

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи з дисципліни «Будівельна механіка»
для здобувачів вищої освіти спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія»
(Електронне видання)

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні кафедри
будівництва, урбаністики та
просторового планування

Протокол № 5 від 13.12.2025 р.

Київ, 2025 р.

УДК 624.04

Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Будівельна механіка» для здобувачів вищої освіти спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія» (Електронне видання) / Уклад.: К. В. Соколенко – Київ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2025. – 55 с.

Методичні вказівки призначені для допомоги при самостійному вивченні теоретичної частини, та виконанні розрахунково-графічних робіт з дисципліни «Будівельна механіка». Метою курсу є надати здобувачам знання та навички, необхідні для визначення внутрішніх зусиль, переміщень, напружено-деформованого стану елементів будівель і споруд, а також для вибору оптимальних конструктивних рішень із урахуванням міцності, жорсткості та стійкості. Вивчення дисципліни передбачає розвиток умінь застосовувати набуті знання у процесі навчання і майбутній професійній діяльності у галузі будівництва та цивільної інженерії. Вказівки призначені для використання студентами спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія» денної форми та заочної форми навчання, які навчаються за індивідуальними навчальними планами.

Рецензент:

О.А. Черних, доц., к.т.н.

Укладачі:

К. В. Соколенко, ст. викл., PhD

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 Тематичний план	7
2 Розподіл навчального часу	11
3 Критерії оцінювання	11
4 Індивідуальні завдання	14
5 Загальні вказівки щодо виконання індивідуальних завдань.....	16
6 Контрольні питання з дисципліни	18
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	25
ДОДАТОК А.....	28
ДОДАТОК Б.....	33
ДОДАТОК В	41
ДОДАТОК Г.....	50
ДОДАТОК Д.....	54

ВСТУП

Дисципліна «Будівельна механіка» є необхідною складовою фахової підготовки для кваліфікованого виконання професійних обов'язків фахівців спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія» та її вивчення спрямоване на отримання знань щодо теоретичних і практичних методів аналізу та розрахунку будівельних конструкцій і споруд різного призначення.

Мета курсу – надати здобувачам знання та навички, необхідні для визначення внутрішніх зусиль, переміщень, напружено-деформованого стану елементів будівель і споруд, а також для вибору оптимальних конструктивних рішень із урахуванням міцності, жорсткості та стійкості. Вивчення дисципліни передбачає розвиток умінь застосовувати набуті знання у процесі навчання і майбутній професійній діяльності у галузі будівництва та цивільної інженерії.

У процесі навчання, під час лекцій та практичних занять, здобувачі опановують теоретичні і практичні навички побудови розрахункових схем, визначення реакцій опор, побудови епюр поперечних сил і згинальних моментів, визначення переміщень конструкцій, застосування енергетичних методів у будівельній механіці.

Передумови для вивчення – до початку вивчення дисципліни, студенти повинні мати знання із наступних дисциплін: інженерна графіка (основи креслення та проєкційне зображення; читання та виконання будівельних креслень; нанесення розмірів і умовних позначень; виконання аксонометричних та ізометричних проєкцій; оформлення технічної графічної документації), фізика (основи механіки: закони Ньютона та умови рівноваги; пружність і пластичність матеріалів; напруження та деформації у твердих тілах; момент сили та важільні механізми; сили тертя та нормальна реакція опор), вища математика (лінійна алгебра; векторна алгебра; функції та границі; диференціальне числення; інтегральне числення), теоретична механіка (основи статичної рівноваги твердого тіла; сили, їх рівнодія та момент сил; реакції опор і зв'язків; рівновага систем сил, умови рівноваги).

Метою дисципліни є:

- формування у здобувачів знань про основні принципи, методи та прийоми аналізу і розрахунку будівельних конструкцій;
- набуття умінь визначати внутрішні зусилля, переміщення та напружено-деформований стан елементів конструкцій під дією різних видів навантажень;
- освоєння методів розрахунку статично визначених і статично невизначених систем;
- розвиток здатності застосовувати теоретичні знання для вирішення практичних інженерних задач у галузі будівництва та цивільної інженерії.

Завдання вивчення дисципліни:

- вивчення та засвоєння основних понять, теоретичних положень та методів розрахунку на міцність та жорсткість інженерних конструкцій;
- засвоєння теоретичних основ будівельної механіки та їх зв'язку з іншими інженерними дисциплінами;
- оволодіння основними теоретичними принципами побудови та аналізу стержневих систем;
- формування вмінь складати та аналізувати розрахункові схеми будівельних конструкцій;
- набуття навичок визначення реакцій опор, внутрішніх зусиль, переміщень і напружень у конструктивних елементах;
- освоєння принципів роботи статично визначених і невизначених систем;
- розвиток здатності застосовувати розрахункові методи для оцінки міцності, жорсткості та стійкості конструкцій у практичній інженерній діяльності.

При вивченні дисципліни «Будівельна механіка» відповідно до освітньої програми «Будівництво та цивільна інженерія» першого (бакалаврського) освітнього рівня вищої освіти повинні бути сформовані програмні компетентності та програмні результати навчання, а здобувачі повинні частково або повною мірою набути **компетентностей**:

ІК (інтегральна компетентність) – здатність розв'язувати складні спеціалізовані та практичні завдання і проблеми у сфері будівництва та цивільної інженерії, що характеризуються комплексністю, системністю, поєднанням теорії і практики, та передбачають застосування положень і методів будівельної механіки для аналізу, розрахунку й оцінки роботи конструкцій.

Загальні компетентності:

- ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ЗК02. Знання та розуміння предметної області та професійної діяльності.

Спеціальні (фахові, предметні компетентності):

- СК01. Здатність використовувати концептуальні наукові та практичні знання з математики, хімії та фізики для розв'язання складних практичних проблем в галузі будівництва та цивільної інженерії.
- СК03. Здатність проєктувати будівельні конструкції, будівлі, споруди та інженерні мережі (відповідно до спеціалізації), з урахуванням інженерно-технічних та ресурсозберігаючих заходів, безбар'єрного простору, правових, соціальних, екологічних, техніко-економічних показників, наукових та етичних аспектів, і сучасних вимог нормативної документації у сфері архітектури та будівництва, охорони довкілля та безпеки праці.

- СК06. Здатність до інжинірингової діяльності у сфері будівництва, складання та використання технічної документації.

В результаті вивчення дисципліни «Будівельна механіка» здобувач вищої освіти отримає наступні **програмні результати навчання**:

- РН01. Застосовувати основні теорії, методи та принципи математичних, природничих, соціально-гуманітарних та економічних наук, сучасні моделі, методи та програмні засоби підтримки прийняття рішень для розв'язання складних задач будівництва та цивільної інженерії.
- РН02. Брати участь у дослідженнях та розробках у сфері архітектури та будівництва.
- РН03. Презентувати результати власної роботи та аргументувати свою позицію з професійних питань, фахівцям і нефахівцям, вільно спілкуючись державною та іноземною мовою.
- РН05. Використовувати та розробляти технічну документацію на усіх стадіях життєвого циклу будівельної продукції.
- РН08. Раціонально застосовувати сучасні будівельні матеріали, вироби та конструкції на основі знань про їх технічні характеристики та технологію виготовлення.
- РН09. Проектувати будівельні конструкції, будівлі, споруди, інженерні мережі та технологічні процеси будівельного виробництва, з урахуванням інженерно-технічних та ресурсозберігаючих заходів, безбар'єрного простору, правових, соціальних, екологічних, техніко-економічних показників, наукових та етичних аспектів, і сучасних вимог нормативної документації, часових та інших обмежень, у сфері архітектури та будівництва, охорони довкілля та безпеки праці.
- РН12. Мати поглиблені когнітивні та практичні уміння/навички, майстерність та інноваційність на рівні, необхідному для розв'язання складних спеціалізованих задач в галузі будівництва та цивільної інженерії (відповідно до спеціалізації).

За результатами навчання, здобувач повинен набути:

Знання:

- основних положень будівельної механіки;
- класифікації розрахункових схем конструкцій;
- характеру дії та класифікації зовнішніх навантажень;
- методів визначення реакцій опор, внутрішніх зусиль та побудови відповідних епюр;
- методів розрахунку переміщень і прогинів;

- принципів розрахунку статично невизначених систем.

Вміння застосовувати на практиці:

- складати розрахункові схеми конструкцій та визначати граничні умови;
- обчислювати реакції опор та внутрішні зусилля у статично визначених системах;
- будувати епюри внутрішніх сил у різних системах;
- виконувати розрахунок переміщень;
- застосовувати методи розрахунку для статично невизначених систем.

навички:

- інтерпретувати результати розрахунків і формулювати інженерні висновки;
- користуватися довідковими матеріалами та технічною літературою при виконанні розрахунків;
- застосовувати обчислювальні засоби для підготовки розрахунків та перевірок;
- інтерпретувати результати розрахунків для прийняття технічно обґрунтованих рішень при проектуванні будівельних конструкцій.
- самостійно знаходити та застосовувати методи розв'язання інженерних задач в галузі будівельної механіки.

Метою самостійної роботи студентів є вивчення теоретичної частини курсу – набуття теоретичних і практичних навичок аналізу напружено-деформованого стану стержневих елементів будівельних конструкцій, практичної частини курсу – вміння застосовувати методи будівельної механіки для статичного розрахунку найпоширеніших конструктивних елементів будівель та споруд.

Дані методичні вказівки мають на меті допомогти здобувачам організувати свою роботу за наведеними в них рекомендаціями, використовуючи при цьому методичні навчальні видання, нормативну та довідкову літературу та інші джерела вказану в списку літератури.

1 ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН

Теоретичну складову дисципліни рекомендується вивчати за навчальною літературою наведеною в списку рекомендованої літератури. Наведений нижче в таблиці 1 перелік тем містить: короткий зміст питань для кожної теми які розглядаються у межах теоретичної та практичної частини курсу; питань, які виносяться на самостійне опрацювання; відповідні посилання на джерела в списку рекомендованої літератури.

Таблиця 1

**Перелік тем лекційних, практичних занять та самостійної роботи студента,
їх короткий зміст із посиланнями на літературні джерела**

№ з/п	Вид заняття	Перелік тем теоретичної та практичної частини дисципліни та їх короткий зміст	Рекомендована література
ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 1. ВСТУП, ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ. РОЗРАХУНОК СТАТИЧНО ВИЗНАЧЕНИХ СИСТЕМ.			
Тема 1. <u>Основні поняття.</u>			
1	Лекції	<u>Стислий зміст.</u> Основні поняття, припущення і завдання будівельної механіки. Розрахункова схема споруд і класифікація розрахункових схем. Опори плоских споруд. Види навантажень. Кінематичний аналіз споруд. Поняття про геометричну незмінюваність. Ступені свободи. Статична визначеність. Аналіз геометричної структури. Миттєва змінюваність. Методи визначення зусиль від нерухомого навантаження. Спосіб розсічення системи на стержні та вузли.	[1] – с. 8-39 [2] – с. 7-25, 31-40
2	Самостійна робота	<u>Стислий зміст.</u> Елементи плоскої розрахункової системи: вузли та диски. Способи об'єднання окремих елементів в систему. Системи незмінювані, змінювані, миттєво змінювані. Способи утворення незмінюваних систем. Ознаки миттєвої змінюваності системи. Структурний (якісний) аналіз плоских систем. Необхідна, та достатня умова геометричної незмінюваності та статичної визначеності системи. Метод заміни зв'язків. Кінематичний метод	[1] – с. 39-52 [2] – с. 26-31 [3] – с. 10-22 [4] – с. 6-12
Тема 2. <u>Плоскі статично визначені ферми.</u>			
3	Лекції	<u>Стислий зміст.</u> Поняття про ферму. Класифікація ферм. Визначення зусиль в стержнях простих ферм. Розподіл зусиль в елементах ферм різного окреслення. Дослідження незмінюваності ферм. Лінії впливу в стержнях найпростіших ферм. Шпренгельні системи	[1] – с. 251-261 [2] – с. 41-56
4	Практичні заняття	Тема. <u>Розрахунок плоских статично визначених кроквяних ферм.</u> <u>Стислий зміст.</u> Розрахунок плоских статично визначених кроквяних ферм під дією зовнішніх навантажень. Визначення внутрішніх зусиль у стержнях. Спосіб вирізання вузлів. Спосіб моментної точки та спосіб проєкцій. Матричний метод. Побудова ліній впливу для визначених стержнів. Визначення зусиль в стержнях по лініям впливу.	[3] – с. 26-39 [4] – с. 12-16, 62-67 [5] – с. 25-30
5	Самостійна робота	<u>Стислий зміст.</u> Визначення зусиль та лінії впливу в стержнях складних ферм. Тришарнірні арочні ферми та комбіновані системи. Виконання РГР №1	[6] – с. 101-108
Тема 3. <u>Багатопрогонові статично визначені балки.</u>			

