обсяг дисципліни

Загальний обсяг дисципліни 150 год.(5 кредитів ECTS): лекцій – 32 год., практичних – 32 год., самостійна робота – 86 год

Передумови вивчення дисципліни (пререквізити)

Базові поняття математичного аналізу, теорії диференціальних рівнянь, теоретичної механіки, теоретичних основ моделювання фізичних процесів, теорії динамічних процесів.

Особливості дисципліни, методи та технології навчання

Теоретичний матеріал закріплюється на практичних заняттях. Використовуються засоби комп'ютерного моделювання Ansys Workbench та інструменти математичних розрахунків Octave. Для оволодіння матеріалом курсу "Спецглави динаміки машин та систем" необхідне виконання контрольних завдань. По результатах виконання КЗ проводиться Колоквіум з опитуванням теоретичних основ по темі. Їх результати є основою поточного та підсумкового контролю. Необхідно працювати з навчальною літературою та літературою на електронних носіях в Інтернеті.

Програма навчальної дисципліни

Теми лекційних занять

1. Вступ. Актуальність дослідження вібрацій в таких важливих енергомашинобудівних конструкціях як парові турбіни, ГТД, роторні системи, їх вузлах та деталях.
 - 1.1. Основні напрямки досліджень та задачі дисципліни.
2. Типи газотурбінних двигунів (ТГД, ДТГД та інші) . Загальний огляд конструкцій та принцип їх роботи. Конструктивні схеми роторів парових турбін.
 - 2.1. Види і джерела збудження коливань в пружній динамічній системі роторної машини.
 - 2.2. Ротори осьових компресорів, типи роторів, конструктивні схеми, призначення.
 - 2.3. Робочі лопатки та їх кріплення.
 - 2.4. Статична міцність лопаток турбокомпресора. Розтягнення робочих лопаток відцентровими силами. Згинання робочих лопаток.
 - 2.5. Методика розрахунків елементів конструкцій на міцність.
3. Знайомство з методом скінченних елементів (МСЕ). Роль платформ комп'ютерної механіки (Ansys Workbench) в задачах забезпечення міцності об'єктів машинобудування.
4. Ротори газових турбін, типи роторів, конструктивні схеми, призначення.
 - 4.1. Особливості конструкцій лопаток, дисків газових турбін.
 - 4.2. Розрахункові методи визначення напруженого стану дисків в полі відцентрових сил.
5. Коливання лопаток турбін та компресорів.
 - 5.1. Конструктивні схеми лопаток та їх розрахункові моделі різноманітні (з полками різних типів, з бандажами, парні, в пакетах).
 - 5.2. Вібрації робочих лопаток. Визначення спектру власних частот та форм коливань. Властивості власних форм коливань.
 - 5.3. Розрахункова модель окремої не закрученої лопатки консольно закріпленої в ободі диска з бандажем під дією періодичної зовнішньої сили. Резонансні коливання.
 - 5.4. Розрахункові моделі пакету лопаток.
 - 5.5. Види та типи власних коливань лопаток(крутильні, згинальні-тангенціальні, окремої лопатки, пакетні, внутрішньо пакетні).
 - 5.6. Фактори, що впливають на частоти власних коливань лопаток(деформації зсуву, граничні умови - пружне кріплення, температура, дія відцентрових сил та інші).
 - 5.7. Причини виникнення періодичних збуджуючих сили та конструктивні засоби боротьби з небезпечними коливаннями.
 - 5.8. Математичні моделі розрахунків рівня коливань лопаток з врахуванням дисипації енергії.
6. Коливання дисків турбін та компресорів.
 - 6.1. Конструктивні схеми дисків та їх розрахункові моделі.
 - 6.2. Аксиальні коливання тонких дисків. Спектр власних частот та форм коливань. Особливості форм коливань круглої пластинки. Власні частоти коливань дисків, в полі відцентрових сил.
7. Критичні швидкості обертання роторів, що працюють в складних умовах.
 - 7.1. Поняття про критичні швидкості. Критичні швидкості обертання прямого вертикального вала з одним диском з ексцентриситетом.
 - 7.2. Види прецесії. Жорсткі та гнучкі ротори. Самоцентрування ротора.
 - 7.3. Критичні швидкості обертання вала з N зосередженими дисками. Гіроскопічний момент.
8. Крутильні коливання роторів турбоагрегатів.
 - 8.1. Вільні крутильні коливання 2-х масової моделі системи ротор турбіни-генератор.
 - 8.2. Крутильні коливання роторів ТГД (турбогвинтового двигуна). Крутильні коливання системи гвинт-елементи редуктора-ротор компресора-ротор турбіни

