

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

Кафедра мостів і тунелів, опору матеріалів і будівельної
механіки

03-05-84М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять та самостійної роботи
з навчальної дисципліни
«Будівельна механіка (спецкурс)»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Автомобільні дороги і
аеродроми» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна
інженерія» (Автомобільні дороги і аеродроми)
всіх форм навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою з
якості ННІБА
Протокол №5
від «19» квітня 2022 р.

Рівне – 2022

Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Будівельна механіка (спецкурс)» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Автомобільні дороги і аеродроми» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» всіх форм навчання [Електронне видання] / Трач В. М., Подворний А. В. – Рівне : НУВГП, 2022. – 17 с.

Укладачі: Трач В. М., д.т.н., професор, завідувач кафедри мостів і тунелів, опору матеріалів і будівельної механіки; Подворний А. В., к.т.н., доцент кафедри мостів і тунелів, опору матеріалів і будівельної механіки.

Відповідальний за випуск: Трач В. М., д.т.н., професор, завідувач кафедри мостів і тунелів, опору матеріалів і будівельної механіки.

Керівник групи забезпечення спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Караван В. В.

© Трач В. М.,
Подворний А. В., 2022
© НУВГП, 2022

З М І С Т

Вступ	4
Рекомендації до вивчення дисципліни.....	4
Вказівки до самостійної роботи.....	6
Задача № 1 «Розрахунок рами методом переміщень».....	7
Задача № 2 «Розрахунок плоского напружено-деформованого стану методом скінченних елементів».....	11
Задача № 3 «Розрахунок плити методом скінченних елементів».....	14
Література.....	17

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Будівельна механіка» (спецкурс) забезпечує необхідний теоретичний рівень знань та інженерних навичок спеціалістів в галузі будівництва доріг, достатній для створення раціональних та економічних підходів до процесу їх будівництва.

Вивчення предмету «Будівельна механіка» (спецкурс) є невід’ємною складовою формування професійної компетентності й важливою передумовою формування теоретичних та практичних навичок майбутнього спеціаліста – будівельника. Предмет «Будівельна механіка» (спецкурс) розрахований на студентів, які раніше вивчали дисципліни “Опір матеріалів” та “Будівельна механіка”.

Передбачається вивчення розділів, що необхідні майбутнім інженерам – будівельникам доріг, які працюватимуть за фахом. Розглядаються основні аспекти визначення напружено-деформованого стану балочних, ферменних і рамних систем транспортного будівництва та товстих однорідних та шаруватих плит.

1. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Вивчати навчальну дисципліну рекомендується згідно представлених методичних вказівок для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» (Автомобільні дороги і аеродроми).

Нижче приведені теми та плани роботи на практичних заняттях, перелік тем і завдання до самостійної роботи та список рекомендованої літератури.

Підготовка до практичних занять передбачає вивчення відповідного теоретичного матеріалу згідно до конспекту лекцій та списку літератури.

Матеріали лекцій та завдання до індивідуальної роботи з кожного практичного заняття, приклади їх виконання, список літератури викладено на платформі MOODLE НУВГП (<https://exam.nuwm.edu.ua/course/view.php?id=936>).

Згідно до навчального плану предмету формою підсумкового контролю є залік.

Теми практичних занять

Практичні заняття 1, 2.

Розрахунок на міцність та жорсткість конструкцій транспортного будівництва.

Розрахунок статично невизначених балочних, рамних конструкцій методом сил. Матрична форма визначення переміщень статично визначених систем.

Література [1, 2, 4]

Практичні заняття 3, 4.

Будівельні конструкції транспортного будівництва.

Розрахунок статично невизначених ферм методом сил. Основна система методу сил. Канонічні рівняння. Визначення коефіцієнтів канонічних рівнянь. Визначення зусиль в стержнях статично невизначених ферм.

Література [1, 2, 4]

Практичні заняття 5, 6.

Методи проектування та розрахунку споруд транспортного будівництва.