№ з/п	Вид заняття	Перелік тем теоретичної та практичної частини дисципліни та їх короткий зміст	Рекомендована література
6	Лекції	<u>Стислий зміст.</u> Загальні відомості. Лінії впливу опорних реакцій, згинаючих моментів та поперечних сил для однопрогонових та консольних балок. Визначення зусиль за допомогою ліній впливу. Визначення зусиль в багатопрогонових статично визначених балках аналітично та за допомогою ліній впливу.	[2] – с. 57-61
7	Практичні заняття	Тема. <u>Розрахунок багатопрогонової консольно-шарнірної статично визначеної балки.</u> <u>Стислий зміст.</u> Розрахунок багатопрогонової консольно-шарнірної балки під дією зовнішніх навантажень. Побудова розрахункової схеми балки, визначення реакцій опор та внутрішніх зусиль, побудова епюр поперечних сил і згинальних моментів. Визначення зусиль у вибраному перерізі по лініям впливу.	[4] – с. 29-40 [5] – с. 11-16
8	Самостійна робота	<u>Стислий зміст.</u> Лінії впливу при вузловій передачі навантаження. Визначення найбільш не вигіднішого положення навантаження на споруди. Еквівалентне навантаження. Визначення зусиль в статично визначених балках з ломаною віссю від нерухомого навантаження. Побудова ліній впливу в балках кінематичним методом. Виконання РГР №2	[6] – с. 41-55
Тема 4. <u>Статично визначені тришарнірні арки та рами.</u>			
9	Лекції	<u>Стислий зміст.</u> Поняття про арку та її порівняння з балкою. Аналітичний розрахунок тришарнірної арки. Побудова епюр зусиль у тришарнірних арках. Порівняльний аналіз роботи тришарнірної арки і балки. Рівняння раціональної осі арки. Розрахунок тришарнірних рам. Аналітичний метод розрахунку та побудова ліній впливу. Визначення опорних реакцій зусиль за лініями впливу. Розрахунок статично визначених плоских рам.	[1] – с. 262-280 [2] – с. 62-81
10	Практичні заняття	Тема. <u>Розрахунок статично визначених розпірних систем та плоских рам на дію заданого навантаження.</u> <u>Стислий зміст.</u> Розрахунок статично визначених розпірних систем та плоских рам на дію заданого навантаження. Визначення внутрішніх зусиль. Побудова епюр внутрішніх силових факторів. Розрахунок арок різного окреслення. Особливості розрахунку арок із затяжкою.	[3] – с. 40-54 [4] – с. 41-61 [5] – с. 17-21
11	Самостійна робота	<u>Стислий зміст.</u> Графічний метод розрахунку тришарнірної арки. Багатокутник тиску. Ядрові моменти та нормальні напруження. Розрахунок тришарнірної арки на довільно направлене навантаження. Виконання РГР №3	[6] – с. 87-108
ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 2. ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕМІЩЕНЬ В ПРУЖНИХ СИСТЕМАХ. ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ СТАТИЧНО НЕВИЗНАЧЕНИХ СИСТЕМ.			
Тема 5. <u>Визначення переміщень в пружних системах.</u>			

№ з/п	Вид заняття	Перелік тем теоретичної та практичної частини дисципліни та їх короткий зміст	Рекомендована література
12	Лекції	<u>Стислий зміст.</u> Робота зовнішніх сил. Узагальнені сили та переміщення. Потенційна енергія. Матриці податливості та жорсткості. Теореми про взаємність робіт та переміщень. Визначення переміщень по методу Мора. Правило Верещагіна.	[1] – с. 64-76, 80-85 [2] – с. 82-98
13	Практичні заняття	Тема. <u>Визначення переміщень в статично визначених системах від постійних навантажень.</u> <u>Стислий зміст.</u> Визначення лінійних переміщень у статично визначених стержневих системах під дією постійних навантажень з використанням інтегралу Мора та правила Верещагіна. Побудова розрахункових схем, визначення внутрішніх зусиль у допоміжній та основній системах.	[3] – с. 55-71 [5] – с. 31-45
14	Самостійна робота	<u>Стислий зміст.</u> Визначення переміщень від температурних впливів. Енергетичний спосіб визначення переміщень. Переміщення статично визначених систем викликаних переміщенням (осадкою) опор. Визначення переміщень за допомогою пружних вантажів. Виконання РГР №4	[1] – с. 76-80 [6] – с. 127-131
<i>Тема 6. Розрахунок статично невизначених систем методом сил.</i>			
15	Лекції	<u>Стислий зміст.</u> Статична невизначеність. Методи розрахунку статично невизначених систем. Канонічні рівняння методу сил. Розрахунок статично невизначених систем на дію заданого навантаження. Визначення переміщень в статично невизначених системах. Побудова та перевірка епюр поздовжніх та поперечних сил. Перевірка коефіцієнтів та вільних членів системи канонічних рівнянь.	[1] – с. 338-352 [2] – с. 99-114
16	Практичні заняття	Тема. <u>Розрахунок статично невизначених систем методом сил.</u> <u>Стислий зміст.</u> Розрахунок статично невизначених стержневих систем із використанням методу сил. Визначення ступеня статичної невизначеності, вибір основної системи. Побудова епюр від одиничного на основного навантаження. Складання та розв'язання системи канонічних рівнянь. Визначення опорних реакцій, внутрішніх зусиль та побудова епюр.	[3] – с. 72-83
17	Самостійна робота	<u>Стислий зміст.</u> Розрахунок статично невизначених сил на дію температури. Складання канонічних рівнянь при розрахунку систем на переміщення опор. Метод пружного центру. Використання симетрії та групування невідомих. Симетричні та обернено симетричні навантаження. Спосіб перетворення навантаження. Розрахунок статично невизначених арок та ферм.	[1] – с. 352-361 [6] – с. 162-166
<i>Тема 7. Статично невизначені нерозрізні балки.</i>			

№ з/п	Вид заняття	Перелік тем теоретичної та практичної частини дисципліни та їх короткий зміст	Рекомендована література
18	Лекції	<i>Стислий зміст.</i> Розрахунок нерозрізних балок за допомогою рівняння трьох моментів. Поняття про невідне завантаження нерозрізної балки. Розрахунок нерозрізних балок по таблицям. Таблиці Вінклера для побудови огинаючих епюр згинаючих моментів.	[1] – с. 361-371 [2] – с. 115-122
19	Практичні заняття	Тема. <i>Розрахунок нерозрізних балок за допомогою рівняння трьох моментів.</i> <i>Стислий зміст.</i> Застосування рівняння трьох моментів для визначення згинальних моментів нерозрізної балки. Формулювання розрахункової схеми з виділенням суміжних прольотів і проміжних опор, запис рівняння трьох моментів із врахуванням розподілу зовнішніх навантажень, побудова епюр згинальних моментів і поперечних сил.	[6] – с. 224-230
20	Самостійна робота	<i>Стислий зміст.</i> Метод моментних фокусів. Розрахунок на рухоме навантаження. Нерозрізна балка на пружних опорах.	[2] – с. 122-127 [6] – с. 232-235

2 РОЗПОДІЛ НАВЧАЛЬНОГО ЧАСУ

Таблиця 2

Розподіл навчального часу по темам та формам навчання

Номер теми	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	всього	у тому числі					всього	у тому числі				
		лк	пз	лб	завд	с.р.		лк	пз	лб	завд	с.р.
1	12	2	0	-	-	10	10	-	-	-	-	10
2	20	4	4	-	-	12	19	0,5	0,5	-	-	18
3	18	2	4	-	-	12	18	-	-	-	-	18
4	20	4	4	-	-	12	19	0,5	0,5	-	-	18
5	20	4	4	-	-	12	19	0,5	0,5	-	-	18
6	16	2	2	-	-	12	19	0,5	0,5	-	-	18
7	14	2	2	-	-	10	16	-	-	-	-	16
Всього годин	120	20	20	-	-	80	120	2	2	-	-	116

3 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Контроль знань і вмінь здобувачів вищої освіти здійснюється згідно з [«Положенням про порядок оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти СНУ ім. В. Даля»](#)

Поточний контроль здійснюється двічі на семестр. Оцінювання проводиться за змістовним модулем формі тестового експрес-контролю. Метою такого контролю є перевірка засвоєння тем за змістовним модулем та рівня підготовленості здобувачів вищої освіти до виконання конкретної роботи. Максимальна сумарна кількість балів за результатами поточного контролю складає 40 балів.

Максимальна сумарна кількість балів за результатами виконання індивідуального завдання – розрахунково-графічної роботи (РГР) складає 20 балів.

Критеріями оцінювання всіх форм вивчення дисципліни «Будівельна механіка» є:

- ступінь засвоєння, розуміння матеріалу, використання сучасної літератури з поставлених питань;
- вміння логічно і узагальнено викладати матеріал в письмових роботах, робити висновки;
- ступінь сформованості уміння поєднувати теорію і практику під час розгляду ситуацій, практичних завдань;
- рівень володіння розумовими операціями: вміння аналізувати, синтезувати, порівнювати, абстрагувати, узагальнювати, робити висновки з проблем, що розглядаються;
- здатність до самостійної роботи з навчально-методичною, науковою, допоміжною вітчизняною та зарубіжною літературою з питань, що розглядаються, уміння отримувати інформацію з різноманітних джерел.

Підсумковий контроль за модулем здійснюється у формі семестрового екзамену.

Максимальна кількість балів за результатами підсумкового контролю (семестрового екзамену) з дисципліни «Будівельна механіка» складається з питань лекційного матеріалу і самостійної роботи, і відбувається у формі тестування. Об'єм відповіді зараховується в балах.

Умовою допуску до семестрового екзамену або підсумкового тесту є:

- сума накопичених балів за змістовними модулями не менше 51%;
- виконання розрахунково-графічних робіт з мінімальним рівнем 50% накопичених балів;
- відвідування занять.

Семестровий екзамен складається здобувачами вищої освіти у період екзаменаційних сесій за розкладом, який затверджується ректором і доводиться до викладачів і здобувачів вищої освіти до початку сесії. Всю вичерпну інформацію щодо термінів екзаменаційної сесії викладено у [інформаційній системі е-університету Time Table SNU](#).

Семестровий екзамен з дисципліни «Будівельна механіка» проводиться у формі тестування з використанням комп'ютерних технологій у Електронному університеті СНУ ім. В. Даля – на порталі електронного навчання [Moodle](#). Зразок екзаменаційного білету наведений в додатку Д.

Врешті, сумарною кількістю балів з усіх видів контролю: поточного і підсумкового і визначається рейтинг здобувача вищої освіти. Максимальна кількість балів – 100.

