



Теорія коливань стрижневих і континуальних систем.

Частина 1. Коливання систем з багатьма ступенями вільності 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>Нормативна, цикл професійної підготовки</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4,5кр., 135 год. (36 год. – лекції, 36 год. – практичні заняття)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен Модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	rozklad.kpi.ua
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лекції, практичні заняття: д.т.н., проф. Боронко О.О.</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Теорія коливань – наука про основні закони коливань 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.

Дисципліна «Теорія коливань стрижневих і континуальних систем» входить до циклу професійної підготовки бакалавра за освітньою програмою «Динаміка і міцність машин» спеціальності 131 Прикладна механіка.

Вона формує теоретичні та практичні знання студентів для раціонального проектування елементів машин, оцінки напружено-деформованого стану та правильної оцінки ресурсу.

Лекційний матеріал містить теоретичні положення, на яких базується курс, постановку задач, методи розв'язку задач теорії коливань і стійкості руху з визначення динамічного стану та його аналізу. Практичні заняття сприяють оволодінню студентами уміннями і навичками розв'язку задач, пов'язаних з теоретичними розрахунками при визначенні власних частот та власних форм коливань.

Метою курсу є надбання студентами знань про основні закони коливань і хвиль, які пояснюють різні динамічні ефекти – резонансні, антирезонансні, нелінійні та ін. Після опанування дисципліни студенти отримають уміння застосовувати методи курсу та суміжних дисциплін до наукової творчості та технічних вирішень на основі вже пізнаних динамічних ефектів у кожному розділі курсу на кожній моделі коливної системи та 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.

Компетентності освітньо-професійної програми «Динаміка і міцність машин» спеціальності 131 Прикладна механіка, які сформулюються у студентів у результаті опанування навчальної дисципліни (у т.ч. з іншими освітніми компонентами програми):

- ЗК 2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності;
- ЗК 4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;
- ФК 1. Здатність аналізу матеріалів, конструкцій та процесів на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук і прикладної механіки;

- ФК 2. Здатність робити оцінки параметрів працездатності матеріалів, конструкцій і машин в експлуатаційних умовах та знаходити відповідні рішення для забезпечення заданого рівня надійності конструкцій і процесів, в тому числі і за наявності деякої невизначеності;
- ФК 14. Здатність оптимізувати конструкцію устаткування, машини, агрегату, вузла, тощо з точки зору її міцності, надійності та вартості;
- ФК 15. Здатність коректно визначати граничні умови та створювати розрахункові моделі реальної конструкції з урахуванням зовнішнього експлуатаційного навантаження.

Програмні результати навчання, які здобудуть студенти після опанування навчальної дисципліни (у т.ч. з іншими освітніми компонентами програми):

- РН 3. Виконувати розрахунки на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість деталей машин;
- РН 4. Оцінювати надійність деталей і конструкцій машин в процесі статичного та динамічного навантаження;
- РН 20. Знання з теорії коливань та стійкості руху;
- РН 26. Уміння синтезувати алгоритми вирішення науково-технічних завдань з використанням сучасних технічних і програмних інформаційних засобів реалізації підтримки наукової та технічної діяльності;
- РН 28. Уміння готувати вихідні дані для обґрунтування технічних рішень, застосовувати стандартні методики розрахунків при проектуванні елементів машинобудівних конструкцій;
- РН 31. Уміння проводити аналітичні розрахунки елементів машинобудівних конструкцій на міцність жорсткість та стійкість.

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

Вивчення дисципліни базується на таких освітніх компонентах програми:

- ПО 1. Вища математика
- ПО 2. Лінійна алгебра і аналітична геометрія
- ПО 8 Теоретична механіка
- ПО 21. Будівельна механіка стержневих систем

Освітні компоненти програми, що базуються на навчальній дисципліні:

- ПО 25. Переддипломна практика
- ПО 26 Дипломне проектування

3. Зміст освітнього компонента навчальної дисципліни

Розділ 1. Автономні системи зі скінченним числом ступенів вільності

Тема 1.1 Квадратичні форми та матриці параметрів.

Вільні коливання системи з декількома ступенями вільності.

Тема 1.2. Вільні коливання дисипативних систем

Розділ 2. Неавтономні системи зі скінченним числом ступенів вільності

Тема 2.1. Вимушені коливання систем з декількома ступенями вільності без тертя.

