



ВАРІАЦІЙНІ МЕТОДИ В МЕХАНИЦІ СТРИЖНЕВИХ СИСТЕМ

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</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ЄКТС, 120 годин: лекції – 36 годин, практ. заняття – 36 год., самостійна робота – 48 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік /контрольні роботи за розділами та семестрова контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>Лекція - 1 раз на тиждень, практичне заняття – 1 раз на тиждень</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>д.т.н., професор Пискунов Сергій Олегович</i> e-mail: s.piskunov@kpi.ua , профіль: http://mmi-dmm.kpi.ua/index.php/ua/vikladachi-kafedri/212-%D0%BF%D1%96%D1%81%D0%BA%D1%83%D0%BD%D0%BE%D0%B2-%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B3%D1%96%D0%B9-%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87.html Практичні: <i>д.т.н., професор Пискунов Сергій Олегович</i>
Розміщення курсу	<i>Посилання на дистанційний ресурс (Moodle, Google classroom, тощо)</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Варіаційне числення є загальним підходом до розв'язання задач механіки, який ґрунтується на властивостях екстремальності (визначенні максимумів чи мінімумів тих чи інших величин, які описують механічний процес або явище) і дозволяє описувати широке коло механічних процесів і явищ на основі складання і аналізу властивостей екстремальності функціоналів. Варіаційне числення дозволяє проводити розв'язання задач руху, статичного і динамічного деформування механічних систем з мінімальними обмеженнями на їх конфігурацію і структуру. Варіаційні підходи є загальною основою для побудови розв'язувальних співвідношень методу скінченних елементів, особливо для просторових задач.

Метою вивчення дисципліни є: вивчення теоретичних основ і практичних аспектів варіаційних методів стосовно до стержневих систем. Розглядаються аналітичні методики

розв'язання задач, а також питання використання варіаційного числення до отримання розв'язувальних співвідношень МСЕ і його використання для розв'язання практичних задач.

Предмет дисципліни – методики побудови функціоналів та дослідження їх екстремальних властивостей на основі варіаційних принципів, розв'язувальні співвідношення методу скінченних елементів, числові результати розрахунку стрижневих систем МСЕ при дії статичних навантажень.

Програмні результати навчання:

знання :

- загальних положень варіаційного числення, варіаційних принципів, методик розв'язання задач варіаційного числення;
- застосування варіаційного числення для аналітичного розв'язання задач будівельної механіки стрижневих систем;
- основних підходів до розв'язання задач деформування стрижневих систем із використанням методу скінченних елементів.

уміння:

- проводити розв'язання екстремальних задач із використанням варіаційних принципів
- проводити аналітичне розв'язання задач про деформування стрижневих систем із використанням варіаційних принципів;
- проводити числові розрахунки стрижневих систем методом скінченних елементів.

досвід:

- аналітичного і чисельного розв'язання задач механіки стрижневих систем.

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

Пререквізити: курси (навчальні дисципліни): Вища математика, Теоретична механіка, Механіка матеріалів і конструкцій, Теорія пружності, Будівельна механіка стрижневих систем.

Постреквізити: вивчення дисципліни забезпечує базис для подальшого вивчення дисциплін «Числові методи», «Автоматизовані системи проєктування», може бути використано для виконання кваліфікаційних бакалаврських (та, в подальшому, магістерських) робіт зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» ОП «Динаміка і міцність машин».

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Основи варіаційного числення. Постановки то розв'язання варіаційних задач

Тема 1. Постановка задач варіаційного числення.

Тема 2. Умова екстремуму функціоналу. Рівняння Ейлера.

Тема 3. Узагальнення найпростішої задачі варіаційного числення.

Тема 4. Варіаційні задачі на умовний екстремум

Розділ 2. Варіаційні постановки задач будівельної механіки

Тема 1. Основні співвідношення задачі деформування стержнів.

Тема 2. Функціонали та варіаційні рівняння Лагранжа і Кастільяно.

Тема 3. Реалізація варіаційних принципів для стрижневих систем.

Розділ 3. Варіаційне формулювання МСЕ для стрижневих систем.