Таблиця 3

Критерії оцінювання навчальної діяльності

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ЄКТС	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проєкту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
<p>Знати: Основи теорії опору матеріалів, включаючи сучасні уявлення про напружено-деформований стан конструкцій та елементів. Відповідь характеризується повнотою та глибиною знань основ механіки деформованого твердого тіла, закономірностей напруженого і деформованого станів при розтягненні, стисканні, крученні, згині, а також при складному опорі. Здобувач вищої освіти демонструє впевнене володіння поняттями внутрішніх зусиль, дає чіткі визначення, пояснює суть фізичних процесів та зв'язків між ними, обґрунтовує свої висновки.</p> <p>Вміти: Під час виконання практичного завдання здобувач вищої освіти впевнено застосовує набуті знання для аналізу і розрахунку елементів конструкцій на міцність, жорсткість та стійкість. Самостійно виконує побудову епюр внутрішніх зусиль, обчислює переміщення точок конструкцій, правильно добирає перерізи елементів згідно з умовами роботи. Відповіді повні, послідовні, аргументовані, логічні та точні. Демонструє вміння приймати інженерні рішення, формулювати власні висновки та пропозиції з урахуванням поставленої задачі, виявляє технічну грамотність та інженерну інтуїцію.</p>			
82 – 89	B	добре	зараховано
<p>Знати: Здобувач вищої освіти повністю розкрив теоретичні питання на основі програмного та додаткового матеріалу дисципліни.</p> <p>Вміти: При виконанні практичних завдань здобувач вищої освіти застосовує узагальнені знання навчального матеріалу, передбачені навчальною програмою. Відповідь вище середнього стандарту, але формулювання окремих положень є недостатньо чіткими, в яких допущені деякі поширені помилки.</p> <p>Здобувач вищої освіти добре володіє проблематикою дисципліни, що вивчається. Надає добре зрозумілі та доречні відповіді.</p>			
74 – 81	C	добре	зараховано
<p>Знати: Здобувач вищої освіти розкрив теоретичні питання, програмний матеріал викладено у відповідності до вимог.</p> <p>Вміти: Практичні завдання виконані в цілому правильно, але мають місце окремі неточності. Відповідь в цілому гарна, супроводжується необхідною кількістю прикладів, але формулювання окремих положень є нечіткими з помітними помилками.</p> <p>Здобувач вищої освіти добре володіє проблематикою дисципліни, що вивчається. Надає добре зрозумілі та доречні відповіді.</p>			
64 – 73	D	задовільно	зараховано
<p>Знати: Здобувач вищої освіти розкрив теоретичні питання, проте при викладенні програмного матеріалу дисципліни допущені окремі помилки.</p> <p>Вміти: При виконанні практичних завдань здобувач вищої освіти припускається помилок, за рахунок недостатнього розуміння матеріалу. Відповідь в цілому пристойна, супроводжується прикладами, але в формулюваннях допущені значні помилки.</p>			

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ЄКТС	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
Здобувач вищої освіти задовільно володіє проблематикою дисципліни, що вивчається. Надає задовільні та доречні відповіді.			
60 – 63	E	задовільно	зараховано
<p><u>Знати:</u> Здобувач вищої освіти неповністю розкрив теоретичні питання, його відповідь містить суттєві помилки та задовольняє мінімальним вимогам щодо формулювань теоретичних положень.</p> <p><u>Вміти:</u> При виконанні практичних завдань здобувач вищої освіти припускається значних помилок, а виконання завдань викликає значні труднощі. Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання при виконанні завдань за зразком, але з окремими помилками.</p> <p>Здобувач вищої освіти фрагментарно володіє проблематикою відповідної дисципліни. Чіткість і зрозумілість його відповідей задовільна з суттєвими помилками.</p>			
35 – 59	Fx	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
<p><u>Знати:</u> Здобувач вищої освіти не розкрив теоретичні питання, здатність до викладення думки лише на елементарному рівні. Його відповідь не задовольняє мінімальним вимогам щодо формулювань теоретичних положень.</p> <p><u>Вміти:</u> Здобувач вищої освіти не може виконати розрахунково-графічні роботи.</p>			
0 – 34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни
<p><u>Знати:</u> Здобувач вищої освіти не виконав навчальну програму дисципліни або якийсь елемент її складової, має фрагментарні знання, які не дозволяють розкрити теоретичні питання і виконати практичні завдання. Відповідь не виявляє теоретичних знань і основних положень опору матеріалів з грубими помилками. Здобувач вищої освіти не може викласти свою думку навіть на елементарному рівні.</p> <p><u>Вміти:</u> Здобувач вищої освіти не виконав вимоги щодо практичної підготовки – виконання розрахунково-графічних робіт.</p>			

4 ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Індивідуальні завдання представлені у вигляді розрахунково-графічних робіт (РГР) з дисципліни та виконуються з метою закріплення та поглиблення теоретичних знань та вмінь, набутих студентом у процесі засвоєння всього навчального матеріалу дисципліни. Виконання РГР є важливим етапом у підготовці майбутнього фахівця.

Розробка кожної розрахункової графічної роботи передбачає виконання розрахунку, що оформлюється студентами у вигляді пояснювальної записки.

Виконання пояснювальної записки є передумовою допуску студента до іспиту. Оформлені належним чином роботи повинні бути здані до початку екзаменаційної сесії. Виконання та оформлення РГР здійснюється студентом в індивідуальному

порядку. При перевірці та оцінюванні виконаної РГР перевіряється правильність і повнота розрахунків, відповідність методики виконання завданню, якість оформлення роботи, логічність викладу матеріалу, а також глибина розуміння студентом теоретичних основ і практичного застосування методів опору матеріалів.

Наведений нижче перелік містить найменування основних розрахунково-графічних робіт, їх зміст, структуру та вимоги до виконання та оцінювання.

РГР 1. Розрахунок плоских статично визначених кроквяних ферм.

Стислий зміст: розрахунок внутрішніх зусиль у стержнях плоскої статично визначеної ферми.

Структура: для заданої розрахункової схеми ферми виконати графічне зображення ферми в масштабі із зазначенням усіх розмірів, типів опор, вузлів, нумерації стержнів і прикладених навантажень, визначити опорні реакції, обчислити зусилля у стержнях методом перерізів або методом вузлів; побудувати лінії впливу зусиль для зазначених стержнів, обчислити по лініях впливу зусилля у зазначених стержнях і порівняти результати зі значеннями зусиль, отриманими аналітично.

Вимоги до виконання та оцінювання: оцінюється повнота рішення, правильність розрахунків, обґрунтованість висновків, оформлення

РГР 2. Розрахунок багатопрогової консольно-шарнірної статично визначеної балки.

Стислий зміст: розрахунок внутрішніх зусиль і опорних реакцій у багатопролітній консольно-шарнірній балці.

Структура: для заданої балки виконати графічне зображення розрахункової схеми в масштабі із зазначенням всіх розмірів і прикладених навантажень з урахуванням типів опор та розташування шарнірів; визначити опорні реакції та внутрішні зусилля (поперечні сили, згинальні моменти) у прольотах і консолях; побудувати епюри поперечних сил і згинальних моментів; визначити зусилля в зазначеному перерізі по лініях впливу від заданого навантаження та порівняти їх із зусиллями обчисленими аналітично.

Вимоги до виконання та оцінювання: оцінюється повнота рішення, правильність розрахунків, обґрунтованість висновків, оформлення.

РГР 3. Розрахунок статично визначених розпірних систем та плоских рам.

Стислий зміст: розрахунок внутрішніх зусиль і опорних реакцій у статично визначених розпірних системах і плоских рамах.

Структура: для заданої розрахункової схеми тришарнірної арки (рами) чи плоскої рами виконати графічне зображення системи в масштабі із зазначенням всіх розмірів, вузлів, типів опор та прикладених навантажень; визначити опорні реакції, обчислити внутрішні зусилля (поперечні сили, згинальні моменти, осьові зусилля) у всіх елементах; побудувати епюри внутрішніх зусиль.

Вимоги до виконання та оцінювання: оцінюється повнота рішення, правильність розрахунків, обґрунтованість висновків, оформлення.

РГР 4. Визначення переміщень в статично визначених системах від постійних навантажень.

Стислий зміст: розрахунок переміщень точок у статично визначених системах під дією постійних навантажень з використанням інтегралу Мора та правила Верещагіна.

Структура: для заданої конструкції виконати графічне зображення розрахункової схеми із зазначенням всіх розмірів, вузлів, опор і навантажень; розрахувати внутрішні зусилля (поздовжні, поперечні сили, згинальні моменти); побудувати епюри згинальних моментів; за інтегралом Мора і правилом Верещагіна визначити переміщення визначеної точки.

Вимоги до виконання та оцінювання: оцінюється повнота рішення, правильність розрахунків, обґрунтованість висновків, оформлення.

В додатках А-Г даних методичних вказівок приведені вихідні дані до задач по варіантам для самостійного виконання та приклади розв'язання відповідних РГР.

5 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ

Власний варіант студент обирає з таблиці, що додається до умови завдання, дані визначаються відповідно шифру який складається з останніх 6 цифр свого особистого номеру студентського білету (номеру залікової книжки) і вказаних нижче літер алфавіту, які слід розташувати під шифром, наприклад:

шифр: 2 1 8 0 9 7
літери: а б в г д е

З кожного вертикального стовпця будь-якої таблиці, позначеного внизу певною літерою, треба взяти тільки одне число, що стоїть у тому горизонтальному рядку, номер якого збігається з номером літери.

Наприклад, вертикальні стовпці таблиці з вихідними умовами до задачі, позначені літерами «е», «д», «г» та «б». В цьому випадку, для останніх 6 цифр номеру студентського білету:

8 2 3 4 5 3
а б в г д е

У цьому випадку для даного номеру шифру студент повинен взяти зі стовпця «е» рядок № 3, зі стовпця «д» рядок № 5, зі стовпця «г» рядок № 4, зі стовпця «б» рядок № 2.

Не слід розпочинати виконання розрахунково-графічних робіт, не ознайомившись з матеріалом відповідного розділу курсу. Якщо студент слабо засвоїв

основні тези теорії і не до кінця розібрався в наведених прикладах, то при виконанні робіт можуть виникнути великі труднощі.

Перед розв'язанням кожного завдання треба повністю вписати її умову з числовими даними, скласти акуратний ескіз в масштабі і вказати на ньому в числах всі величини, необхідні для розрахунку.

Оформлення виконаних розрахунків виконується у вигляді пояснювальної записки, яка оформлюється відповідно до ДСТУ 3008:2015 «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання» та містить вихідні дані, хід розрахунку, необхідні схеми та пояснення. Пояснювальна записка виконується вручну на листах формату А4 або із застосуванням текстових препроцесорів. Для набирання формул слід використовувати редактори формул.

Таблиця 2

Рекомендовані одиниці вимірювання

Величини		Одиниці виміру	Позначення	Перетворення величин
Габаритні розміри конструкцій		метри	м	1 м = 100 см
Розміри і геометричні характеристики поперечних перерізів		сантиметри	см, мм	1 см = 10 мм
Навантаження, рівномірно розподілені по площі		паскалі	Па	1 кН/м ² = 1 кПа = 1000 Па
Навантаження, рівномірно розподілені вздовж конструкції		кілоньютони і метри	кН/м	1 кН/м = 1000 Н/м
Зосереджені навантаження, поздовжні та поперечні сили		кілоньютони	кН	1 кН = 1000 Н
Згинаючі, крутні та інші моменти сил	в статичних розрахунках	кілоньютони і метри	кН·м	1 кН·м = 100 кН·см = 10 ⁶ Н·мм
	при перевірках перерізів	кілоньютони і сантиметри	кН·см Н·мм	
Характеристичні й розрахункові опори, напруження в конструкціях		кілоньютони і сантиметри, міліметри	кН/см ²	1 кН/см ² = 10 МПа = 10 Н/мм ²

При виконанні розрахунків доцільно користуватися інтернаціональною системою (СІ) одиниць вимірювання (табл. 2).

Рішення повинно супроводжуватися короткими, послідовними та грамотними без скорочення слів поясненнями та кресленнями, на яких всі величини, що входять до розрахунку, повинні бути показані в числах. Треба уникати багатослівних пояснень та переказу підручника: студент повинен знати, що мова техніки – формула та креслення. При користуванні формулами або даними, які відсутні у підручнику,

необхідно коротко та точно вказувати джерело (автор, назва, видання, сторінка, номер формули).

Необхідно вказати розмірність всіх величин та підкреслити остаточні результати. Підставляючи в формули значення зовнішнього навантаження, а також розміри конструкції, слід переконатися в тому, що вони виражені в одній системі одиниць, щоб не були наплутані порядки чисел. Як правило, статичні розрахунки конструкцій виконують у метрах і кілоньютонах, а в формули перевірок несучої здатності елементів та з'єднань зручно підставляти величини у мм та ньютонах.

Не слід обчислювати велику кількість значущих цифр, обчислення повинні відповідати потрібній точності. Немає необхідності довжину дерев'яного бруса в кроквах обчислювати з точністю до міліметра, але було б помилкою округлювати до цілих міліметрів діаметр валу, на який буде насаджений кульковий підшипник.

Розв'язання задачі має закінчуватись аналізом отриманих результатів. Це розвиває у студента критичне мислення, привчає до здорової інженерної оцінки одержаних числових результатів.

Остаточно підготовлена та здане завдання, після оцінювання викладачем, не підлягає переробці та виправленню помилок.