Тема 2.2. Параметричні коливання

Тема 2.3 . Автоколивання

Розділ 3. Рівняння методу скінченних елементів у теорії коливань

Тема 3.1 Метод скінченних елементів у теорії коливань

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основні:

1. Коливання стержнів, пластин та оболонок [Електронний ресурс] : підручн. для студ. спец. 131 «Прикладна механіка» / А. Є. Бабенко, О. О. Боронко, Я. І. Лавренко, С. І. Трубачев ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 10,5 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 251 с.
2. Теорія коливань і стійкості руху : підручник для студ. вищ. техн. навч. закл. / М.В. Василенко, О.М. Алексейчук. – Київ : Вища школа, 2004. – 525 с.
3. Теорія коливань та стійкості руху : навч. посіб. для студ. напряму підготовки 6.050501 «Прикладна механіка» / А.Є. Бабенко, М.І. Бобир, О.О. Боронко, С.І. Трубачев. – Київ : Гама-Принт, 2010. – 172 с.
4. Теорія коливань та стійкості руху: Коливальні системи з розподіленими параметрами: Курсовий проект [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» / А. Є. Бабенко, О. О. Боронко, А. П. Грабовський, А. М. Бабак ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,48 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 67 с. – URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/23729>

5. Теорія коливань та стійкості руху [Електронний ресурс] : збірник завдань до курсового проектування та практичних занять для студентів напряму підготовки 6.050501 «Прикладна механіка» / НТУУ «КПІ» ; уклад. А. Є. Бабенко, М. І. Бобир, О. О. Боронко, С. І. Трубочев. – Електронні текстові дані (1 файл: 12,0 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2010. – URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/794>

Допоміжні:

6. Методичні вказівки до виконання комплексних контрольних робіт (ККР) з дисципліни «Теорія коливань та стійкості руху» для студентів напряму підготовки 6.050501 «Прикладна механіка» [Електронний ресурс] / НТУУ «КПІ» ; уклад. А. Є. Бабенко, О. О. Боронко, А. П. Грабовський [та ін.]. – Електронні текстові дані (1 файл: 136 Кбайт). – Київ: НТУУ «КПІ», 2013. – 13 с. – URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/6623>
7. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи з дисципліни «Теорія коливань та стійкості руху» (Системи з одним ступенем свободи) для студентів напряму підготовки 6.050501 «Прикладна механіка» [Електронний ресурс] / НТУУ «КПІ» ; уклад. А. Є. Бабенко, О. О. Боронко, А. П. Грабовський [та ін.]. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,12 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2013. – 62 с. – URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/6624>
8. Методи досліджень механічних властивостей матеріалів та виробів динамічними методами [Електронний ресурс] : практичний посібник для студентів напрямку підготовки 6.050501 «Прикладна механіка» / НТУУ «КПІ» ; уклад. М. С. Шидловський, О. О. Боронко, Д. Ю. Шпак. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,98 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 81 с. – URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/7794>
9. Методичні вказівки до державної атестації та виконання атестаційної роботи бакалавра студентами кафедри Динаміки, міцності машин і опору матеріалів ММІ НТУУ «КПІ» з напрямку 6.050501 Прикладна механіка. // Бабенко А.Є., Боронко О.О., Заховайко О.П. та інш., К.: НТУУ "КПІ", 2012. –73 с.: іл.
10. Динаміка оболонок при кінематичному збудженні:Методичні вказівки до курсу "Теорія коливань" : для студентів мех.-машинобуд. фак. усіх форм навч. / М.В. Василенко. - К. : КПІ, 1994. - 24 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування освітнього компонента

Лекції:

Розділ 1. Автономні системи зі скінченним числом ступенів вільності

Лекція 1. Квадратичні форми і матриці параметрів. Форми диференціальних рівнянь вільних коливань системи.

Лекція 2. Розв'язання рівнянь вільних коливань.

Лекція 3. Діаграми розв'язків частотного рівняння системи з двома ступенями вільності. Властивості власних частот і власних форм коливань.

Лекція 4. Особливі види коливальних систем.

Лекція 5. Несиметричні форми диференціальних рівнянь вільних коливань.

Лекція 6. Головні координати системи зі скінченним числом ступенів вільності. Варіаційні принципи в теорії коливань систем зі скінченним числом ступенів вільності.

Лекція 7. Вільні коливання дисипативних систем.

Лекція 8. Амплітудно частотні характеристики коливальних систем без тертя

Лекція 9. Варіаційні принципи в теорії коливань систем зі скінченним числом ступенів вільності.

Розділ 2. Неавтономні системи зі скінченним числом ступенів вільності

Лекція 10. Вимушені коливання системи без тертя. Довільні змушувальні сили. Гармонічні змушувальні сили.

Лекція 11. Амплітудно – частотні характеристики коливальних систем без тертя.

Лекція 12. Вимушені коливання дисипативних систем. Довільні змушувальні сили. Гармонічні змушувальні сили.

Лекція 13. Кінематичне збудження в системі зі скінченним числом ступенів вільності.

Лекція 14. Параметричні коливання.