Розрахунок статично невизначених балочних, рамних конструкцій методом переміщень. Основна система методу переміщень. Канонічні рівняння. Статичний спосіб визначення коефіцієнтів канонічних рівнянь методу переміщень. Побудова епюр внутрішніх зусиль для статично невизначених балочних, рамних конструкцій.

Література [1, 2, 3, 4]

Практичні заняття 7, 8.

Методи проектування та розрахунків шаруватих плит в транспортному будівництві.

Розрахунки плит на міцність методом скінченних елементів. Розбиття конструкцій на окремі скінченні елементи. Складання матриць жорсткості окремих елементів. Складення співвідношень між переміщеннями вузлів окремих скінченних елементів та зовнішніми переміщеннями плити в глобальній системі координат. Складення матриці зовнішньої жорсткості скінченно-елементної моделі. Визначення переміщень вузлів скінченно-елементної моделі.

Література [1, 5, 6]

2. ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Самостійна робота студента є складовою освітнього процесу, яка спрямована на формування майстерності майбутнього спеціаліста, його вміння здійснювати пошук, аналізувати та узагальнювати навчально-методичну і наукову інформацію. Нижче приведена інформація, що стосується вибору завдання до індивідуальної роботи, складена на основі [7].

Студенти виконують задачі за індивідуальними варіантами. Здобувачам освіти денної форми навчання індивідуальний шифр надається викладачем, студентами заочної форми навчання використовують останні три цифри номера залікової книжки. У випадку, якщо студент, наприклад, отримав шифр 641, то індивідуальне завдання обирається із приведених таблиць так.

Під трьома цифрами шифру розміщуються три перші літери української абетки, або у приведеному випадку шифр представиться у вигляді:

б	4	1
а	б	в
6		

Стовбці з величинами параметрів умов задачі зашифровані літерами (останній рядок кожної таблиці), а рядки – цифрами за якими і вибираються необхідні значення для індивідуальних варіантів. Врахувати, що до задачі № 1 номер рисунка, де приведені розрахункові схеми, для студентів денної форми навчання визначається за номером десятки у списку, в якому знаходиться прізвище студента.

Самостійні роботи необхідно виконувати на стандартних листах формату А4, текст розбірливий, схеми відповідають вимогам ДСТУ Б А.2.4-7:2009.

Розмірність всіх величин в розрахунках повинна відповідати одиницям виміру системи SI .

У випадку виконання завдання не за індивідуальним варіантом, або оформленого неохайно чи нерозбірливо, завдання повертається студенту на виправлення.

Строки здачі кожної окремої роботи визначаються кафедрою і доводяться до відома студентів.

Задача 1

“Розрахунок рами методом переміщень”

Для рами, рис. 1.1, 1.2., з вибраними розмірами та зовнішнім навантаженням, табл. 1.1, 1.2, необхідно:

- а) визначити ступінь кінематичної невизначеності рами;
- б) утворити основну систему методу переміщень;
- в) скласти та розв’язати систему канонічних рівнянь методу переміщень;
- г) побудувати порційні епюри методу переміщень;
- д) побудувати кінцеву епюру згинних моментів рами;
- е) здійснити статичну та деформаційну перевірки кінцевої епюри згинних моментів;
- є) побудувати епюри поперечних та поздовжніх сил;
- ж) провести статичну перевірку рами в цілому.

