

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ДИНАМІКА І СТІЙКІСТЬ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

Методичні вказівки
до проведення практичних занять
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
освітньо-професійної програми «Промислове і цивільне будівництво»

Київ 2024

УДК 624.01/07
Д89

Укладачі: І. Д. Кара, канд. техн. наук, доцент;
А. А. Козак, канд. техн. наук, доцент;
І. І. Солодей, д-р техн. наук, професор;
О. О. Лук'янченко, д-р техн. наук, професор

Рецензент Ю. В. Максим'юк, д-р техн. наук, професор

Відповідальний за випуск П. П. Лізунов, д-р техн. наук, професор

*Затверджено на засіданні кафедри будівельної механіки,
протокол № 1 від 30 серпня 2023 року.*

В авторській редакції.

Динаміка і стійкість будівель і споруд: методичні вказівки до
Д89 проведення практичних занять / уклад.: Кара І. Д. та ін. – Київ :
КНУБА, 2024. – 16 с.

Містять інформацію про мету, структуру курсу, порядок і вказівки до проведення практичних занять з освітньої компоненти «Динаміка і стійкість будівель і споруд».

Призначено для проведення практичних занять здобувачам спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-професійної програми «Промислове і цивільне будівництво».

© КНУБА, 2024

ЗМІСТ

Загальні положення.....	4
Короткі теоретичні відомості.....	6
Практичне заняття № 1.....	7
Практичне заняття № 2.....	10
Практичне заняття № 3.....	11
Практичне заняття № 4.....	12
Практичне заняття № 5.....	13
Перелік запитань до контролю	14
Рекомендована література.....	15

Загальні положення

Методичні вказівки до проведення практичних занять з освітньої компоненти «Динаміка і стійкість будівель і споруд» розроблені відповідно до робочої програми цієї освітньої компоненти та структурно-логічної схеми навчання здобувачів освітньо-професійної програми «Промислове і цивільне будівництво». Методичні вказівки містять інформацію про мету, структуру курсу, порядок і вказівки до проведення практичних занять.

Освітня компонента «Динаміка і стійкість будівель і споруд» є вибірковою компонентою в навчальному плані підготовки бакалаврів за освітньо-професійною програмою «Промислове і цивільне будівництво» спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія» галузі знань «Архітектура та будівництво». Ця освітня компонента базується на попередньо отриманих знаннях із вищої математики, фізики, теоретичної механіки, опору матеріалів, будівельної механіки.

Мета освітньої компоненти полягає в тому, щоб навчити майбутніх інженерів-будівельників виконувати розрахунки стержневих систем на стійкість та аналізувати напружено-деформований стан будівель і споруд за дії динамічних навантажень.

Основними завданнями, які повинні бути вирішені в процесі викладання освітньої компоненти, є теоретична і практична підготовка здобувачів із питань застосування методів будівельної механіки до розрахунку статично визначуваних і невизначуваних стержневих систем на стійкість та дію динамічних навантажень.

За результатами вивчення освітньої компоненти здобувачі отримують знання:

- основних теоретичних положень стійкості стержневих систем;
- методів визначення критичних сил;
- методів розрахунку стержневих систем на стійкість;
- основних теоретичних положень динаміки стержневих систем;
- методів динаміки споруд;
- порядку проведення розрахунку рам на вільні та змушені коливання.

Освітня компонента призначена для формування у здобувачів здатностей:

- визначати критичне навантаження для розрахункових схем;

– визначати напружено-деформований стан об’єктів будівництва за дії динамічних навантажень.

Під час викладання освітньої компоненти «Динаміка і стійкість будівель і споруд» використовується дедуктивний *метод*, коли лектор викладає загальні положення, формули, закони, після чого розглядає застосування отриманих результатів з аналізом частинних випадків для конкретних розрахункових схем.

Методичне забезпечення освітньої компоненти наведено в розділі **«Рекомендована література»**.

Короткі теоретичні відомості

Практичні заняття призначені для формування навичок практичного застосування, одержаних під час лекційних занять теоретичних знань і закріплення теоретичного матеріалу.

Відповідно до навчального плану та робочої програми з освітньої компоненти «Динаміка і стійкість будівель і споруд» на проведення аудиторних практичних занять відведено 10 годин, тобто 5 практичних занять.

Під час проведення аудиторних практичних занять здобувачі виконують письмові вправи під керівництвом викладача. Крім того, здобувачі виконують індивідуальні роботи за межами аудиторії. Для виконання зазначених робіт використовується спеціалізований навчальний програмний комплекс «АСИСТЕНТ», який перевіряє правильність розрахунків для конкретної задачі здобувача та позбавляє здобувача великого обсягу обчислень.