Теми практичних занять

1. Статична міцність лопаток. Розтягнення моделі консольної лопатки постійного поперечного перерізу відцентровими силами.
 - 1.1. Розрахунок напруженого стану моделі лопатки постійного перерізу при згинальному деформуванні поперечним навантаженням.
 - 1.2. Алгоритм метода скінченних елементів (МСЕ) в розрахунках напружено-деформованого стану елементів турбомашин. Використання CAD/CAE систем комп'ютерної механіки (Ansys Workbench) в задачах моделювання елементів роторів турбоагрегатів.

- 1.3. Розрахунок напруженого стану тонкого диску постійної товщини в полі відцентрових сил.
2. Побудова динамічних моделей машин зі скінченним числом ступенів свободи. Обчислення інерційних, пружних, дисипативних та силових елементів. Кінетична та потенціальна енергії. Рівняння руху системи матеріальних точок в узагальнених координатах (Лагранжа II роду). Поздовжня, крутильна та згинальна деформації системи з одним ступенем свободи.
 - 2.1. Рішення для коливальних процесів в моделі машини з одним ступенем свободи. Вільні, вимушені коливання. Поведінка моделі окремої не закрученої лопатки з бандажною полицею з одним ступенем свободи при дії періодичної зовнішньої сили. АЧХ та ФЧ характеристики системи.
 - 2.2. Поведінка моделі окремої не закрученої лопатки з бандажною полицею з одним ступенем свободи з врахуванням розсіювання енергії.
 - 2.3. Використання платформ комп'ютерної механіки (Ansys Workbench) в задачах моделювання власних коливань елементів роторної групи.
3. Рішення для вільних згинальних коливань пакету з 2, 3-х лопаток в полі відцентрових сил.
 - 3.1. Рішення для поздовжніх та крутильних коливань лопаток з 2-ма ступенями свободи.
4. Фактори, що впливають на спектр частот (пружне закріплення, температура, оберти).
5. Причини виникнення періодичних сил та конструктивні засоби боротьби з небезпечними коливаннями. Математична модель та принцип роботи динамічного поглинача коливань.
6. Згинальні коливання тонких прямокутних пластин. Граничні умови. Спектр власних частот та форм коливань. Особливості форм коливань прямокутної пластини.
 - 6.1. Аксиальні коливання тонких дисків. Граничні умови. Спектр власних частот та особливості форм коливань круглої пластини. Власні коливання дисків в полі відцентрових сил.
7. Поняття про критичні швидкості. Критичні швидкості обертання прямого вертикального вала з одним диском з ексцентриситетом. Самоцентрування ротора.
 - 7.1. Розрахункова модель для визначення критичних швидкостей обертання валопроводу системи ротор турбіни - генератор.
8. Актуальні задачі крутильних коливань валопроводу турбомашин.
 - 8.1. Вільні крутильні коливання 2-х масової моделі системи ротор турбіни-генератор.
 - 8.2. Крутильні коливання роторів ТГД (турбогвинтового двигуна). Крутильні коливання системи гвинт-елементи редуктора-ротор компресора-ротор турбіни
9. Проведення Колоквіуму

Теми лабораторних робіт

Немає.