6 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ З ДИСЦИПЛІНИ

1. Яка наука називається будівельною механікою?
2. Які завдання вивчаються в курсі будівельної механіки стрижневих систем?
3. Які важливі фактори визначають завдання розрахунку споруди?
4. Які етапи передбачає будь-який інженерний розрахунок?
5. Як співвідносяться навчальні курси опору матеріалів і будівельної механіки?
6. Що розуміють під розрахунковою схемою споруди? Якими міркуваннями керуються при ідеалізації споруди?
7. Як класифікуються розрахункові схеми?
8. Перелічіть основні типи стрижневих систем.
9. Які гіпотези приймаються для спрощення розрахунку споруд?
10. Які розрахункові схеми споруд вивчають у будівельній механіці стрижневих систем?
11. Що таке зв'язок і якими характеристиками він володіє?
12. Що визначає кінематичні та статичні характеристики зв'язку?
13. Які системи називаються плоскими?
14. Які системи називаються просторовими?
15. Які типи опор у плоских системах ви знаєте?
16. Як ідеалізуються опори споруд?

17. Які зв'язки називаються внутрішніми?
18. Сформулюйте принцип незалежності дії сил.
19. Які зусилля виникають у перерізі стрижня плоскої стрижневої системи при довільному навантаженні? Дати їх визначення.
20. Яка модель деформованого тіла застосовується в класичній будівельній механіці і до яких матеріалів вона не застосовується?
21. Яка система називається геометрично незмінною?
22. Що називається ступенем свободи плоскої стрижневої системи?
23. Що таке простий шарнір і скільком кінематичним зв'язкам він еквівалентний?
24. Що таке складний шарнір?
25. Який шарнір у плоских системах називається кратним?
26. Як визначається кратність шарніра в плоских системах?
27. Мета і завдання кінематичного аналізу споруд.
28. У чому полягає кінематичний аналіз розрахункової схеми споруди?
29. Які системи називаються геометрично незмінними, змінними і миттєво змінними?
30. Що таке число ступенів свободи?
31. За якою формулою визначається ступінь свободи плоскої стрижневої системи?
32. Як записується основна формула кінематичного аналізу?
33. Як класифікуються системи за ступенем свободи?
34. У чому полягає необхідна умова геометричної незмінності?
35. Як перевіряється геометрична незмінність системи?
36. Які системи називаються змінними?
37. Які способи утворення незмінних систем знаєте?
38. Який порядок кінематичного аналізу?
39. Яка необхідна, але недостатня умова є ознакою геометричної незмінності системи?
40. У чому полягає аналіз геометричної структури системи?
41. Перелічіть способи утворення геометрично незмінних стрижневих систем?
42. Які системи називають миттєво-змінними і чому?
43. Чому миттєво-змінні системи не застосовують у будівельній практиці?
44. Класифікація споруд за величиною ступеня свободи.
45. Принципи (лемми) утворення геометрично-незмінних систем.
46. Ознаки миттєво-змінних систем.
47. Сутність структурного аналізу споруд.
48. Загальна послідовність проведення кінематичного аналізу.

49. Дайте визначення статично визначеної і статично невизначеної системи.
50. Назвіть головну особливість статично визначених систем?
51. Які форми рівнянь рівноваги можна записати для плоскої системи?
52. Що таке згинальний момент, поперечна сила і поздовжня сила?
53. Як визначається згинальний момент у перерізі, як визначається його знак?
54. Як визначається поперечна сила в перерізі, як визначається її знак?
55. Як визначається поздовжня сила в перерізі, як визначається її знак?
56. Якою диференціальною залежністю пов'язані згинальний момент M і поперечна сила Q ?
57. Як визначити положення перерізу з екстремальним значенням згинального моменту?
58. Які методи використовуються при розрахунку статично визначених систем?
59. Від якої величини навантаження будується лінія впливу зусилля?
60. Який напрямок мають одинична сила або момент при побудові лінії впливу?
61. Чи змінюється положення одиничної сили при побудові лінії впливу?
62. Які методи використовуються для побудови ліній впливу?
63. Яка характерна відмінність проявляється на лініях впливу зусиль при вузловій передачі навантаження?
64. Поняття про багатопробіжні статично визначені балки. Їх переваги та недоліки. Область застосування.
65. Як перевірити статичну визначеність і геометричну незмінність багатопробіжної статично визначеної балки?
66. Опишіть алгоритм розрахунку багатопробіжної статично визначеної балки.
67. Порядок проведення кінематичного аналізу розрізних балок.
68. Порядок побудови поверхової схеми для багатопробіжних статично визначених балок.
69. Послідовність побудови епюр M і Q в багатопробіжних статично визначених балках.
70. Сформулюйте правила побудови поверхової схеми.
71. Охарактеризуйте вузловий спосіб передачі навантаження в розрізній балці.
72. Правила знаходження опорних реакцій у багатопробіжній балці.
73. Перевірки, що застосовуються при розрахунку розрізних балок.
74. Алгоритм розрахунку балки на спільну дію постійного і тимчасового навантаження.

75. Які залежності між згинальним моментом, поперечною силою і навантаженням використовуються при перевірці правильності побудови епюр?
76. Як побудувати епюру згинальних моментів при вузловій передачі навантаження?
77. Послідовність побудови епюр M , Q , N в статично визначених рамах.
78. Перевірка правильності побудови епюр M , Q , N в статично визначених рамах.
79. Поняття про ферму та її основні елементи.
80. За якими ознаками класифікують ферми?
81. Яка ферма називається плоскою?
82. Основні припущення, що приймаються при розрахунку ферм.
83. Які способи використовуються при розрахунку ферм?
84. Назвіть ознаки, що спрощують розрахунок ферм.
85. Яка умова геометричної незмінності та статичної визначеності плоскої ферми?
86. Яка умова геометричної незмінності та статичної визначеності просторової ферми?
87. Опишіть порядок розрахунку статично визначених плоских ферм.
88. Порядок проведення кінематичного аналізу плоских ферм.
89. Правила зведення зовнішнього навантаження до вузлового при розрахунку плоских ферм.
90. Особливості врахування власної ваги при розрахунку плоских ферм.
91. Як прикладається навантаження в розрахунковій схемі ферми?
92. Поняття моментної точки. Правила її знаходження.
93. Охарактеризуйте три способи визначення зусиль у плоских фермах.
94. Аналітичні методи визначення зусиль у стрижнях ферм. Правило знаків для поздовжньої сили (зусилля) у стрижнях.
95. Які вимоги висуваються до розрахунку ферм при використанні методу вирізання вузлів?
96. Метод вирізання вузлів. Деякі окремі випадки (лемми) щодо рівноваги вузлів.
97. Метод наскрізних перерізів.
98. Які основні умови застосування методу наскрізних перерізів при розрахунку плоских балкових ферм?
99. Яку точку називають моментною при використанні методу наскрізних перерізів?

100. Коли використання способу проекцій в методі наскрізних перерізів краще способу моментної точки?
101. Перевірки правильності визначення зусиль в стрижнях ферм.
102. Правила побудови ліній впливу поздовжніх зусиль в стрижнях ферми.
103. Що розуміють під їздовим поясом при побудові ліній впливу?
104. Правила розрахунку ферм на спільну дію постійного і рухомого навантажень.
105. Які системи називаються розпірними? Що таке розпірка?
106. У чому головна особливість тришарнірних систем?
107. Як визначаються опорні реакції в тришарнірних рамах з опорами на одному рівні при дії довільного навантаження?
108. Як визначається розпір у тришарнірній арці?
109. Як визначається положення нульових точок ліній впливу M , Q і N в арці?
110. Які переваги та недоліки має тришарнірна арка в порівнянні з балкою та фермою?
111. Що таке лінія впливу і чим вона відрізняється від епюри?
112. Що показує ордината лінії впливу будь-якого зусилля?
113. У яких точках багатопрогової шарнірно-консольної балки лінії впливу можуть мати переломи?
114. Як по лінії впливу визначити величину зусилля при дії на систему декількох зосереджених сил?
115. Як по лінії впливу визначити величину зусилля при дії на систему декількох розподілених навантажень?
116. Чим відрізняється лінія впливу при вузловій передачі навантаження?
117. Як визначається зусилля від постійного навантаження по лінії впливу?
118. Які способи використовуються при побудові ліній впливу зусиль ферми?
119. Чим відрізняються дійсна і можлива роботи?
120. Як формулюється теорема Бетті?
121. Які стани розглядаються при визначенні переміщень?
122. Чим відрізняються визначення переміщень в рамах і фермах?
123. Яке переміщення називається можливим?
124. Яка робота називається можливою?
125. Сформулюйте теорему про взаємність робіт.
126. Сформулюйте теорему про взаємність переміщень.
127. Сформулюйте принцип можливих переміщень.
128. Запишіть формулу, що відповідає теоремі про взаємність реакцій.
129. Які два стани системи необхідно розглядати для визначення переміщення?

130. Як вибрати схему допоміжного стану для визначення лінійного переміщення?
131. Як вибрати схему допоміжного стану для визначення кута повороту?
132. Як вибрати схему допоміжного стану для визначення взаємного зміщення двох перерізів?
133. У якому вигляді використовується формула Мора для визначення переміщень у згинальних плоских системах?
134. У якому вигляді використовується формула Мора для визначення переміщень у комбінованих плоских системах?
135. За якою формулою можна помножити дві епюри у вигляді трапецій при визначенні переміщень?
136. За якою формулою можна помножити дві епюри, одна з яких криволінійна, а інша має вигляд трапеції?
137. За якою формулою визначаються переміщення від температурного впливу?
138. Дати визначення ступеня статичної невизначеності і показати, як її визначати для плоских систем.
139. Властивості статично невизначених систем.
140. У чому полягає відмінність статично невизначених систем від статично визначених систем?
141. Як визначається число зайвих зв'язків статично невизначеної системи?
142. Основні методи розрахунку статично невизначених систем.
143. Що називається основною системою методу сил?
144. Які вимоги висуваються до основних систем методу сил?
145. Формування основних систем при розрахунку статично невизначених ферм, плоских рам і балок за методом сил.
146. Визначення кількості зайвих зв'язків у методі сил. Вибір основної системи.
147. Фізичний зміст системи канонічних рівнянь у методі сил.
148. Сформулюйте фізичний зміст умов сумісності деформацій у методі сил.
149. Система канонічних рівнянь методу сил: її зміст, способи та перевірка правильності рішення.
150. Яким вимогам повинна задовольняти основна система?
151. У чому полягає фізичний зміст канонічних рівнянь методу сил?
152. У чому полягає фізичний зміст коефіцієнтів при невідомих системи канонічних рівнянь методу сил?
153. У чому полягає фізичний зміст вільних членів рівнянь методу сил?
154. Якою особливістю володіють головні коефіцієнти системи канонічних рівнянь методу сил?

155. Якою особливістю володіють побічні коефіцієнти системи канонічних рівнянь методу сил?
156. Чим відрізняється обчислення коефіцієнтів при невідомих від обчислення вантажних коефіцієнтів?
157. Яку перевагу дає використання теореми Максвелла?
158. Визначення переміщень з використанням способу Верещагіна. Теорема про взаємність переміщень (теорема Максвелла)

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна література

1. Будівельна механіка. Комп'ютерні технології: підручник / За заг. ред. д.т.н., проф. В.А. Баженова. – К.: Каравела, 2009. – 696 с.
2. Будівельна механіка: конспект лекцій / П. П. Лізунов, В. О. Недін. – Київ.: КНУБА, 2022. – 172 с.
3. Конспект лекцій з курсу Будівельна механіка: для студентів 3 курсу денної форми навчання галузі знань 19 – Архітектура та будівництво / В. П. Шпачук, М. А. Засядько, О. І. Рубаненко, О. О. Чупринін; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 177 с.
4. Будівельна механіка: Практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. Для здобувачів ступеня бакалавра спеціальності 184 «Гірництво»/ КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Т.В. Косенко, С.М. Стовпник, Л.В. Шайдецька. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 68 с.
5. Будівельна механіка та будівельні конструкції : навчальний посібник / А. С. Моргун, М. М. Сорока. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 243 с. ISBN 978-966-641-385-0

Додаткова література

6. Чихладзе Е.Д. Будівельна механіка: Підручник. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 320 с.
7. Косенко Т.В., Стовпник С.М., Шайдецька Л.В. Будівельна механіка: Практикум: навч. посіб. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 68 с.
8. Шпачук В.П., Засядько М.А., Рубаненко О.І., Чупринін О.О. Конспект лекцій з курсу Будівельна механіка: для студентів 3 курсу денної форми навчання галузі знань 19 – Архітектура та будівництво. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 177 с.
9. Куценко А.Г. Будівельна механіка: Навч. посібник / А.Г. Куценко, М.М. Бондар, В.В. Яременко – К.: Центр учбової літератури, 2019. – 704 с.
10. Куценко А.Г., Бондар М.М. , Яременко В.В. Будівельна механіка. Навчальний посібник. Київ: 2017. 644 с.
11. Лучко Й.Й., Распопов О.С. Будівельна механіка стержневих систем. Львів : Каменярь, 2014. 388с.
12. Шутенко Л. М., Шпачук В. П., Засядько М. А. Конспект лекцій з курсу «Будівельна механіка» (для студентів 3 курсу денної і заочної форм навчання бакалаврів за напрямом підготовки 6.060101 «Будівництво»). Х.: ХНАМГ, 2013. 117 с.

