



Механічні коливання в інженерній справі систем з розподіленими параметрами

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>131 Прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>Динаміка і міцність машин</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова дисципліна</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, осінній</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити, 120 годин, (36 год. – лекції, 36 год. – практичні заняття)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік Модульні контрольні роботи</i>
Розклад занять	rozklad.kpi.ua
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н., проф. Боронко О.О. Практичні: проф. Боронко О.О. http://mmi-dmm.kpi.ua/index.php/ua/vikladachi-kafedri/14-boronko-oleg-oleksandrovich.html
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс (Moodle , Google classroom, тощо)

Програма навчальної дисципліни

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

Теорія коливань – наука про основні закони і умови існування коливань та інших рухів. Перед теорією коливань стоять дві основні задачі: як малою силою викликати корисні коливання та як послабити дію шкідливих коливань.

Розповсюдження коливань у фізичному просторі називається хвилею. Механічні системи, які можуть коливатися, називаються коливними системами. Усі коливні системи є нелінійними та континуальними. Але для полегшення їх аналізу застосовують моделі – насамперед це системи з одним ступенем вільності, які дозволяють здійснювати первісну оцінку цих процесів – а також системи з декількома ступенями вільності. Серед останніх розрізняють одновимірні моделі (стержень, балка, струна, вал та інші), двовимірні (пластина, оболонка), трьохвимірні (тверді пружні тіла, рідини, гази). Але коливні явища в техніці, природі і в людей реально існують тільки за умов їх стійкості. Тому теорію коливань потрібно вивчати разом з теорією стійкості руху.

Для кожної моделі розглядаються вільні, вимушені, параметричні коливання, а також автоколивання.

Нелінійні коливання, стійкість руху розглядаються в основному для систем з одним ступенем вільності. Подальший розвиток науки та техніки, всезростаюча необхідність розв'язання нових задач машинобудування з

урахуванням динамічних та випадкових навантажень не дає змоги обійтись тільки статичними детермінованими розрахунками з метою підвищення міцності та надійності машин при одночасному зменшенні їх ваги.

Настав час, коли для цього потрібно використовувати й чисельні динамічні ефекти (резонансні, антирезонансні, нелінійні), які широко висвітлюються в теорії коливань.

Дисципліна "Механічні коливання в інженерній справі систем з розподіленими параметрами" входить до дисциплін циклу професійної підготовки бакалавра освітньої програми „Динаміка і міцність машин”. Вона формує теоретичні та практичні знання студентів для раціонального проектування елементів машин, оцінки напружено-деформованого стану та правильної оцінки ресурсу.

Метою дисципліни є надбання студентами **ЗНАНЬ** про основні закони коливань і хвиль, які пояснюють різні динамічні ефекти - резонансні, антирезонансні, нелінійні та інші. В результаті вивчення дисципліни студенти набувають **УМІНЬ** застосовувати отримані знання і вивчені методики до наукової творчості та вирішення технічних задач на основі вже пізнаних динамічних ефектів у кожному розділі курсу на кожній моделі коливної системи.

В результаті вивчення дисципліни студенти набувають стійких **НАВИЧОК** відшукування розв’язків та оформлення винаходів і наукових досягнень для зменшення шкоди машині і людині-оператору від впливу вібрацій, а також знаходження режимів ефективної роботи коливної системи, що моделює машину.

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

Дисципліна "Механічні коливання в інженерній справі систем з розподіленими параметрами" базується на наступних дисциплінах: «Вища математика», «Лінійна алгебра та аналітична геометрія», «Теоретична механіка», «Механіка матеріалів і конструкцій», «Теорія пружності». В свою чергу набуті знання є передумовою вивчення дисципліни як «Теорія коливань стрижневих і континуальних систем систем», Лекційний матеріал містить теоретичні положення, на яких базується курс, постановку задач, методи розв’язку задач теорії коливань і стійкості руху по визначенню динамічного стану та його аналізу. Практичні заняття сприяють оволодінню студентами вмінням і навичками розв’язку задач пов’язаних з теоретичними розрахунками при визначенні власних частот та власних форм коливань.