Тема 1. Варіаційне формулювання МСЕ для стрижневих систем

Тема 2. Побудова скінченних елементів для задач деформування стрижневих систем

Тема 3. Програмна реалізація МСЕ і основи практичного розв'язання задач

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основна

1. Баженов В.А. Варіаційні основи будівельної механіки. Підручник. – Київ, Каравела. - 2014 р. – 877 с.
2. Баженов В.А. Варіаційні принципи і методи будівельної механіки : підручник для студентів вищих навчальних закладів / В.А. Баженов. - Київ : Каравела, 2012. - 720 с.
3. Перельмутер А.В., Шишов О.В. Будівельна механіка. Комп'ютерні технології і моделювання [Електронний ресурс] : Підручник для студентів вищих навчальних закладів // Електронні текстові дані (1 файл: 34,7 Мбайт) Київ, 2018 р. – 896 с.
4. Дубенець В.Г., Хільчевський В.В., Савченко О.В. Основи методу скінченних елементів: Навчальний посібник. – Чернігів: ЧДТУ, 2007. – 288 с.

Додаткова

1. Адамян В.М. Варіаційне числення : навчальний посібник для студ. фізичних спец. ун-тів / В.М. Адамян, М.Я. Сушко ; Одеський нац. ун-т ім. І.І. Мечникова. - Одеса : Астропринт, 2005. - 128 с.
2. Кошовий Г.І. Класичні та сучасні методи варіаційного числення : навчальний посібник для студ. вищих навч. закладів / Г.І. Кошовий, В.М. Павленко, Б.Л. Голінський - Харків : ХАІ, 2011. - 304 с.
3. Моклячук М.П. Варіаційне числення. Екстремальні задачі. Підручник. – К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2009. – 380 с.
4. Моклячук М.П. Збірник задач з варіаційного числення та методів оптимізації : навчальний посібник Київський національний університет імені Тараса Шевченка. - Київ : ВПЦ "Київський університет", 2014. - 255 с.
5. Уханська О.М., Гладун В.Р. Елементи варіаційного числення : навчальний посібник - Національний університет "Львівська політехніка". - Львів : Растр-7, 2020. - 213 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні	Лабораторні	СРС
1	2	3	4	5	6
Розділ 1. Основи варіаційного числення. Постановки та розв'язання варіаційних задач					
Тема 1. Постановка задач варіаційного числення	6	2	2	—	2
Тема 2 Умова екстремуму функціоналу. Рівняння Ейлера	6	2	2	—	2
Тема 3 Узагальнення найпростішої задачі варіаційного числення	6	2	2	-	2
Тема 4 Варіаційні задачі на умовний екстремум	10	2	2		6
Контрольна робота 1 і індивідуальне завдання 1	4	—	2	—	2
Разом за розділом 1	32	8	10	—	14

Розділ 2. Варіаційні постановки задач будівельної механіки					
Тема 1. Основні співвідношення задачі деформування стержнів	8	4	2	—	2
Тема 2. Функціонали та варіаційні рівняння Лагранжа і Кастільяно	12	4	4	—	4
Тема 3. Реалізація варіаційних принципів для стрижневих систем	4	-	2	—	2
Контрольна робота 2	4	—	2	—	2
Разом за розділом 1	28	8	10	—	10
Розділ 3. Варіаційне формулювання МСЕ для стрижневих систем					
Тема 1. Варіаційне формулювання МСЕ для стрижневих систем.	6	2	2	—	2
Тема 2. Побудова скінченних елементів для задач деформування стрижневих систем	10	4	2	—	2
Тема 3. Програмна реалізація МСЕ і основи практичного розв'язання зада	44	12	10		18
Контрольна робота 3	4	—	2	—	2
Разом за розділом 3	58	18	16	—	24
Семестровий контроль	2	2	-	—	-
Всього годин	120	36	36	—	48

№ з/п	Теми лекційних занять	Кількість годин
1	Основні поняття і задачі варіаційного числення. Варіація та її властивості	2
2	Найпростіші задачі варіаційного числення. Умови екстремуму функціоналів. Рівняння Ейлера	2
3	Узагальнення задач варіаційного числення: залежність від похідних вищого порядку і декількох змінних	2
4	Варіаційні задачі на умовний екстремум	2
6	Основні співвідношення задачі деформування стержнів при розтягу-стисненні	2
7	Основні співвідношення задачі деформування стержнів при згині	2
8	Функціонал та варіаційне рівняння Лагранжа	2
9	Функціонал та варіаційне рівняння Кастільяно	2
10	Варіаційне формулювання МСЕ для стрижневих систем	2
11	Побудова скінченного елемента: матриця жорсткості і вектор вузлових реакцій	2
12	Побудова скінченного елемента функції форми і їх вибір. Точність розв'язку	2
13	Загальна концепція і програмна реалізація МСЕ. Огляд сучасних програмних комплексів	2
14	Розрахунок ферм в ПК «ЛИРА»	2
15	Розрахунок плоских рам в ПК «ЛИРА»	2
16	Розв'язання задач стійкості МСЕ	2
17	Дослідження збіжності результатів	2
18	Підсумкова лекція. Семестровий контроль	