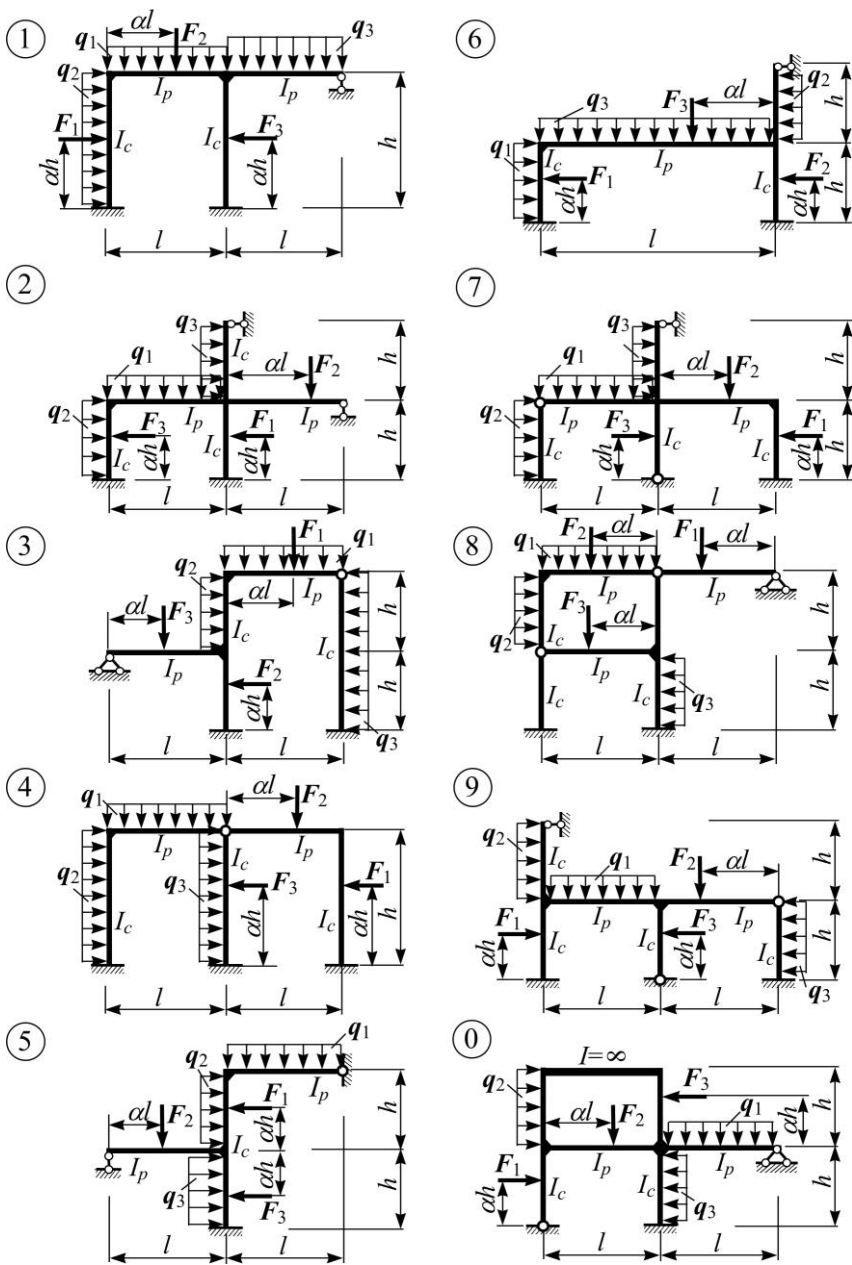


Рис. 1.2 (2, 3-і десятки)

Таблиця 1.1

Навантаження на раму та жорсткість її стержнів

Передостан- ня цифра шифру	F_1 , кН	F_2 , кН	F_3 , кН	α	I_c/I_p
1	-	-	30	0,50	1/3
2	-	40	-	0,25	1/3
3	50	-	-	0,75	1/2
4	-	60	-	0,50	3/4
5	-	-	80	0,25	2/3
6	100	-	-	0,75	1/3
7	-	120	-	0,50	2/4
8	-	-	50	0,25	1/2
9	-	80	-	0,75	1/3
0	60	-	-	0,50	2/3

Таблиця 1.2

Навантаження на раму та її геометричні розміри

Остання цифра шифру	q_1 , кН/м	q_2 , кН/м	q_3 , кН/м	l , м	h , м
1	10	-	-	5	4
2	-	-	15	6	4
3	-	20	-	8	6
4	-	-	20	9	6
5	-	40	-	9	6
6	16	-	-	9	4
7	-	10	-	10	6
8	40	-	-	10	5
9	-	-	24	12	6
0	20	-	-	12	7