Згідно з робочою програмою передбачається виконання здобувачами денної та заочної форм навчання однієї розрахунково-графічної роботи (РГР). Виконання здобувачами РГР є важливим інструментом для ефективного засвоєння здобувачами теоретичного матеріалу, набуття практичних здібностей до використання пройденого матеріалу. Аналіз виконання здобувачами РГР дає змогу викладачу оцінити якість засвоєння пройденого матеріалу, виявити прогалини у знаннях здобувачів.

Індивідуальні роботи після перевірки викладачем підлягають захисту, який складається зі співбесіди з викладачем. Поточний контроль після завершення проходження окремих змістовних модулів – у формі самостійного розв'язання задач безпосередньо в аудиторії під наглядом викладача або комп'ютерне тестування з використанням спеціалізованого програмного комплексу «КОНТРОЛЬ» (а. 310 головного корпусу університету).

Бали, якими оцінюється робота здобувачів, обчислюються як сума балів за змістовні модулі протягом семестру та за виконання індивідуального завдання.

Практичне заняття № 1

Тема: Розрахунок плоскої рами на стійкість. Складання системи рівнянь.

Мета: ознайомлення здобувачів із можливостями застосування методу переміщень в розгорнутій формі для побудови рівняння стійкості.

План заняття:

1. Ознайомлення здобувачів з тематикою практичних занять (табл. 1).

Таблиця 1

Теми практичних занять

№ заняття	Тема заняття
1	Розрахунок плоскої рами на стійкість. Складання системи рівнянь
2	Розрахунок плоскої рами на стійкість. Визначення критичної сили
3	Розрахунок рами з точковими масами на вільні коливання. Побудова системи рівнянь руху
4	Розрахунок рами з точковими масами на вільні коливання. Побудова власних форм коливань
5	Розрахунок рами з точковими масами на змушені коливання

2. Ознайомлення здобувачів з формами модульного та семестрового контролю.

Розподіл балів для дисципліни наведений в таблиці 2.

Таблиця 2

Розподіл балів

Поточне оцінювання (кількість балів)		Розрахунково-графічна робота (підсумковий контроль)	Сума
Змістовний модуль № 1	Змістовний модуль № 2		
30	30	40	100

Мінімальна можлива кількість балів за семестр – 60 балів, максимальна – 100 балів. Форма семестрового контролю з дисципліни – залік.

3. Видача здобувачам індивідуальних завдань.

Здобувачам денної форми навчання необхідно самостійно виконати РГР № 1 «Розрахунок плоскої рами на стійкість. Динамічний розрахунок рами», яка складається з двох частин.

Склад роботи:

I. Визначити кількість основних невідомих методу переміщень. Побудувати систему рівнянь рівноваги накладених в'язей з використанням методу переміщень у розгорнутій формі. Скласти рівняння стійкості рами та розв'язати його. Визначити значення критичної сили. Перевірити розрахунки за допомогою навчального програмного комплексу ASSISTANT.

II. Визначити кількість ступенів динамічної вільності невагомої стержневої системи з кількома точковими масами. Скласти систему диференціальних рівнянь руху. Визначити власні характеристики матриці рівнянь руху. Одержати спектр власних частот. Побудувати форми вільних коливань. Розв'язати рівняння руху за змущених коливань. Побудувати динамічні епюри внутрішніх зусиль. Виконати кінематичну перевірку та перевірку динамічної рівноваги.

Здобувачам заочної форми навчання потрібно самостійно виконати РГР № 1 «Динамічний розрахунок рами».

Склад роботи:

I. Визначити кількість ступенів динамічної вільності невагомої стержневої системи з кількома точковими масами. Скласти систему диференціальних рівнянь руху. Визначити власні характеристики матриці рівнянь руху. Одержати спектр власних частот. Побудувати форми вільних коливань. Розв'язати рівняння руху за змущених коливань. Побудувати динамічні епюри внутрішніх зусиль. Виконати кінематичну перевірку та перевірку динамічної рівноваги.

Виконана РГР оформляється на аркушах паперу формату А4. Титульний лист є першим аркушем роботи. Після оформлення роботи листи скріплюються скобами разом із виданим викладачем завданням. РГР повинна оформлятися здобувачем охайно з відповідними рисунками.

Викладач може показати здобувачам під час заняття приклад оформлення виконаного індивідуального завдання.

Шкалу оцінювання індивідуальної роботи з розподілом балів наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Шкала оцінювання індивідуальної роботи

Оцінка	Бали
A	36,0–40,0
B	32,8–35,6
C	29,6–32,4
D	25,6–29,2
E	24,0–25,2

4. Розгляд прикладу застосування методу переміщень в розгорнутій формі для побудови рівняння стійкості для конкретної розрахункової схеми.