2. Зміст навчальної дисципліни

Надається перелік розділів і тем всієї дисципліни.

Розділ 1. Коливальні системи з розподіленими параметрами

- 1.1. Поздовжні коливання стержнів
- 1.2. Виведення диференціального рівняння поздовжніх коливань стержня змінного перерізу з прямою віссю
- 1.3. Вільні поздовжні коливання стержня змінного перерізу
- 1.4. Вільні поздовжні коливання стержня постійного перерізу
- 1.5. Визначення власних частот і форм поздовжніх коливань стержня постійного перерізу
- 1.6. Визначення власних частот і форм поздовжніх коливань стержня за неоднорідних граничних умов
- 1.7. Коливання систем з розподіленими параметрами
- 1.8. Крутильні коливання однорідного стержня постійного поперечного перерізу
- 1.9. Вимушені коливання з врахуванням розсіяння енергії по гіпотезі Кельвіна- Фойхта
- 1.10. Метод початкових параметрів при поздовжніх коливаннях східчастих стержнів

Розділ 2. Лінійні хвилі в пасивних системах з розподіленими параметрами

- 2.1. Приклади хвиль малої амплітуди в пасивних системах
- 2.2. Розв’язок хвильового рівняння. Дисперсія
- 2.3. Початкова та гранична задачі
- 2.4. Поширення хвильового пакета в лінії з дисперсією
- 2.5. Формальна класифікація дисперсії. Відсічки та резонанси
- 2.6. Причини виникнення дисперсії (модельний розгляд)

Розділ 3. Елементи теорії нелінійних коливань

- 3.1. Нелінійна відновлювальна сила
- 3.2. Основне диференціальне рівняння та його точний розв'язок
- 3.3. Наближений розв'язок основного диференціального рівняння
- 3.4. Властивості нелінійних коливальних систем

3. Навчальні матеріали та ресурси

Основна література

1. Бабенко А.Є., Боронко О.О., Лавренко Я.І., Трубачев С.І.. Коливання неконсервативних механічних систем: Монографія. – Нац.техн.ун-т України «КПІ імені Ігоря Сікорського». –Київ: 2020. – 153 с. Гриф надано Вченою радою Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (протокол № 8 від 14 . 12. 2020 р.) <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38187>
2. Бабенко А.Є., Бобир М.І., Боронко О.О. Трубачев С.І. Теорія коливань та стійкості руху. Навч. посіб.- К. Гама-Принт, 2010. – 172 с.
3. Василенко М. В., Алексейчук О. М. Теорія коливань і стійкості руху : Підручник.- К.: Вища шк., 2004.- 525 с.: іл.
4. Калита В.М. Загальна фізика. Коливання та хвильові процеси : модульне навчання / В. М. Калита, В. М. Локтев; НАН України, Ін-т теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова, НТУУ "КПІ". - Київ : Інститут теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова, 2012. - 230 с..
5. Методи досліджень механічних властивостей матеріалів та виробів динамічними методами. Практичний посібник. Для студентів напрямку підготовки 6.050501 "Прикладна механіка" // Шидловський М.С., Боронко О.О., Шпак Д.Ю. – К.: НТУУ "КПІ", 2014.

Допоміжна література

6. Анісімов І.О. Коливання та хвилі. Навчальний посібник. Київ, 2001. – 397с.Методичні вказівки до виконання комплексних контрольних робіт з дисципліни «Теорія коливань та стійкості руху» для студентів напрямку підготовки 6.050501 «Прикладна механіка». Системи з одним ступенем свободи. // Бабенко А.Є., Боронко О.О., Грабовський А.П. та ін.- Київ НТУУ «КПІ», 2013.-13 с.
8. Основи терії коливань механічних систем: Навчальний посібник для студентів дисципліни "Теорія коливань" / Швайко Микола Юрійович - Дніпропетровський державний університет. - Дніпропетровськ : РВВ ДДУ, 2000. - 268 с.
- 9 Теорія коливань : Навч. посіб. для вищ. навч. закл. / Ю.С. Рудь, І.С. Радченко, С.М. Кузьміч, В.Ю. Білоножко. - Кривий ріг : Мінерал, 2002. - 391 с.