Задача № 2

„Розрахунок плоского напружено-деформованого стану методом скінченних елементів”

Для плоскої системи (балки-стінки) (рис. 2) товщиною 0,1м, з вибраними розмірами табл. 2.1, закріпленням вузлів табл. 2.2 та навантаженням табл. 2.3, 2.4 необхідно:

а) розбити вибрану систему не менше ніж на три трикутні або прямокутні скінченні елементи;

б) для механічних характеристик матеріалу $E = 0,2 \cdot 10^5$ МПа , $\nu = 0,17$ скласти матриці жорсткості скінченних елементів в локальній системі координат;

в) скласти співвідношення між переміщеннями вузлів окремих скінченних елементів та зовнішніми переміщеннями балки-стінки в глобальній системі координат;

г) скласти матрицю зовнішньої жорсткості скінченно-елементної моделі;

д) визначити переміщення вузлів скінченно-елементної моделі;

е) здійснити розрахунок напружено-деформованого стану вибраної балки-стінки методом скінченних елементів.

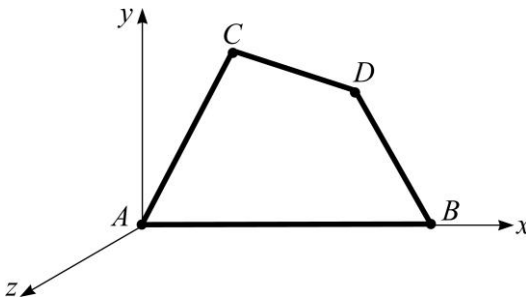


Рис.2. Схема балки-стінки

Табл. 2.1

Розміри балки-стілки

Остання цифра суми цифр шифру	Координати кутових вузлів балки-стілки в системі (x; y)			
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
1	(0;0)	(1,5;0)	(0,0;1,3)	(1,5;1,3)
2	(0;0)	(2,0;0,0)	(0,0;1,4)	(2,6;1,4)
3	(0;0)	(1,2;0,0)	(0,6;1,0)	(1,6;1,0)
4	(0;0)	(1,4;0,0)	(0,0;0,9)	(0,4;0,9)
5	(0;0)	(2,0;0,0)	(0,7;1,1)	(2,7;1,1)
6	(0;0)	(0,9;0,0)	(0,0;0,7)	(0,9;1,8)
7	(0;0)	(1,2;0,0)	(0,0;0,6)	(0,6;0,6)
8	(0;0)	(2,0;0,0)	(0,5;0,5)	(1,5;0,5)
9	(0;0)	(1,8;0,0)	(0,0;0,9)	(1,8;0,9)
0	(0;0)	(1,6;0,0)	(0,8;0,8)	(1,6;0,8)

Табл. 2.2

Умови закріплення вузлів балки-стілки

Перед-остання цифра шифру	Закріплення вузлів балки-стілки елементарними в'язями за напрямками осей			
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
1	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>
2	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>
3	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>y</i>
4	<i>y</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>x</i>
5	<i>y</i>	<i>y</i>	<i>y</i>	<i>x</i>
6	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>y</i>
7	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>y</i>
8	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>y</i>
9	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>y</i>	<i>x</i>
0	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>

Табл. 2.3

Вузлові навантаження на балку-стінку

№ рядка	Вузлові зосереджені сили у напрямку осей системи $xу$							
	<i>A</i>		<i>B</i>		<i>C</i>		<i>D</i>	
	x кН	y кН	x кН	y кН	x кН	y кН	x кН	y кН
1	3	4	5	-	7	1	2	-
2	-	1	-	2	5	-	3	1
3	2	3	6	4	-	2	5	6
4	5	-	-	2	-	8	2	-
5	5	2	7	4	5	-	-	3
6	4	6	-	4	4	1	5	2
7	-	3	2	-	2	-	-	3
8	1	6	2	4	-	6	4	-
9	3	-	7	6	7	-	7	8
0	6	4	6	-	6	-	9	10
	<i>б</i>		<i>в</i>		<i>б</i>		<i>в</i>	