Під час розгляду прикладу на практичному занятті потрібно:

- визначити ступінь кінематичної невизначуваності системи;
- побудувати епюру поздовжніх зусиль;
- побудувати основну систему методу переміщень;
- визначити параметри стійкості;
- записати систему рівнянь рівноваги накладених в'язей з використанням методу переміщень у розгорнутій формі;
- записати рівняння стійкості, прирівнявши визначник системи рівнянь до нуля.

Завдання на наступне практичне заняття: скласти рівняння стійкості для системи у виданому індивідуальному завданні.

Практичне заняття № 2

Тема: Розрахунок плоскої рами на стійкість. Визначення критичної сили.

Мета: навчити здобувачів розв'язувати рівняння стійкості та визначати значення критичного навантаження.

План заняття:

1. Коротке повторення пройденого на минулому занятті матеріалу.
2. Визначення значення критичної сили для розрахункової схеми, розглянутої на попередньому практичному занятті.

Під час розгляду прикладу на практичному занятті потрібно:

- розв'язати рівняння стійкості за заданого коефіцієнта жорсткості;
- побудувати графік залежності значення визначника системи від значення параметра стійкості;
- обчислити критичні величини вузлових сил;

Під час виконання індивідуального завдання отримані значення критичних вузлових сил здобувачам необхідно перевірити за допомогою навчально-дослідницького комплексу ASSISTANT. За результатами перевірки потрібно одержати роздруківку, яку треба вкласти в роботу. Виконати перевірку здобувачі можуть, встановивши комплекс на свої персональні комп'ютери (див. розділ «**Рекомендована література**») або в а. 310 головного корпусу університету.

Завдання на наступне практичне заняття: визначити значення критичних вузлових навантажень для системи у виданому індивідуальному завданні, одержати роздруківку.

Практичне заняття № 3

Тема: Розрахунок рами з точковими масами на вільні коливання. Побудова системи рівнянь руху.

Мета: навчити здобувачів складати систему рівнянь руху для розрахункових схем із кількома ступенями вільності.

План заняття:

1. Коротке повторення пройденого на минулих заняттях матеріалу.
2. Розгляд прикладу динамічного розрахунку невагомої рами з точковими масами.

Під час розгляду прикладу на практичному занятті потрібно:

- визначити кількість ступенів динамічної вільності розрахункової схеми;
- виразити сили інерції через незалежні переміщення мас системи;
- скласти систему диференціальних рівнянь руху;
- розглянути одиничні стани системи;
- побудувати епюри згинальних моментів в допоміжних станах;
- обчислити коефіцієнти матриці податливості.

Завдання на наступне практичне заняття: записати систему диференціальних рівнянь руху для розрахункової схеми у виданому індивідуальному завданні.

Практичне заняття № 4

Тема: Розрахунок рами з точковими масами на вільні коливання. Побудова власних форм коливань.

Мета: навчити здобувачів будувати форми власних коливань систем з кількома ступенями вільності.

План заняття:

1. Коротке повторення пройденого на минулих заняттях матеріалу.
2. Побудова форм вільних коливань для розрахункової схеми, розглянутої на попередньому практичному занятті.

При розгляді прикладу під час практичного заняття потрібно:

- записати частотне рівняння;
- визначити та перевірити власні числа матриці рівнянь руху;
- обчислити частоти вільних коливань;
- записати власні вектори коливань;
- побудувати форми вільних коливань;
- виконати перевірку ортогональності.

Завдання на наступне практичне заняття: побудувати форми власних коливань для розрахункової схеми у виданому індивідуальному завданні.

Практичне заняття № 5

Тема: Розрахунок рами з точковими масами на змушені коливання.

Мета: ознайомити здобувачів з порядком розрахунку систем з кількома ступенями вільності на змушені коливання.

План заняття:

1. Коротке повторення пройденого на минулих заняттях матеріалу.
2. Проведення розрахунку на змушені коливання на прикладі розрахункової схеми, розглянутої на попередніх практичних заняттях.

Під час розгляду прикладу на практичному занятті потрібно:

- записати систему рівнянь руху для змущених коливань;
- визначити сили інерції;
- побудувати динамічні епюри внутрішніх зусиль;
- обчислити амплітуди переміщень точкових мас;
- виконати кінематичну перевірку;
- виконати перевірку динамічної рівноваги системи.

3. Підготовка до заліку. Розгляд питань, які виносяться на залік (див. розділ «**ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ДО КОНТРОЛЮ**»).