4. Навчальний контент

Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекції

Розділ 1. Коливальні системи з розподіленими параметрами

Лекція 1. Поздовжні коливання стержнів

Лекція 2. Виведення диференціального рівняння поздовжніх коливань стержня змінного перерізу з прямою віссю

Лекція 3. Вільні поздовжні коливання стержня змінного перерізу

Лекція 4. Вільні поздовжні коливання стержня постійного перерізу

Лекція 5. Визначення власних частот і форм поздовжніх коливань стержня постійного перерізу та за неоднорідних граничних умов

Лекція 6. Коливання систем з розподіленими параметрами

Лекція 7. Крутильні коливання однорідного стержня постійного поперечного перерізу

Лекція 8. Вимушені коливання з врахуванням розсіяння енергії по гіпотезі Кельвіна- Фойхта

Лекція 9. Метод початкових параметрів при поздовжніх коливаннях східчастих стержнів

Розділ 2. Лінійні хвилі в пасивних системах з розподіленими параметрами

Лекція 10. Приклади хвиль малої амплітуди в пасивних системах

Лекція 11. Розв'язок хвильового рівняння. Дисперсія. Початкова та гранична задачі

Лекція 12. Поширення хвильового пакета в лінії з дисперсією

Лекція 13. Формальна класифікація дисперсії. Відсічки та резонанси

Лекція 14. Причини виникнення дисперсії (модельний розгляд)

Розділ 3. Елементи теорії нелінійних коливань

Лекція 16. Нелінійна відновлювальна сила

Лекція 17. Основне диференціальне рівняння та його точний розв'язок

Лекція 18. Наближений розв'язок основного диференціального рівняння. Властивості нелінійних коливальних систем

Практичні заняття

- ПЗ 1. Виведення диференціального рівняння позовжніх коливань стержня змінного перерізу з прямою віссю
- ПЗ 2. Визначення власних частот і форм позовжніх коливань стержня постійного перерізу
- ПЗ 3. Визначення власних частот і форм позовжніх коливань стержня за неоднорідних граничних умов
- ПЗ 4. Коливання систем з розподіленими параметрами
- ПЗ 5. Крутильні коливання однорідного стержня постійного поперечного перерізу
- ПЗ 6. Розв'язок задачі про вимушені коливання з врахуванням розсіювання енергії по гіпотезі Кельвіна- Фойхта
- ПЗ 7. Метод початкових параметрів при позовжніх коливаннях східчастих стержнів
- ПЗ 8. Дослідження усталених резонансних коливань нелінійної системи з одним ступенем вільності при гармонічному збудженні
- ПЗ 9. Задачі на коливання систем з розподіленими параметрами
- ПЗ 10. Форми диференціальних рівнянь вільних коливань системи
- ПЗ 11. Розв'язання рівнянь вільних коливань
- ПЗ 12. Випадок періодичної зміни жорсткості системи
- ПЗ 13. Випадок періодичної зміни навантаження
- ПЗ 14. Приклади хвиль малої амплітуди в пасивних системах
- ПЗ 15. Просторові гармоніки
- ПЗ 16. Розв'язок хвильового рівняння. Початкова та гранична задачі
- ПЗ 17. Основне диференціальне рівняння та його точний розв'язок нелінійних коливань
- ПЗ 18. Наближений розв'язок основного диференціального рівняння нелінійних коливань

5. Самостійна робота студента

В кожному семестрі після завершення вивчення розділів студенти виконують контрольні роботи, які включають задачі. Метою контрольних робіт є перевірка засвоєння навчального матеріалу, закріплення теоретичних знань і набуття навичок розв'язування практичних задач.