№ з/п	Теми практичних занять	Кількість годин
1	Варіація та її властивості	2
2	Умови екстремуму функціоналів. Рівняння Ейлера	2
3	Умови екстремуму функціоналів від похідних вищого порядку і декількох змінних	2
4	Варіаційні задачі на умовний екстремум	2
5	Контрольна робота за розділом 1	2
6	Основні співвідношення задачі деформування стержнів	2
7	Функціонал та варіаційне рівняння Лагранжа	2
8	Функціонал та варіаційне рівняння Кастільяно	2
9	Реалізація варіаційних принципів для стрижневих систем	
10	Варіаційне формулювання МСЕ для стержнів при різних видах деформування	2
11	Побудова і обчислення матриць жорсткості і вектору вузлових реакцій	2
12	Обчислення компонент матриці жорсткості на основі інтегрування функцій форми.	2
13	Побудова програмного комплексу «ЛИРА»	2
14	Розрахунок ферм в ПК «ЛИРА»	2
15	Розрахунок плоских рам в ПК «ЛИРА»	2
16	Розв'язання задач стійкості МСЕ	2
17	Дослідження збіжності результатів	2
18	Підсумкова лекція. Семестровий контроль	

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студента складається зі:

- підготовки до аудиторних занять – повторення викладеного на попередньому занятті матеріалу;
- підготовка до теоретичної складової контрольних робіт за розділами;
- самостійне розв'язання індивідуальних завдань (задач) тематикою розділів і підготовка звітів.

1. Дослідження екстремуму функціоналів.
2. Розрахунок статично-визначуваної ферми в ПК «ЛИРА» - порівняння результатів статичного і числового розрахунків.
3. Розрахунок статично-невизначуваної рами (звіт у складі: розрахункова схема і дискретна модель рами, результат розрахунку МСЕ і методом переміщень, перевірка умови жорсткості рами)

Самостійна робота виконується протягом семестру в межах часу, відведеного на самостійну роботу по темі.

7. 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 індивідуальних завдань.

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

Порушення термінів виконання завдань та заохочувальні бали

Заохочувальні бали		Штрафні бали	
Критерій	Ваговий бал	Критерій	Ваговий бал
Своєчасне виконання практичної роботи (за кожне завдання)	+ 2 бали	Порушення термінів виконання практичної роботи (за кожне завдання)	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.

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 «ВАРІАЦІЙНІ МЕТОДИ В МЕХАНИЦІ СТРИЖНЕВИХ СИСТЕМ» не передбачає її вивчення англійською мовою.

Інклюзивне навчання

Навчальна дисципліна «ВАРІАЦІЙНІ МЕТОДИ В МЕХАНИЦІ СТРИЖНЕВИХ СИСТЕМ» 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.

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

Протягом семестру виконуються такі види контролю успішності студентів у вивченні дисципліни:

- **Поточний контроль.** Включає оцінювання виконання індивідуальних завдань і тематичних контрольних робіт
- **Календарний контроль.** Проводиться двічі на семестр, як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.
- **Семестровий контроль.** Залік.

Індивідуальні завдання

1. Дослідження екстремуму функціоналів.
2. Розрахунок статично-визначуваної ферми
3. Розрахунок статично-невизначуваної рами

Критерії оцінювання індивідуальних завдань:

- задача виконана правильно 24 балів;
- хід розв'язання правильний,
незначні помилки у результатах, оформленні звіту
(механічна помилка, невірно відображений результат
арифметичної дії)..... 20 балів;
- хід розв'язання правильний, суттєві помилки в обчисленнях
(не правильно задані вихідні дані, граничні умови і т.і. 12 балів;
- помилки в методиці розв'язання задачі 6 балів;
- відсутність розв'язання задачі 0 балів

Виправлення помилок по результатах перевірки індивідуальних завдань + 2-6 балів

Заохочувальні бали за своєчасність виконання індивідуального завдання + 2 бали

Тематична контрольна робота 1. «Теоретичні основи варіаційного числення».