13. Барабаш М.С. та ін. Основи комп'ютерного моделювання. Навч.посібник /Барабаш М.С., Кір'язєв П.М., Лапенко О.І., Ромашкіна М.А.- К.: НАУ, 2018. – 492с.
14. Попович Б.С., Давидчак О.Р. Будівельна механіка статично визначених стержневих систем: Посібник – Львів: Вид-во Нац. Ун-ту «Львівська політехніка», 2007. – 194 с.
15. Баженов В.А., Іванченко Г.М., Шишов О.В., Пискунов С.О. Будівельна механіка: Розрахункові вправи. Задачі. Комп'ютерне тестування. К., 2013. 439 с.
16. Моргун А.С., Андрухов В.М., Сорока М.М., Меть І.М. Системи автоматизованого проектування в будівництві: навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2015. 129 с.
17. Баженов В. А. Будівельна механіка: Електронний підручник / В. А Баженов, О. В. Шишов. – К., 2008. – 436 с.
18. Писаренко Г.С. Опір матеріалів: Підручник / Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Е.С. Уманський; за ред. Г.С. Писаренка. – 2-ге вид., допов. і переробл. – К.: Вища шк., 2004. – 655 с.
19. 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. – К.: ПАТ “ВПІОЛ”, 2013. – 896 с.
20. Яременко О.Ф. Будівельна механіка у прикладах: Посібник /О.Ф. Яременко, В.С. Шибанін, А.М. Орлова, М.М. Сорока, Т.О. Калініна Т.О. – Одеса: 2003 р. – 246 с.
21. Дорошук Г.П., Трач В.М. Основи будівельної механіки: Підручник. – Рі-вне: УДУВГП, 2003. – 504 с.
22. Верюжський Ю.В., та ін. Будівельна механіка. Розрахунок статично визначуваних стержневих систем. – К.: НАУ, 2009. – 198 с.
23. Баженов В.А. та др. Будівельна механіка. Розрахункові вправи. Задачі. Комп'ютерне тестування. Навч. посібник/ Баженов В.А. , Іванченко Г.М., Шишов О.В. – К.: Каравела, 2006. – 344 с.

Методичне забезпечення

24. Методичні вказівки до практичних занять з курсу: «Будівельна механіка» ч.1 (для здобувачів вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія») (Електронне видання) / Уклад.: Медвідь І.І. – Київ вид-во СНУ ім. В. Даля, 2024. – 18 с.
25. Конспект лекцій з дисципліни «Будівельна механіка» ч.1 (для здобувачів вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»)

(Електронне видання) / Уклад.: І.І. Медвідь– Київ : вид-во СНУ ім. В. Даля, 2024. – 31 с.

26. Конспект лекцій з дисципліни «Будівельна механіка» ч.2 (для здобувачів вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія») (Електронне видання) / Уклад.: Медвідь І.І. – Київ : вид-во СНУ ім. В. Даля, 2024. – 28 с.
27. Конспект лекцій з дисципліни «Будівельна механіка» ч.3 (для здобувачів вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія») (Електронне видання) / Уклад.: І.І. Медвідь– Київ : вид-во СНУ ім. В. Даля, 2025. – 21 с.

Інші джерела

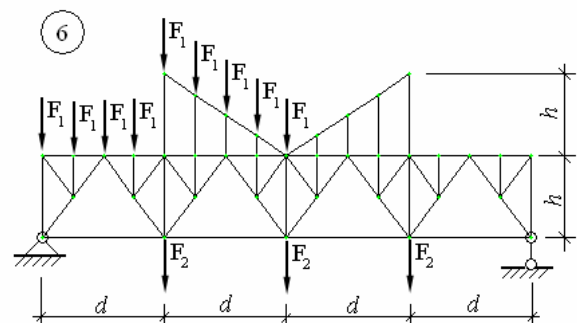
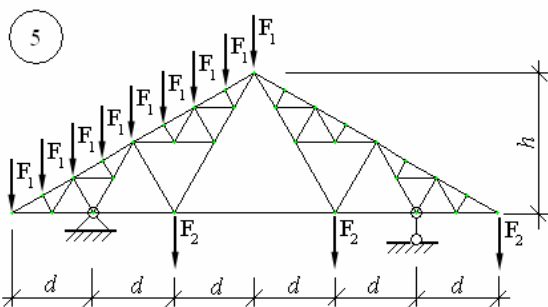
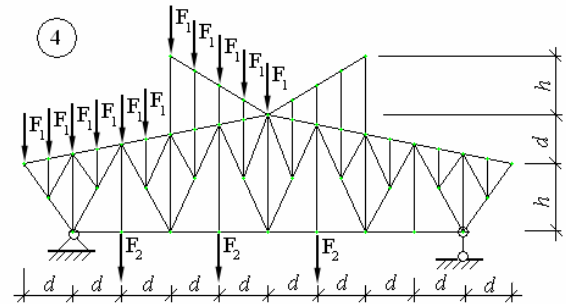
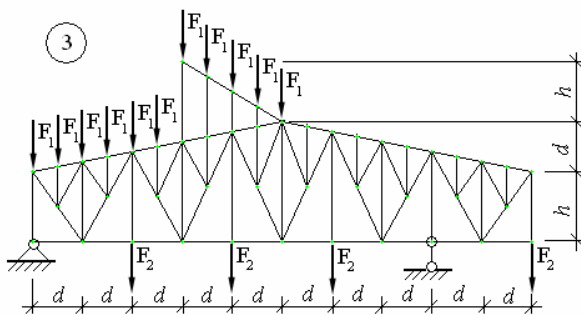
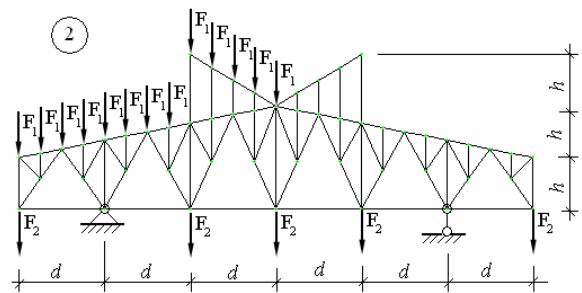
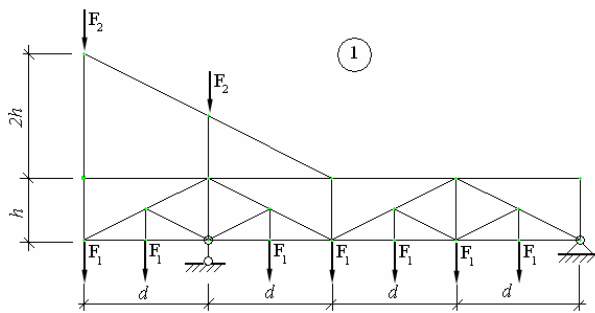
28. Електронний університет Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля / [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://moodle2.snu.edu.ua/course/view.php?id=6399>
29. Наукова бібліотека Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля / [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://library.snu.edu.ua>
30. Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського / [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://nbuv.gov.ua/>
31. Київський нац. ун-т будівництва і архітектури. Науково-технічний збірник наукових праць «Опір матеріалів і теорія споруд». Опір матеріалів і теорія споруд / [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://opir.knuba.edu.ua/>.

ДОДАТОК А

РГР №1. РОЗРАХУНОК ПЛОСКИХ СТАТИЧНО ВИЗНАЧЕНИХ
КРОКВЯНИХ ФЕРМ

Умова завдання

1. Виконати кінематичний та структурний аналізи.
2. Визначити зусилля в стержнях панелі, яка визначається вихідними даними варіанту.



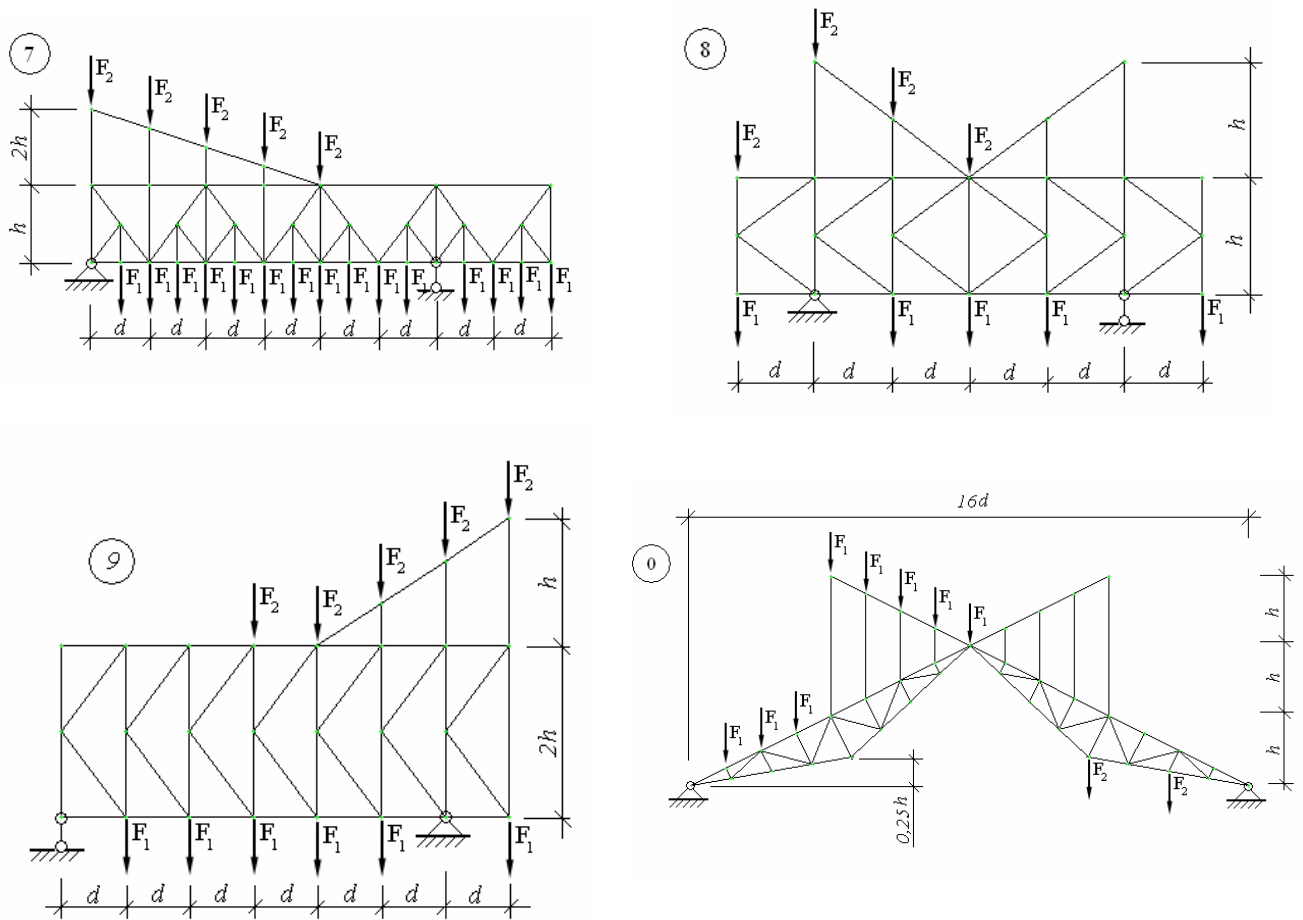


Рисунок А.1. Розрахункові схеми

Таблиця А.2

Вихідні дані до розрахунку ферми

№ рядка	№ схеми	d , м	h , м	F_1 , м	F_2 , м	№ панелі
1	1	3.0	4.0	15	60	2
2	2	3.5	4.5	20	55	3
3	3	4.0	5.0	25	50	4
4	4	4.5	5.5	30	45	4
5	5	5.0	6.0	35	40	3
6	6	5.5	6.5	40	35	2
7	7	6.6	6.0	45	30	3
8	8	6.5	5.5	50	25	2
9	9	7.0	5.0	55	20	6
10	0	8.0	6.0	60	15	5
	e	∂	z	e	∂	e