На практичних заняттях розв'язують задачі, що відповідають окремим темам курсу. Особлива увага приділяється типовим задачам, які є складовою частиною курсової роботи (КР). Під час самостійного розв'язання задач КР студенти можуть користуватися основною і додатковою літературою та методичними вказівками. Кожна задача КР повинна бути захищена. Під час захисту студент повинен знати теоретичний матеріал, який використовується для розв'язання задачі, а також розв'язати задачі. За результатами захисту окремих задач проставляється оцінка за КР та кількість набраних балів. Для підготовки до лекцій, практичних, а також виконання і захисту КР студенти користуються конспектом лекцій, підручниками і методичними вказівками, наведеними нижче.

Політика та контроль

6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування занять

Відвідування лекцій та практичних занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрового індивідуального завдання.

Система оцінювання орієнтована на отримання балів за своєчасність виконання студентам практичних робіт, а також виконання завдань, які здатні розвинути практичні уміння та навички.

Заохочувальні бали		Штрафні бали	
Критерій	Ваговий бал	Критерій	Ваговий бал
Своєчасне виконання практичної роботи (за кожне завдання)	+ 4 бали	Порушення термінів виконання практичної роботи (за кожне завдання)	0 балів

		Несвоєчасне написання модульної контрольної роботи (на запланованому занятті)	0 балів
--	--	---	---------

Пропущені контрольні заходи

Індивідуальне завдання, яке подається на перевірку з порушенням терміну виконання, але до терміну виставлення поточної атестації (або заліку / іспиту), оцінюється зі штрафними балами.

Індивідуальне завдання, яке подається на перевірку з порушенням терміну виконання та після терміну виставлення поточної атестації (або заліку / іспиту), не оцінюється.

Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Навчання іноземною мовою

Навчальна дисципліна «Механічні коливання в інженерній справі систем з розподіленими параметрами» не передбачає її вивчення англійською мовою.

Інклюзивне навчання

Навчальна дисципліна «Механічні коливання в інженерній справі систем з розподіленими параметрами» може викладатися для більшості студентів з особливими освітніми потребами, окрім осіб з серйозними вадами зору, які не дозволяють виконувати завдання за допомогою персональних комп'ютерів, ноутбуків та/або інших технічних засобів.

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

Види контролю та бали за кожен елемент контролю:

№ з/п	Контрольний захід	%	Ваговий бал	Кіл-ть	Всього
1.	Практична робота	60	5	12	60
4.	Залік	40	40	1	40
Всього					100

Результати оголошуються кожному студенту окремо у присутності або в дистанційній формі (у системі Moodle або е-поштою).

Поточний контроль: модульна контрольна робота, оцінювання дистанційного навчання

1. Модульна контрольна робота

№ з/п	Модульна контрольна робота	%	Ваговий бал	Кіл-ть	Всього
1.	Відповідь правильна (не менше 90% потрібної інформації)	90	30	3	90
2.	Несуттєві помилки у відповіді (не менше 75% потрібної інформації)	75	25	3	75

3.	Є недоліки у відповіді та певні помилки (не менше 60% потрібної інформації)	60	20	3	60
4.	Відповідь на тестове запитання з варіантами відповідей	10	10	1	10
5.	Відповідь відсутня або не правильна	0	0	3	0
Максимальна кількість балів					100

2. Дистанційне навчання

Виставлення оцінки за дистанційне навчання шляхом перенесення результатів проходження онлайн-курсів у системі Moodle передбачено лише для контрольних запитань і результатів тестування за виконання індивідуального завдання.

Виставлення оцінки за контрольні заходи (практичні роботи, модульна контрольна робота) шляхом перенесення результатів проходження онлайн-курсів не передбачено.

№ з/п	Дистанційне навчання	%	Ваговий бал	Кіл-ть	Всього
1.	Відповідь на контрольні запитання в онлайн-системі Webex або Zoom	40	10	4	40
2.	Відповідь на тести у системі Moodle	50	10	5	50
3.	Вчасність проходження дистанційного навчання	10	10	1	10
Всього					100

У разі виявлення академічної не доброчесності під час дистанційного навчання – контрольний захід не враховується, студент до захисту не допускається.