Завдання: провести розрахунок на змушені коливання розрахункової схеми у виданому індивідуальному завданні.

ПЕРЕЛІК ЗАПИТАНЬ ДО КОНТРОЛЮ

1. Що називають стійкістю споруди?
2. Яке навантаження називається критичним?
3. Яка різниця між втратою стійкості положення і втратою стійкої форми рівноваги?
4. Які є методи розрахунків на стійкість?
5. Які зусилля виникають у стиснено-зігнутому стержні в розрахунку за деформованою схемою?
6. Для чого застосовується формула Ейлера?
7. Як складається система рівнянь в розрахунку на стійкість схеми з використанням методу переміщень?
8. Який критерій використовується в розрахунку на стійкість методом переміщень?
9. Яким способом розв'язується рівняння стійкості на практиці?
10. У яких випадках можна використовувати симетрію рам у розрахунку на стійкість?
11. Як спрощується рівняння стійкості за використання симетрії?
12. Яка мета динамічного розрахунку споруди?
13. Які є види динамічних навантажень?
14. Які методи використовуються в динамічних розрахунках споруд?
15. Як визначається число динамічних ступенів вільності?
16. Чим відрізняються зосереджена та точкова маси?
17. Скільки ступенів вільності має зосереджена маса на площині?
18. Скільки ступенів вільності має точкова маса на площині?
19. Які є види коливальних процесів?
20. Чим відрізняються власні та змушені коливання?
21. Які системи називаються системами з одним ступнем вільності?
22. Які системи належать до систем із кількома ступенями вільності?
23. У якому випадку виникає явище резонансу?
24. Що таке частотне рівняння?
25. Як називається сукупність частот коливань системи з кількома ступенями вільності?
26. Що таке форма коливань системи?
27. Які є властивості головних форм коливань?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Підручники:

1. *Баженов В. А.* Динаміка споруд : підручник / В. А. Баженов, Є. С. Дехтярюк, Ю.В. Ворона. – Київ : ПАТ «ВІПОЛ», 2012. – 342 с.
2. *Баженов В. А.* Будівельна механіка. Комп'ютерні технології і моделювання : підручник / [В. А. Баженов, А. В. Перельмутер, О. В. Шишов] за заг. ред. В. А. Баженова. – Київ : ПАТ «ВІПОЛ», 2013. – 896 с.

Навчальні посібники:

1. *Баженов В. А.* Будівельна механіка. Динаміка споруд : навч. посібник / В. А. Баженов, Є. С. Дехтярюк. – Київ : ІЗМН, 1998. – 208 с.
2. *Баженов В. А.* Будівельна механіка: Розрахункові вправи. Задачі. Комп'ютерне тестування : навч. посібник / В. А. Баженов, Г. М. Іванченко, О. В. Шишов, С. О. Пискунов. – Київ : Каравела, 2013. – 439 с.

Методичні рекомендації:

1. Динамічний розрахунок рам : методичні вказівки та індивідуальні завдання до виконання розрахунково-графічних робіт / уклад. Ю. В. Ворона, І. Д. Кара. – Київ : КНУБА, 2018. – 36 с.
2. Розрахунок плоских рам на стійкість : методичні вказівки та індивідуальні завдання для розрахунково-графічної роботи / уклад. О. В. Шишов. – Київ : КНУБА, 2006. – 40 с.
3. Динамічний розрахунок рам: методичні вказівки та індивідуальні завдання до виконання розрахунково-графічних робіт / уклад. Ю. В. Ворона, О. Г. Свешніков, О. О. Шкриль. – Київ : КНУБА, 2008. – 44 с.

Інформаційні ресурси:

1. Навчальний програмний комплекс ASSISTANT. – Режим доступу: <https://www.knuba.edu.ua/pidruchniki-posibniki-ta-programne-zabezpechennya/>.

Навчально-методичне видання

ДИНАМІКА І СТІЙКІСТЬ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

Методичні вказівки
до проведення практичних занять
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
освітньо-професійної програми «Промислове і цивільне будівництво»

Укладачі: **Кара Ірина Дмитрівна,**
Козак Андрій Анатолійович,
Солодей Іван Іванович,
Лук'янченко Ольга Олексіївна

Випусковий редактор *Т. В. Івченко*
Комп'ютерне верстання *Л. В. Лабунець*

Підписано до друку . 2024. Формат 60 x 84_{1/16}
Ум. друк. арк. 0,93. Обл.-вид. арк. 1,0.
Електронний документ. Вид. № 178/III-24

Видавець і виготовлювач:
Київський національний університет будівництва і архітектури
Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002