Приклад

Дано: $d = 3.5 \text{ м}$; $h = 5 \text{ м}$; $F_1 = 50 \text{ кН}$; $F_2 = 25 \text{ кН}$

Необхідно визначити зусилля в стержнях панелі №2 ферми

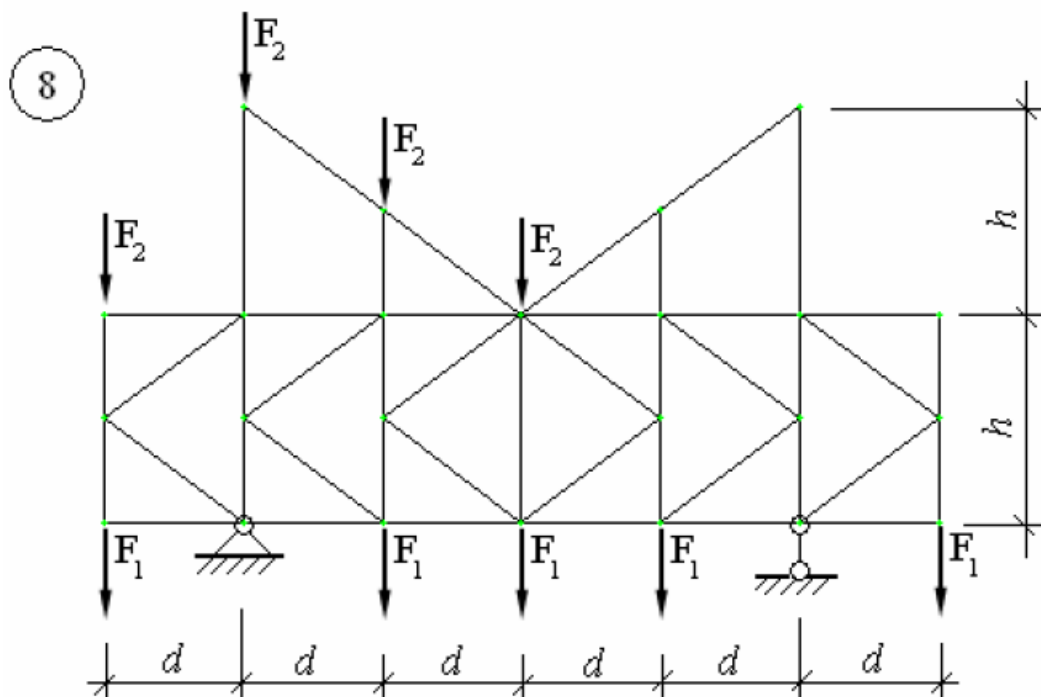


Рисунок А.2. Вихідна схема ферми

1. Кінематичний та структурний аналіз:

$$W = 2Y - C = 2 \cdot 24 - (45 + 3) = 0$$

Ферма складається з шарнірних трикутників, кожен наступний вузол послідовно приєднується двома стержнями; трьома опорними стержнями (зв'язками) ферма прикріплюється до нерухомого диска – землі.

Висновок: система статично визначена і геометрично незмінювана.

2. Визначення опорних реакцій.

$$\sum M_B = 0; \quad R_A \cdot 4d - F_1 d (1 - 1 + 2 + 3 + 5) - F_2 d (2 + 3 + 4 + 5) = 0$$

$$R_A = \frac{50 \cdot 10 + 25 \cdot 14}{4} = 212.5 \text{ кН}$$

$$\sum M_A = 0; \quad -R_B \cdot 4d + F_1 d (5 + 3 + 2 + 1 - 1) + F_2 d (2 + 1 - 1) = 0$$

$$R_B = \frac{50 \cdot 10 + 25 \cdot 2}{4} = 137.5 \text{ кН}$$

Перевірка:

$$\sum F_y = 0; \quad R_A + R_B - 4F_2 - 5F_1 = 212.5 + 137.5 - 4 \cdot 25 - 5 \cdot 50 = 0$$

$$\tan \alpha = \frac{h/2}{d} = \frac{2.5}{3.5} = 0.7143 \rightarrow \alpha = 35^\circ 30'$$

Застосовуючи метод перерізів та метод вирізання вузлів знайдемо зусилля у стержнях 2-ої панелі ферми.

Вузол 3:

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0; N_{34} \cdot \sin \beta = 0 \rightarrow N_{34} = 0; \\ \sum F_y = 0; -N_{32} - F_2 = 0 \rightarrow N_{32} = -F_2 = -25 \text{ кН} \end{aligned}$$

Вузол 4:

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0; -N_{43} \cdot \sin \beta + N_{48} \cdot \sin \beta = 0 \rightarrow N_{48} = 0; \\ \sum F_y = 0; N_{45} = -F_2 = -25 \text{ кН} \end{aligned}$$

Переріз 1-1:

$$\begin{aligned} \sum M_A = 0; N_{25} \cdot h - (F_2 + F_1) \cdot d = 0; \\ N_{25} = \frac{75 \cdot 3.5}{5} = 52.5 \text{ кН} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum M_A = 0; -N_{A7} \cdot h - (F_2 + F_1) \cdot d = 0; \\ N_{A7} = \frac{-75 \cdot 3.5}{5} = -52.5 \text{ кН} \end{aligned}$$

Вузол 1:

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0; N_{15} \cos \alpha + N_{17} \cos \alpha = 0 \rightarrow N_{15} = -N_{17} \\ \sum F_y = 0; N_{15} \sin \alpha - N_{17} \sin \alpha + R_A - 2F_2 - F_1 = 0; \\ (-N_{17} - N_{17}) \sin \alpha = -212.5 + 2 \cdot 25 + 50 \\ N_{17} = \frac{112.5}{2 \cdot \sin \alpha} = \frac{112.5}{2 \cdot 0.5807} = 96.87 \text{ кН} \end{aligned}$$

Вузол 5:

$$\begin{aligned} \sum F_y = 0; -N_{56} - N_{51} \sin \alpha + N_{45} = 0; \\ N_{56} = -(-N_{17}) \cdot \sin \alpha - F_2 = 96.87 \cdot 0.5807 - 25 = 31.25 \text{ кН} \end{aligned}$$

Вузол 7:

$$\begin{aligned} \sum F_y = 0; N_{76} + N_{71} \sin \alpha - F_1 = 0; \\ N_{76} = -N_{71} \sin \alpha + F_1 = -96.87 \cdot 0.5807 + 50 = -6.25 \text{ кН} \end{aligned}$$

Переріз 3-3:

$$\sum F_y = 0; N_{92} \sin \alpha - N_{9A} \sin \alpha - F_2 - F_1 = 0;$$

З умови рівноваги вузла 9:

$$N_{92} = -N_{9A}$$

$$(-N_{9A} - N_{9A}) \sin \alpha = F_2 + F_1;$$

$$N_{9A} = -\frac{25 + 50}{2 \cdot 0.5807} = -64.58 \text{ кН}$$

Вузол 2:

$$\sum F_y = 0; -N_{92} \sin \alpha - N_{21} - F_2 = 0;$$

$$N_{21} = -6.58 \cdot 0.58077 - 25 = 62.5 \text{ кН}$$

Вузол А:

$$\sum F_y = 0; N_{A1} + N_{A9} \sin \alpha + R_A = 0;$$

$$N_{A1} = -(-64.58) \cdot 0.5807 - 212.5 = -175 \text{ кН}$$

Для перевірки складемо суму проєкцій всіх сил на горизонтальну вісь:

$$\sum F_x = 0; N_{A7} + N_{17} \cos \alpha - N_{15} \cos \alpha + N_{25} = 0;$$

$$-52.5 + 96.87 \cdot 0.8141 - 96.87 \cdot 0.8141 + 52.5 = 0$$

Зусилля діючі в стержнях панелі №2:

$$N_{A7} = -52.5 \text{ кН}; \quad N_{A1} = -175 \text{ кН}; \quad N_{12} = -62.5 \text{ кН}; \quad N_{23} = -25 \text{ кН};$$

$$N_{34} = 0 \text{ кН}; \quad N_{45} = -25 \text{ кН}; \quad N_{56} = 31.25 \text{ кН}; \quad N_{67} = -6.25 \text{ кН};$$

$$N_{17} = 96.87 \text{ кН}; \quad N_{15} = -96.87 \text{ кН}; \quad N_{25} = 52.5 \text{ кН}$$

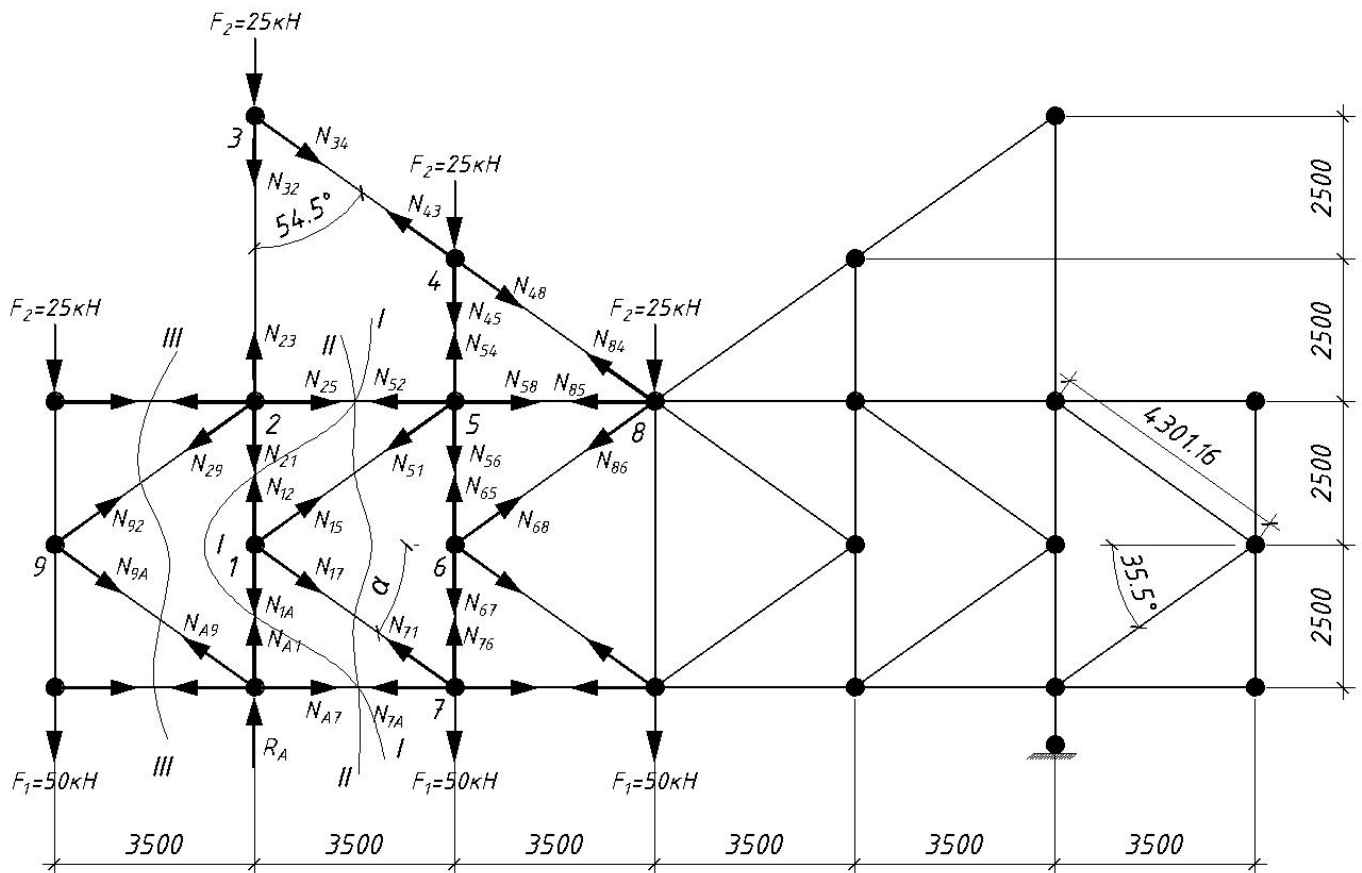


Рисунок А.3. Розрахункова схеми

ДОДАТОК Б

РГР №2. РОЗРАХУНОК БАГАТОПРОГОНОВОЇ КОНСОЛЬНО-ШАРНІРНОЇ
СТАТИЧНО ВИЗНАЧЕНОЇ БАЛКИ

Умова завдання

1. Виконати кінематичний та структурний аналізи.
2. Визначити реакції в'язів, які накладено на елементи стержневої системи.
3. Отримати аналітичні вирази внутрішніх зусиль M , Q для кожної ділянки.
4. Побудувати епюри внутрішніх зусиль.
5. Виконати контроль епюр.