Табл. 2.4

Розподілене, нормальне до грані, навантаження на
балку-стінку в площині xOy

Остання цифра шифру	До грані <i>A-C</i>	До грані <i>A-B</i>	До грані <i>C-D</i>	До грані <i>B-D</i>
	кН/м	кН/м	кН/м	кН/м
1	-10			
2		-5		
3			-6	
4				-7
5	9			
6		8		
7	-7			
8		-6		
9			-4	
0				-7

Задача № 3

„Розрахунок плити методом скінченних елементів”

Для плити, закріпленої від переміщень у вузлових точках **ABCD** за напрямками осей x, y, z , товщиною 0,1 м (рис. 3), з розмірами табл. 3.1, закріпленням табл. 3.2, та навантаженням табл. 3.3, 3.4 необхідно:

а) розбити плиту не менше ніж на три трикутні або прямокутні скінчені елементи;

б) для механічних характеристик матеріалу $E = 0,2 \cdot 10^5$ МПа, $\nu = 0,17$ скласти матриці жорсткості скінченних елементів в локальній системі координат;

в) скласти співвідношення між переміщеннями вузлів окремих скінченних елементів та зовнішніми переміщеннями плити в глобальній системі координат;

г) скласти матрицю зовнішньої жорсткості скінченно-елементної моделі;

д) визначити переміщення вузлів скінченно-елементної моделі;

е) здійснити розрахунок напружено-деформованого стану плити методом скінченних елементів.

Коефіцієнт пружного опору основи (коефіцієнт Вінклера)
 $k = 50 \text{ МН/м}^3$.

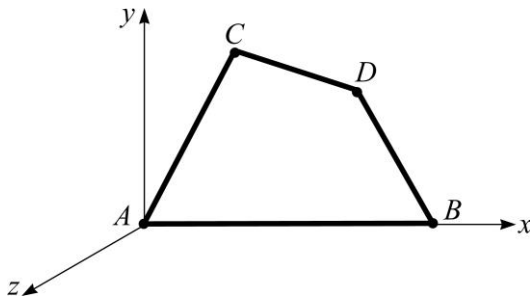


Рис. 3. Схема плити

Табл. 3.1

Підбір розмірів плити

Остання цифра суми цифр шифру	Координати кутових вузлів плити (x;y)			
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
1	(0;0)	(1,5;0,0)	(0,0;1,3)	(1,5;1,3)
2	(0;0)	(2,0;0,0)	(0,0;1,4)	(2,6;1,4)
3	(0;0)	(1,2;0,0)	(0,6;1,0)	(1,2;1,0)
4	(0;0)	(1,4;0,0)	(0,0;0,9)	(0,4;0,9)
5	(0;0)	(2,0;0,0)	(0,7;1,1)	(2,7;1,1)
6	(0;0)	(0,9;0,0)	(0,0;0,7)	(0,9;1,8)
7	(0;0)	(1,2;0,0)	(0,0;0,6)	(0,6;0,6)
8	(0;0)	(2,0;0,0)	(0,5;0,5)	(1,5;0,5)
9	(0;0)	(1,8;0,0)	(0,0;0,9)	(1,8;0,9)
0	(0;0)	(1,6;0,0)	(0,8;0,8)	(1,6;0,8)