Теоретичні питання: Основні теоретичні положення МСЕ

Тематична контрольна робота 2. «Розв'язувальні співвідношення МСЕ».

Теоретичні питання: Побудова співвідношень МСЕ на основі варіаційних принципів

Тематична контрольна робота 3. «Функціональні можливості і використання програмного комплексу ЛИРА».

Теоретичні питання: Основи побудови і процедури розв'язання задач в ПК ЛИРА

Критерії оцінювання тематичних контрольних робіт (теоретичні питання):

- 80 % і більше правильних відповідей на питання 5 бали;
- від 65 % до 79 % правильних відповідей на питання 3 бал;
- від 33% до 59 % правильних відповідей на питання 1 бал;
- менше 33 % правильних відповідей на питання 0 балів;

Інші критерії

Активність на лекційних і практичних заняттях - 5 балів

90-100%	5 балів
70-90%	4 бали
50-70%	2 бали
Менше 50 %	0 балів

Обчислення сумарного рейтингу (R_c=100)

$$R_c = 72 + 20 + 8 = 100 \text{ балів:}$$

Індивідуальні завдання	3 x 24 балів = 72 бали
Тематичні контрольні роботи	3 x 5 балів = 15 балів
Заохочувальні бали за своєчасність виконання індивідуального завдання	4 x 2 бали = 8 балів
Активність на лекційних і практичних заняттях	5 балів
Разом	100 балів

Необхідною умовою допуску до заліку є виконання всіх індивідуальних завдань і контрольних робіт, а також сумарний рейтинг не менший 60% від **R_c**, тобто **60 балів**.

Для отримання студентом відповідних оцінок (ECTS та традиційних) його сумарна рейтингова оцінка (**R = R_c**) переводиться згідно з таблицею:

Кількість балів	Оцінка ECTS	Традиційна оцінка
95 – 100	A	зараховано
85 – 94	B	
75 – 84	C	
65 – 74	D	
60 - 64	E	
< 60	F_x	не зараховано
< 30 балів або не виконані інші умови допуску до заліку	F	не допущений

Студенти, які отримали оцінку <F, до складання екзамену не допускаються і повинні підвищити свій рейтинг шляхом додаткового виконання контрольних робіт, співбесіди з індивідуальних завдань протягом додаткової сесії.

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

Умови допуску до семестрового контролю:

1. Виконання в повному складі контрольних робіт;
2. Відвідування 50% лекційних занять та 80% практичних занять.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
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

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль:

1. Основні поняття варіаційного числення: варіація і функціонал
2. Екстремальні властивості функціоналів
3. Послідовність дослідження на екстремум
4. Рівняння Ейлера
5. Співвідношення задачі деформування стержнів при розтягу-стисненні
6. Співвідношення задачі деформування стержнів при згині
7. Функціонал та варіаційне рівняння Лагранжа
8. Функціонал та варіаційне рівняння Кастільяно
9. Формулювання виразів потенційної енергії для стержнів.
10. Поняття про функції форми, вибір функцій форм.
11. Обчислення компонент матриці жорсткості із використанням чисельного інтегрування функцій форми.
12. Порядок апроксимації СЕ. Ізопараметричні скінченні елементи
13. Збіжність розв'язку МСЕ
14. Застосування варіаційних принципів для побудови матриці жорсткості СЕ Обчислення матриці жорсткості
15. Застосування варіаційних принципів для побудови вектора вузлових реакцій
16. Скінченний елемент для розв'язання задачі про розтяг-стиснення стержня
17. Скінченний елемент для розв'язання задачі про кручення стержня
18. Загальна ідея МСЕ. Стержневий скінченний елемент.
19. Матриця жорсткості скінченоелементної моделі.
20. Основні функціональні можливості ПК «ЛИРА»
21. Опис дискретної моделі - задання вихідної геометрії
22. Опис дискретної моделі - задання граничних умов і способів з'єднання скінченних елементів
23. . Опис дискретної моделі - задання жорсткісних характеристик скінченних елементів
24. Опис дискретної моделі - задання навантажень.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено : зав.кафедрою ДММ і ОМ, д.т.н., професор Пискунов С.О.

Ухвалено кафедрою ДММ та ОМ (протокол № 5 від 16 грудня 2021 р.)

Погоджено Методичною комісією НН ММІ (протокол № 5 від 17 грудня 2021 р.)