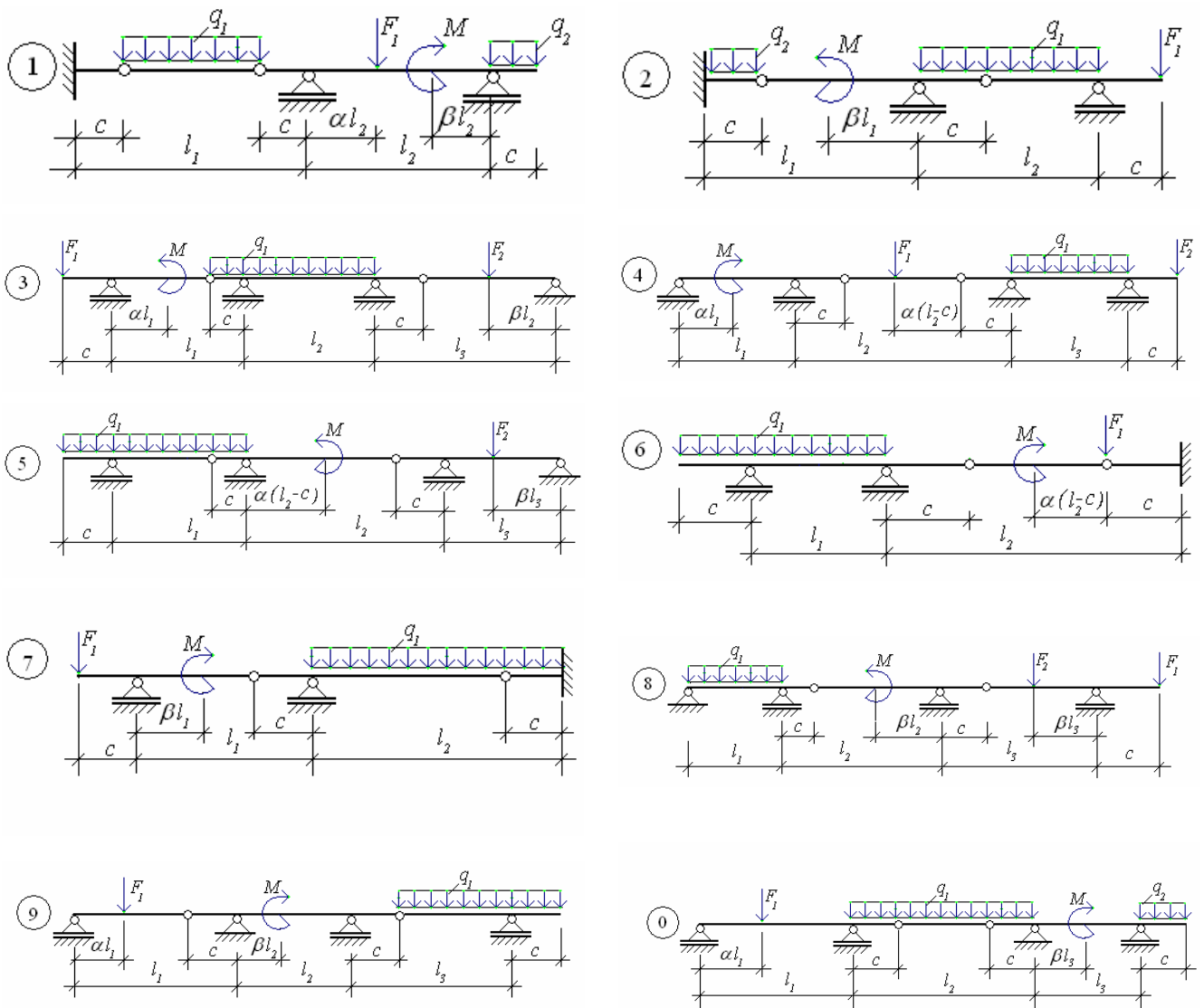


Рисунок Б.1. Розрахункові схеми

Вихідні дані до задачі

№ рядка	№ схеми	$l_1, \text{ м}$	$l_2, \text{ м}$	$l_3, \text{ м}$	$c, \text{ м}$	α	β	$F_1, \text{ кН}$	$F_2, \text{ кН}$	$M, \text{ кН}\cdot\text{м}$	$q_1, \text{ кН/м}$	$q_2, \text{ кН/м}$
1	1	12	22	18	1.5	0.20	0.75	60	120	30	10	40
2	2	14	20	10	2.0	0.25	0.65	65	115	40	15	25
3	3	16	18	12	2.5	0.30	0.6	70	110	50	20	30
4	4	18	16	14	3.0	0.35	0.55	75	100	60	25	15
5	5	20	14	16	2.8	0.40	0.50	80	95	70	30	40
6	6	10	12	18	2.6	0.45	0.45	85	90	80	10	30
7	7	12	10	16	2.4	0.50	0.40	90	85	90	15	20
8	8	14	12	14	2.2	0.55	0.35	100	80	45	20	40
9	9	16	14	12	2.0	0.60	0.30	110	75	65	25	35
10	0	18	16	10	1.8	0.70	0.25	120	70	85	30	20
	<i>e</i>	<i>д</i>	<i>з</i>	<i>а</i>	<i>в</i>	<i>б</i>	<i>а</i>	<i>e</i>	<i>д</i>	<i>з</i>	<i>а</i>	<i>б</i>

Приклад

Для багатопрогонової статично визначеної балки необхідно:

1. Перевірити геометричну незмінюваність системи.
2. Побудувати епюри згинаючих моментів M та поперечних сил Q від заданого навантаження.
3. Побудувати лінії впливу M та Q для заданого перерізу 1 статичним способом.
4. Завантажити лінії впливу заданим зовнішнім навантаженням і порівняти результати із значеннями ординат епюр M та Q в цьому перерізі.

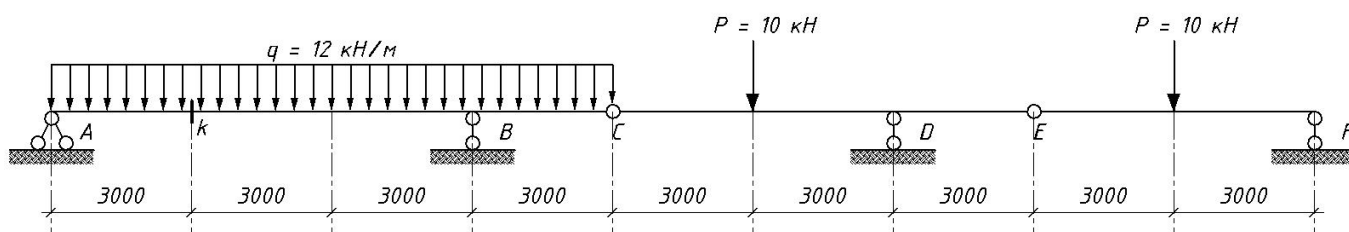


Рисунок Б.2. Схема балки з прикладеним нерухомим навантаженням

1. Перевірка геометричної незмінюваності системи

Розміри балки і задана система зовнішніх сил показана на рис. Б.2.

Багатопротітна статично визначувана балка складається з трьох балок (дисків), з'єднаних між собою шарнірами C та E , і має 5 опорних стрижнів. Кількість ступенів свободи розглянутої системи:

$$W = 3D - 2Ш - C_0 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 2 - 5 = 0$$

Отже, розглянута статично визначена балка має необхідну кількість зв'язків і є геометрично незмінною системою. Проведемо аналіз геометричної незмінності балки іншим способом.

Для перевірки незмінності даної багатопрогонової балки почнемо геометричний аналіз з розгляду балки ABC . Вона з'єднана із землею трьома непаралельними і не пересіченими в одній точці опорними стрижнями і, отже, геометрично незмінна, і може бути названа основною.

Балка CDE , будучи додатковою по відношенню до балки ABC , прикріплена до незмінної системи за допомогою шарніра C , кінематично еквівалентного двом зв'язкам, а до землі – за допомогою одного опорного стрижня D . Оскільки напрямок зазначеного опорного стрижня не проходить через шарнір C , балка CDE є геометрично незмінною.

2. Побудова епюр згинаючих моментів та поперечних сил від заданого навантаження

Побудова епюр та розрахунок балки EF .

Однопрольотна балка має дві ділянки. Оскільки зосереджена сила прикладена в центрі прольоту балки, то її опорні реакції:

$$R_E = R_F = \frac{P}{2} = 5 \text{ кН}$$

Максимальний згинаючий момент буде під силою і визначатиметься за формулою:

$$M = \frac{Pl}{4} = \frac{10 \cdot 6}{4} = 15 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

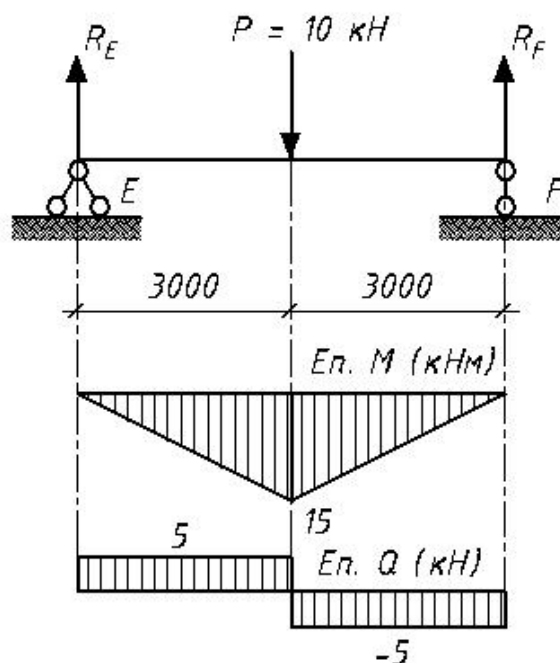


Рисунок Б.3. Балка EF

Поперечна сила:

На 1 ділянці – $Q = R_E = 5 \text{ кН}$

На 2 ділянці – $Q = -R_F = -5 \text{ кН}$

По отриманим значенням ординат будуюмо для балки EF епюри згинаючих моментів та поперечних сил.

Побудова епюр та розрахунок балки CDE .