Календарний рубіжний контроль

Проміжна атестація студентів (далі–атестація) є календарним рубіжним контролем. Метою проведення атестації є підвищення якості навчання та моніторинг виконання графіка освітнього процесу³.

Критерій			Перша атестація	Друга атестація
Термін атестації ⁴			8-ий тиждень	14-ий тиждень
Умови отримання атестації	Поточний рейтинг ⁵		≥ 15 балів	≥ 30 балів
	Виконання практичних робіт	Практична робота	+	+
		Практична робота	—	+
	Виконання модульної контрольної роботи	Модульна контрольна робота	—	—

Семестровий контроль: залік

Обов'язкова умова допуску до екзамену/заліку		Критерій
1	Поточний рейтинг	RD ≥ 30

Умови допуску до семестрового контролю:

1. Виконання практичних робіт;

2. Позитивний результат першої атестації та другої атестації;
3. Відвідування 60% лекційних занять.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

8. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- *перелік питань, які виносяться на семестровий контроль*

1. Класифікація систем з розподіленими параметрами. Матричне рівняння Ламе.
2. Виведення диференційного рівняння позовжніх коливань стрижня.
3. Операторне представлення диференційного рівняння позовжніх коливань стрижня.
4. Властивості операторів рівняння вільних позовжніх коливань стрижня.
5. Властивості власних частот і власних форм позовжніх коливань стрижня.
6. Доведення умов ортогональності власних форм позовжніх коливань стрижня і формул зведення.
7. Хвильове рівняння і його розв'язування у випадку, коли обидва кінці стрижня вільні для позовжніх переміщень.
8. Розв'язування хвильового рівняння у випадку, коли обидва ці стрижня закріплені.
9. Розв'язування хвильового рівняння у випадку, коли один кінець стрижня закріплений, а другий вільний.
10. Неоднорідні граничні умови при позовжніх коливаннях стрижня.
11. Визначення власних частот і власних форм коливань стрижня постійного перерізу при неоднорідних граничних умовах.
12. Виведення умов ортогональності та формул зведення при неоднорідних граничних умовах при позовжніх коливаннях стрижня.
13. Розв'язування хвильового рівняння методом Д'Аламбера. Фізичний зміст розв'язку.
14. Зв'язок між розв'язками Д'Аламбера і Фур'є для хвильового рівняння.
15. Синусоїдальна хвиля. Довжина хвилі, її залежність від хвильового числа.
16. Вільні позовжні коливання з урахуванням в'язкого тертя. Розв'язування МГК. Характер коливань.
17. Вимушені позовжні коливання ідеально пружного стрижня. Розв'язування МГК. Вимушуюча сила довільна, гармонічна.
18. Вимушені позовжні коливання під дією розподіленої гармонічної сили при наявності в'язкого тертя. Частотна передаточна функція.
19. Кінематичне збудження позовжніх коливань стрижня.
20. Вимушені стаціонарні випадкові позовжні коливання стрижня.
21. Метод початкових параметрів для позовжніх коливань у глобальній системі координат.
22. Метод початкових параметрів для позовжніх коливань у формі Коші.
23. Метод початкових параметрів у матричному вигляді при позовжніх коливаннях стрижня.
38. Пружні хвилі в твердому середовищі. Енергетичні характеристики хвиль. Кінематика гармонічних хвиль.
39. Класифікація хвиль.
40. Взаємодія хвиль.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено Проф. кафедри динаміки і міцності машин та опору матеріалів, д.т.н., проф. Боронко О.О.

Доц. кафедри динаміки і міцності машин та опору матеріалів, к.т.н., доц. Лавренко Я.І.

Ухвалено кафедрою динаміки і міцності машин та опору матеріалів (протокол № 5 від 16 грудня 2021 р..)

Погоджено Методичною комісією Механіко-машинобудівного інституту (протокол № 5 від 17 грудня 2021 р.)