Самостійна робота

1. Опрацювання лекційного матеріалу та підготовка до практичних занять.
2. Для закріплення матеріалу курсу обов'язковим є виконання КЗ:
Кз1 "Розрахунок вільних взаємопов'язаних крутильних коливань вала гвинта ТГД та згинальних коливань лопатей або лопаток".
3. Підготовка до Колоквіуму. По результатам виконання КЗ проводиться Колоквіум з опитуванням теоретичних основ по темі.
4. Для поглибленого знайомства з проблемами взаємопов'язаних коливань в конструкціях турбомашин можна розглядати теми:
 - Чисельний метод скінченних елементів (МСЕ) в розрахунках міцності та динаміки машинобудівних конструкцій.
 - Використання платформ комп'ютерної механіки (Ansys Workbench) в задачах забезпечення міцності об'єктів машинобудування.
 - Небезпечні коливання в машинах та засоби боротьби з ними.
 - Напрямки досліджень та прикладні аспекти використання динамічних процесів в машинах

Література та навчальні матеріали

Основна література

1. Ловейкін В С, Ромасевич Ю О. Динаміка машин: навч посіб. К.: ЦК КОМПРИНТ, 2013р. 227с.
2. Терещенко Ю.М. Газотурбінні двигуни літальних апаратів. Київ: Вища школа, 2000. 319с.

3. Заховайло О.П. Теорія механізмів і машин. Курс лекцій для студентів спеціальності "Динаміка і міцність машин". К.: НТУУ "КПІ", 2010. 243с.
4. Duncan N. Walker. Torsional Vibration of TurboMachinery. McGraw-Hill Professional, 2003. 209 p.
5. Dokku S. Rao, Chappa Poornima, Veerom R N Reddy. Turbine Blade Vibration Analysis, Lap Lambert Academic Publishing, 2018.
6. Грищенко В.М., Свіргун О.А., Калінін Є.І., Савченко В.Б. Основи ANSYS. Лабораторний практикум: навч. посіб. Харків: ХНТУСГ, 2020. 168с.

Додаткова література

1. Розрахунки при проектуванні машин. Побудова моделей деталей трансмісії та ДВЗ: метод. вказівки для провед. практич. занять для студ. II (магістерського) рівня вищої освіти. Галузеве машинобудування/ХНТУСГ: Уклад.: В.М. Грищенко, О.А. Свіргун, Є.І. Калінін, В.Б. Савченко, Харків, 2019. 28с.
2. Tomas V. Theory of Machines, Pearson Education, 1986.
3. Bathe K.J. Numerical methods in finite element analysis / K.J. Bathe, Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 2006. 564p
4. Поточні методичні матеріали.

Система оцінювання

Критерії оцінювання успішності студента та розподіл балів

100% підсумкової оцінки складаються з результатів здачі Колоквіуму по виконанню Кз, та практичних (60%), результатів активності студента на лк/пз (10%) та оцінювання на заліку (30%)

Шкала оцінювання

Сума балів	Національна оцінка	ECTS
90–100	Відмінно	A
82–89	Добре	B
75–81	Добре	C
64–74	Задовільно	D
60–63	Задовільно	E
35–59	Незадовільно (потрібне додаткове вивчення)	FX
1–34	Незадовільно (потрібне повторне вивчення)	F

Норми академічної етики і політика курсу

Студент повинен дотримуватися «Кодексу етики академічних взаємовідносин та доброчесності НТУ «ХПІ»: виявляти дисциплінованість, вихованість, доброзичливість, чесність, відповідальність. Конфліктні ситуації повинні відкрито обговорюватися в навчальних групах з викладачем, а при неможливості вирішення конфлікту – доводитися до відома співробітників дирекції інституту. Нормативно-правове забезпечення впровадження принципів академічної доброчесності НТУ «ХПІ» розміщено на сайті: <http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/nv/akademichna-dobrochesnist/>

Погодження

Силабус погоджено

Дата погодження
30.08.2023

Завідувач кафедри
Олексій ВОДКА

Дата погодження
30.08.2023

Гарант ОНП (1 рік 9 місяців)
Геннадій МАРТИНЕНКО