Лекція 15. Автоколивання

Розділ 3. Рівняння методу скінченних елементів у теорії коливань

Лекція 16. Вимушені стаціонарні випадкові коливання

Лекція 17. Рівняння методу скінченних елементів в теорії коливань

Лекція 18. Метод покоординатного спуску в теорії коливань

Практичні заняття

Розділ 1. Автономні системи зі скінченним числом ступенів вільності

- ПЗ 1. Квадратичні форми та матриці параметрів. Вільні коливання системи з декількома ступенями вільності.
- ПЗ 2. Побудова діаграм Віна. Задачі визначення голоПЗвних коефіцієнтів інерції і жорсткості.
- ПЗ 3. Умови ортогональності власних форм коливань по кінетичній і потенціальній енергіям для систем з декількома ступенями вільності.
- ПЗ 4. Несиметричні форми диференціальних рівнянь.
- ПЗ 5. Головні координати системи зі скінченним числом ступенів вільності.
- ПЗ 6. Варіаційні принципи в теорії коливань систем зі скінченним числом ступенів вільності.
- ПЗ 7. Особливі види коливальних систем.
- ПЗ 8. Приведення несиметричних систем до симетричних.
- ПЗ 9. Ланцюгові системи.
- ПЗ 10. Задачі на формулу Релея для систем зі скінченним числом ступенів вільності.
- ПЗ 11. Згинні коливання балок зі скінченним числом ступенів вільності.
- ПЗ 12. Вільні коливання дисипативних систем.

Розділ 2. Неавтономні системи зі скінченним числом ступенів вільності

- ПЗ 13. Вимушені коливання систем з декількома ступенями вільності без тертя.
- ПЗ 14. Побудова АЧХ для систем зі скінченним числом ступенів вільності.
- ПЗ 15. Кінематичне збудження коливань.
- ПЗ 16. Параметричні коливання.
- ПЗ 17. Автоколивання.

Розділ 3. Рівняння методу скінченних елементів у теорії коливань

- ПЗ 18. Вимушені стаціонарні випадкові коливання

6. Самостійна робота здобувача вищої освіти

Навчальним планом передбачено час на самостійну роботу студента, що включає підготовку до лекцій, практичних занять, контрольних робіт та екзамену.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування лекцій та практичних занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, студентам рекомендується відвідувати аудиторні заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для здобуття необхідних компетентностей та результатів навчання, а також будуть корисними для виконання кваліфікаційної роботи.

Порушення термінів виконання практичної роботи штрафується: за кожне завдання –1 бал. Штрафні бали не застосовуються в разі невчасного виконання практичної роботи з поважної причини.

При відсутності студента з поважної причини на контрольній роботі йому надається право виконати цю контрольну роботу протягом двох тижнів після виходу на заняття.

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

У разі виявлення академічної недоброчесності – контрольний захід не враховується.

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

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

1) Практичні заняття

Робота на практичному занятті оцінюється максимум у 5 балів (усього 12 занять).

Критерії оцінювання:

5 балів – завдання виконано у повному обсязі без помилок, студент показує глибокі знання з теми завдання, впевнено і докладно відповідає на поставлені запитання під час здачі;

4,5 балів – завдання виконане у повному обсязі з незначними помилками або неточностями, але в цілому задачу виконано логічно, під час здачі студент показує знання з теми завдання, майже впевнено відповідає на поставлені запитання;

3 бали – завдання виконано у повному обсязі з незначними помилками або неточностями, але задачу виконано здебільшого логічно, під час здачі студент виявляє невпевненість, показує слабкі знання з теми завдання, не завжди дає вичерпні відповіді на запитання;

0 балів – завдання не виконано взагалі, або виконано не в повному обсязі, або зі значними помилками, під час здачі студент не може відповісти на жодне поставлене запитання з теми завдання.

2) Контрольні роботи за розділами

Після завершення вивчення розділів на практичному занятті проводиться контрольна робота. Усього проводиться дві контрольні роботи (за розділом 1 та спільна за розділами 2 і 3). Максимальний бал за кожну контрольну роботу – 10 балів.

Критерії оцінювання:

10 балів – виконання роботи у повному обсязі без помилок;

9...8 балів – виконання роботи у повному обсязі з незначними неточностями;

7...6 балів – виконання роботи майже у повному обсязі з незначними помилками;

0 балів – повне невиконання роботи або виконання роботи зі значними помилками.

3) Календарний контроль

На 8 тижні в семестрі проводиться календарний контроль як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Умова позитивного результату: мінімальний рейтинг 40 балів.

4) Семестровий контроль

Семестровий контроль – екзамен.

Рейтингові бали, отримані студентом протягом семестру за виконання заходів поточного контролю (відповіді на практичних заняттях, виконання контрольних робіт), разом із штрафними балами, підсумовуються, і в разі отримання 60 і більше балів, переводяться до підсумкової оцінки згідно з таблицею, яка заноситься до відомості семестрового контролю.