Табл. 3.2

Умови закріплення вузлів плити

Перед-остання цифра шифру	Закріплення вузлів плити елементарними лінійними та кутовими в'язями			
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
1	навколо <i>x</i>	вздовж <i>z</i>	навколо <i>y</i>	вздовж <i>z</i>
2	вздовж <i>z</i>	навколо <i>y</i>	навколо <i>x</i>	вздовж <i>z</i>
3	навколо <i>y</i>	вздовж <i>z</i>	вздовж <i>z</i>	навколо <i>x</i>
4	вздовж <i>z</i>	навколо <i>x</i>	навколо <i>y</i>	вздовж <i>z</i>
5	вздовж <i>z</i>	навколо <i>x</i>	вздовж <i>z</i>	навколо <i>y</i>
6	навколо <i>y</i>	вздовж <i>z</i>	навколо <i>x</i>	вздовж <i>z</i>
7	вздовж <i>z</i>	вздовж <i>z</i>	навколо <i>y</i>	навколо <i>x</i>
8	навколо <i>x</i>	вздовж <i>z</i>	вздовж <i>z</i>	навколо <i>x</i>
9	навколо <i>x</i>	навколо <i>y</i>	вздовж <i>z</i>	вздовж <i>z</i>
0	навколо <i>y</i>	вздовж <i>z</i>	вздовж <i>z</i>	вздовж <i>z</i>

Табл. 3.3

Зовнішнє вузлове навантаження на плиту у напрямку осі z , або
навколо осей x та y

№	<i>A</i>			<i>B</i>			<i>C</i>			<i>D</i>	
	z кН	x кНм	y кНм	z кН	x кНм	y кНм	z кН	x кНм	y кНм	z кН	x кНм
1	-5	4	-	-2	-	3	-6	-	3	-2	-
2	-	3	3	-5	6	-	-7	1	-	-3	1
3	-2	-	7	-	3	2	-5	-	3	-5	6
4	-2	5	-	-4	-	1	-	2	3	-2	-
5	-	10	6	-7	5	-	-	8	7	-	3
6	-7	-	15	-2	-	6	-5	-	3	-5	2
7	-3	2	-	-1	4	-	-4	1	-	-	3
8	-	4	1	-	3	2	-2	-	5	-4	-
9	-2	-	3	-5	-	7	-	6	7	-7	8
0	-5	-	1	-1	-	8	-7	-	3	-9	10
	<i>a</i>			<i>б</i>			<i>в</i>			<i>б</i>	

Табл. 3.4

Розподілене навантаження нормальне до поверхні плити (елемента
плити)

Остання цифра шифру	По першому скінченному елементу	По першому і другому скінченних елементах	По першому і третьому скінченних елементах	По другому і третьому скінченних елементах
	кН/м ²	кН/м ²	кН/м ²	кН/м ²
1	-10			
2		-5		
3			-6	
4				-7
5	-7			
6		-6		
7			-4	
8				-7
9	-5			
0		-7		

ЛІТЕРАТУРА

1. Дорошук Г. П., Трач В. М. Будівельна механіка з елементами комп'ютерних технологій : підручник. Рівне : НУВГП, 2005. 566 с.
2. Дорошук Г. П., Трач В. М. Будівельна механіка приклади, задачі та комп'ютерні розрахунки : навчальний посібник. Рівне НУВГП, 2008. 472 с.
3. Дорошук Г. П., Трач В. М. Основи будівельної механіки : підручник. Рівне УДУВГП, 2003. 504 с.
4. Баженов В. А., Гранат С. Я., Шишов О. В. Будівельна механіка. Комп'ютерний курс : підручник. К., 1999. 584 с.
5. Трач В. М., Подворний А. В. Опір матеріалів (спеціальний курс), теорія пружності та пластичності. Київ : «Каравела», 2016, 434 с.
6. Опір матеріалів з основами теорії пружності і пластичності / У 2 ч., 5 кн.; За ред. В. Г. Піскунова. К. : Вища школа, 1994. 204 с.
7. Методичні вказівки та індивідуальні завдання для виконання розрахунково-графічних робіт з дисципліни «Опір матеріалів (спецкурс)» та «Будівельна механіка (спецкурс)» для студентів напряму підготовки «Будівництво» 6.060101 професійних спрямувань «Промислове та цивільне будівництво», «Гідротехнічне будівництво» та «Автомобільні дороги і аеродроми» всіх форм навчання / Трач В. М., Подворний А. В. Рівне : НУВГП, 2013. 14 с.