Якщо студент, який отримав 60 і більше балів, бажає підвищити свій результат, то він може взяти участь у заліковій контрольній роботі. У цьому разі остаточний результат складається з балів, отриманих на заліковій контрольній роботі.

Якщо сума рейтингових балів, отриманих за семестр 30 і більше балів (що є умовою допуску до заліку) але менша за 60, студент виконує залікову контрольну роботу.

Сума балів, отриманих за виконання залікової контрольної роботи, переводиться до підсумкової оцінки згідно з таблицею та заноситься до відомості семестрового контролю.

Залікова контрольна робота проводиться на останньому практичному занятті у семестрі.

Залікова контрольна робота складається з двох теоретичних запитань (по 10 балів кожне) та чотирьох практичних задач (по 20 балів кожна).

Критерії оцінювання теоретичного запитання:

10 балів – повна правильна відповідь на запитання;

9...7 балів – повна відповідь на запитання з незначними помилками або неточностями;

6...5 балів – майже повна відповідь з незначними помилками або неточностями;

0 балів – відповідь відсутня або неправильна.

Критерії оцінювання практичної задачі:

20 балів – задачу виконано правильно у повному обсязі;

19...15 балів – задачу виконано у повному обсязі з незначними помилками, в цілому логічно;

14...12 балів – задачу виконано майже у повному обсязі з незначними помилками або неточностями, здебільшого логічно;

0 балів – задачу виконано неправильно або не виконано взагалі.

Таблиця переведення рейтингових балів або балів, отриманих за виконання залікової контрольної роботи, до оцінок:

Сума балів	Оцінка за університетською шкалою
100...95	Відмінно
94...85	Дуже добре
84...75	Добре
74...65	Задовільно
64...60	Достатньо
59 і менше	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Недопущено

9. Додаткова інформація

Під час дистанційного навчання залік проводиться згідно з регламентом проведення семестрового контролю в дистанційному режимі <https://osvita.kpi.ua/node/148>.

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль:

1. Квадратичні форми і матриці параметрів системи з багатьма степенями вільності.
2. Форми диференційних рівнянь вільних коливань системи з багатьма степенями вільності.
3. Методи розв'язування рівнянь вільних коливань системи з багатьма степенями вільності.
4. Методи розв'язування рівнянь вільних коливань системи з багатьма степенями вільності. Метод головних коливань (МГК).
5. Частотне (вікове) рівняння. Три випадки його розв'язків. Графік.
6. Графіки розв'язків при $n=2$
7. Діаграма Віна для прямої форми диференційних рівнянь коливань.
8. Висновки з діаграми Віна.
9. Властивості власних частот і власних форм колива
10. Довести умови ортогональності та вивести формули зведення для коливних систем з багатьма степенями вільності.
11. Визначення ортогональної матриці.
12. Особливі види коливних систем з багатьма степенями вільності. Ланцюгові системи та їх властивості. Регулярні системи. Напів визначені коливальні системи.
13. Пряма і обернена несиметричні форми диференційних рівнянь.
14. Симетризація і умови ортогональності власних форм коливань для несиметричної оберненої форми рівнянь.
15. Варіаційні принципи в теорії коливань систем з багатьма степенями вільності.
16. Головні координати та їх значення.
17. Диференційні рівняння вільних коливань системи з багатьма степенями вільності з в'язким тертям. Розв'язування. Характер коливань.
18. Вимушені коливання ідеально пружної системи з багатьма степенями вільності під дією гармонічних сил. Безпосередній розв'язок і у вигляді розкладу за власними формами коливань (МГК). Резонанс. Головні і побічні резонанси. Голови і і побічні антирезонанси.
19. Амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) ідеально-пружної коливальної системи з двома степенями вільності.
20. Динамічний гасник коливань без тертя. Переваги та недоліки.
21. Вимушені коливання системи з багатьма степенями вільності з урахуванням тертя під дією довільних сил. МГК.
22. Дія гармонічних вимушуючих сил на систему з багатьма степенями вільності при наявності в'язкого тертя. Безпосередній розв'язок і розв'язок МГК.
23. Умови наближеного врахування тертя при застосуванні розв'язку МГК до системи з багатьма степенями вільності.
24. Динамічна матриця податливості.
25. Кінематичне збудження в системі з багатьма степенями вільності.
26. Параметричні коливання в системі з багатьма степенями вільності.
27. Автоколивання в системі з багатьма степенями вільності.

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 № 11 від 01.07.2022 р.)

Погоджено Методичною комісією Механіко-машинобудівного інституту (протокол № 11 від 29.08.2022 р.)