Однопрольотна балка з консоллю має три ділянки. На консолі в точці E від додаткової балки EF діє $R_E = 5 \text{ кН}$

Визначаємо опорні реакції балки з умови рівноваги:

$$\sum M_C = 0; 10 \cdot 3 + 5 \cdot 9 - R_D \cdot 6 = 0 \rightarrow R_D = \frac{10 \cdot 3 + 5 \cdot 9}{6} = 12.5 \text{ кН}$$

$$\sum M_D = 0; -10 \cdot 3 + 5 \cdot 3 + R_C \cdot 6 = 0 \rightarrow R_C = \frac{10 \cdot 3 + 5 \cdot 9}{6} = 2.5 \text{ кН}$$

Перевірка визначення опорних реакцій:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_C + R_D - P - R_E = 2.5 + 12.5 - 10 - 5 = 0$$

Екстремальні значення згинаючого моменту будуть виникати в перерізі під силою P , та на опорі D :

$$M_D = -R_E \cdot d = -5 \cdot 3 = -15 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M = R_C \cdot d = 2.5 \cdot 3 = 7.5 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

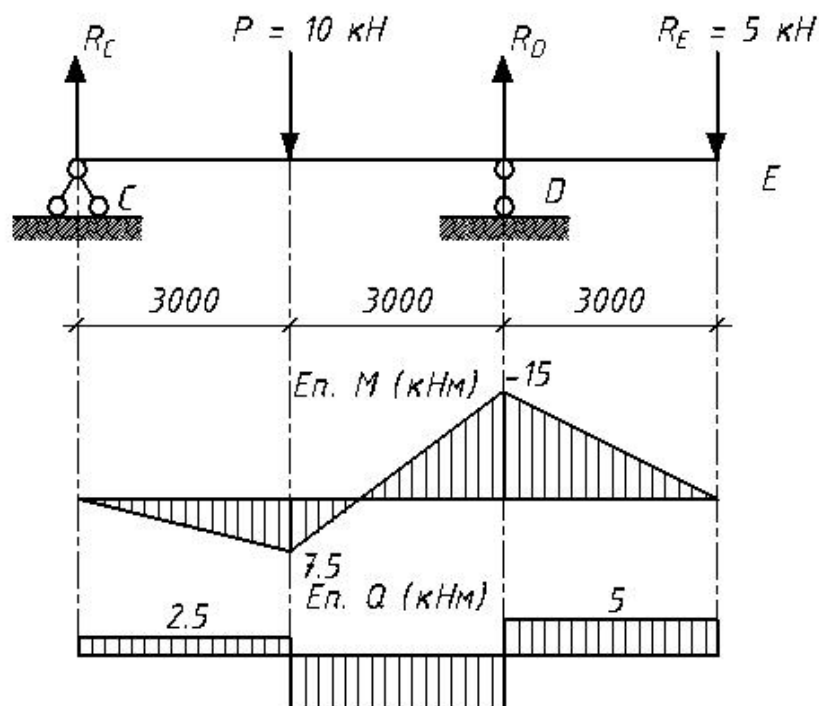


Рисунок Б.4. Балка CDE

Поперечна сила на ділянках приймає наступні значення:

$$\text{На 1 ділянці} - Q = R_C = 2.5 \text{ кН}$$

$$\text{На 2 ділянці} - Q = R_C - P = 2.5 - 10 = -7.5 \text{ кН}$$

$$\text{На 3 ділянці} - Q = R_E = 5 \text{ кН}$$

Побудова епюр та розрахунок балки ABC.

Однопрольотну балку можемо розбити на дві розрахункові ділянки. Крім зовнішнього навантаження, на консолі в точці C діє реактивна $R_C = 2.5 \text{ кН}$, яка виникла як опорна реакція від опорної балки CDE.

Визначаємо опорні реакції балки з умови рівноваги:

$$\sum M_A = 0 \rightarrow R_C \cdot 12 - R_B \cdot 9 + \frac{q \cdot 12^2}{2} = 0 \rightarrow R_B = \frac{2.5 \cdot 12 + 1.5 \cdot 12^2}{9} = 27.33 \text{ кН}$$

$$\sum M_B = 0 \rightarrow R_A \cdot 9 - R_C \cdot 3 - \frac{q \cdot 9^2}{2} + \frac{q \cdot 3^2}{2} = 0 \rightarrow R_A = \frac{-2.5 \cdot 3 + 3 \cdot \frac{9^2}{2} - 3 \cdot \frac{3^2}{2}}{9} = 11.167 \text{ кН}$$

Перевірка визначення опорних реакцій:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_A + R_B - q \cdot 12 - R_C = 11.167 + 27.333 - 36 - 2.5 = 0$$

Для визначення максимального моменту в прольоті балки знайдемо значення x при якому $dM/dx = Q = 0$. Прирівняємо вираз для поперечної сили на першій ділянці нулю:

$$R_A - q \cdot x = 0 \rightarrow x = \frac{R_A}{q} = \frac{11.167}{3} = 3.72 \text{ м}$$

Підставимо це значення в аналітичний вираз для визначення згинаючого моменту на 1 ділянці, знайдемо M_{\max} :

$$M_{\max}(3.72) = R_A x - \frac{qx^2}{2} = 11.167 \cdot 3.72 - \frac{3 \cdot 3.72^2}{2} = 20.784 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\max}(3) = R_A x - \frac{qx^2}{2} = 11.167 \cdot 3 - \frac{3 \cdot 3^2}{2} = 20 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Згинаючий момент на другій ділянці в перерізі B:

$$M_B = -\frac{qd^2}{2} - R_C d = -\frac{3 \cdot 3^2}{2} - 2.5 \cdot 3 = -21 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Визначаємо значення поперечної сили в характерних перерізах:

$$\text{В опорному перерізі A} - Q_A = R_A = 11.167 \text{ кН}$$

$$\text{Зліва від опори B} - Q_B^{\text{left}} = R_A - q \cdot 9 = 11.167 - 3 \cdot 9 = -15.833 \text{ кН}$$

$$\text{Праворуч від опори B} - Q_B^{\text{right}} = R_B - Q_B^{\text{left}} = 27.333 - 15.833 = 11.5 \text{ кН}$$

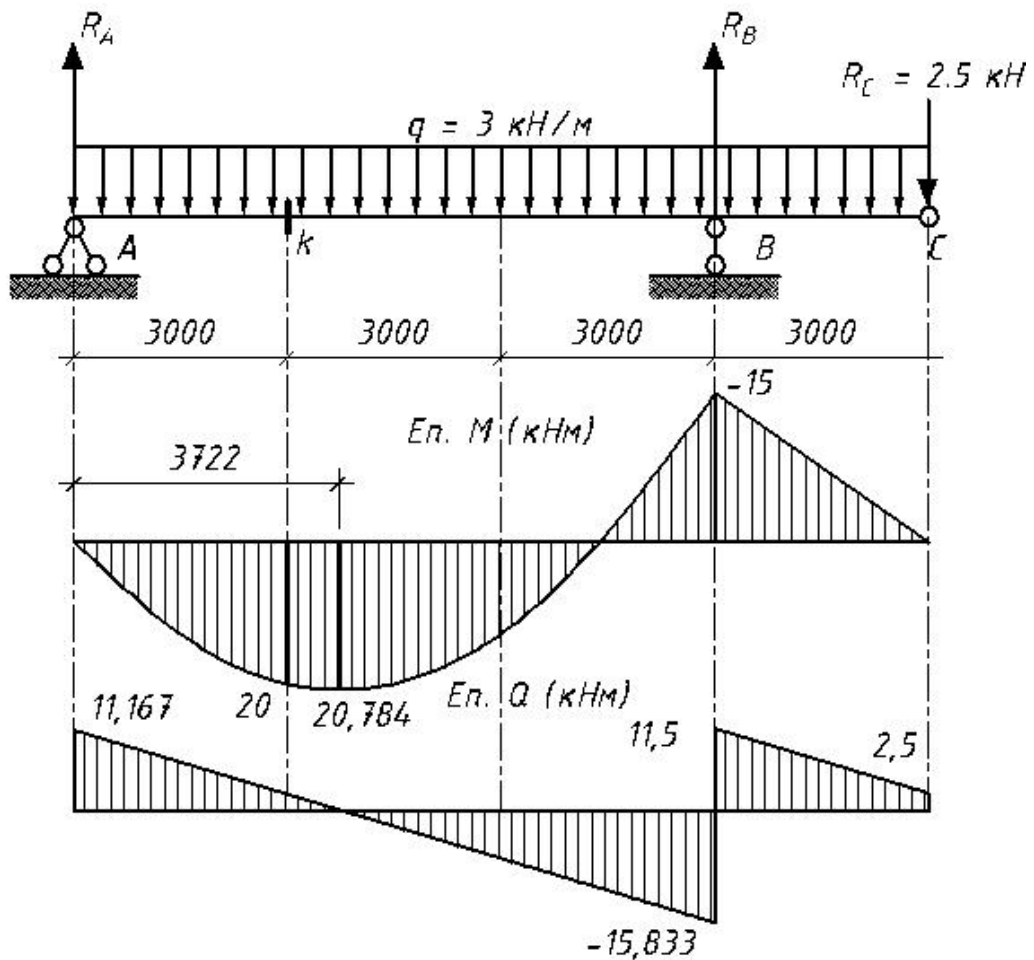


Рисунок Б.5. Балка ABC

По отриманим значенням в характерних перерізах будуємо епюри. Враховуємо, що ординати епюри згинаючих моментів відкладаємо зі сторони «розтягнутих» волокон, а для епюри поперечних сил – додатні відкладаємо вгору, а від’ємні – вниз.

Суміщаємо отримані епюри всіх трьох балок, отримаємо загальні епюри M та Q для багатопрогонової шарнірної балки.

3. Побудувати лінії впливу M та Q для перерізу k

Побудова ліній впливу внутрішніх силових факторів виконаємо статичним способом у такому порядку:

- встановлюємо взаємодію основної та додаткових балок за «поверховою» схемою;
- будуємо лінії впливу внутрішніх зусиль для однопрогонової балки, в якій знаходиться розглянутий переріз;
- отриману лінію впливу поширюємо на всю довжину багатопрогонової балки з урахуванням вузлової передачі навантажень. При цьому слід мати на увазі, що при положенні вантажу $P=1$ над опорами балок внутрішні зусилля у всіх перерізах дорівнюють нулю;
- визначаємо з подібності трикутників значення ординат.

Характерні з них вказуємо на лініях впливу, причому позитивні ординати відкладаємо вгору. Характерними точками ліній впливу є точки перелому під шарнірами.

Побудуємо лінії впливу M і Q в перерізі k . Переріз 1 знаходиться в основній однопрогонній балці з консоллю. Тому для неї лінії впливу будуються, як для однопрогонної балки з консоллю. При їх побудові необхідно розглянути положення вантажу $P = 1$ правіше і лівіше перерізу k .

Ліва і права прямі лінії впливу моменту перетинаються під перерізом k , а лінії впливу поперечної сили в цьому випадку мають стрибок на величину, рівну одиниці. Ордината згинального моменту під перерізом визначається за формулою:

$$P \cdot \frac{a \cdot b}{l} = 1 \cdot \frac{3 \cdot 6}{9} = 2 \text{ м}$$

де $a = 3 \text{ м}$, $b = 6 \text{ м}$ – відстані від перерізу k до опор A і B відповідно; $l = 9 \text{ м}$ – проліт балки.

Далі лінії впливу M і Q , поширюються на праву панель, тобто праву пряму слід продовжити до кінця консолі. Вплив додаткових балок враховуємо за правилом вузлової передачі навантажень наступним чином.

Оскільки ордината лінії впливу в перерізі k дорівнює нулю, коли вантаж розташований над опорами D і F , то з кінця консолі балки ABC проводимо пряму, що проходить через нуль в перерізі D і продовжуємо до кінця консолі балки CDE , звідки проводимо пряму, що проходить через нуль в перерізі F .

4. *Визначення M_k , Q_k від заданого зовнішнього навантаження за допомогою побудованих ліній впливу*

Для обчислення згинального моменту і поперечної сили по лініях впливу від навантаження q її інтенсивність множимо на алгебраїчну суму площ відповідних ділянок лінії впливу. Від зосереджених сил величину моментів і поперечних сил обчислюємо як алгебраїчну суму добутків P_i на величину ординати y_i взятих на лініях впливу під точками прикладання вантажів. Оскільки в даній задачі багатопролітна статично визначена балка завантажена рівномірно розподіленим навантаженням q і зосередженими силами, то згинальний момент в перерізі k визначаємо, користуючись лінією впливу, за формулою:

$$M_k = \sum_j \omega_j q_j + \sum_i P_i y_i$$

Де:

$$\sum_j \omega_j = \omega_1 - \omega_2 = \frac{2 \cdot 9}{2} - \frac{1 \cdot 3}{2} = 7.5 \text{ м}^2;$$

$$\sum_j \omega_j q = 7.5 \cdot 3 = 22.5 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad \sum_i P_i y_i = -10 \cdot 0.5 + 10 \cdot 0.25 = -2.5 \text{ кН}$$

Тоді:

$$M_k = 22.5 - 2.5 = 20 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Отримане значення згинаючого моменту в перерізі k відповідає значенню моменту який був визначений аналітично.

Визначимо значення поперечної сили в перерізі k по лінії впливу:

$$Q_k = \sum_j \omega_j q_j + \sum_i P_i y_i$$

Де:

$$\sum_j \omega_j = -\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 = -\frac{0.333 \cdot 3}{2} + \frac{0.667 \cdot 6}{2} - \frac{0.334 \cdot 3}{2} = 1 \text{ м};$$

$$\sum_j \omega_j q = 1 \cdot 3 = 3 \text{ кН}; \quad \sum_i P_i y_i = -0.167 \cdot 10 + 0.0835 \cdot 10 = -0.835 \text{ кН}$$

Тоді:

$$Q_k = 3 - 0.835 = 2.165 \text{ кН}$$

Отримане значення поперечної сили в перерізі k практично точно відповідає значенню яке було визначено аналітично.

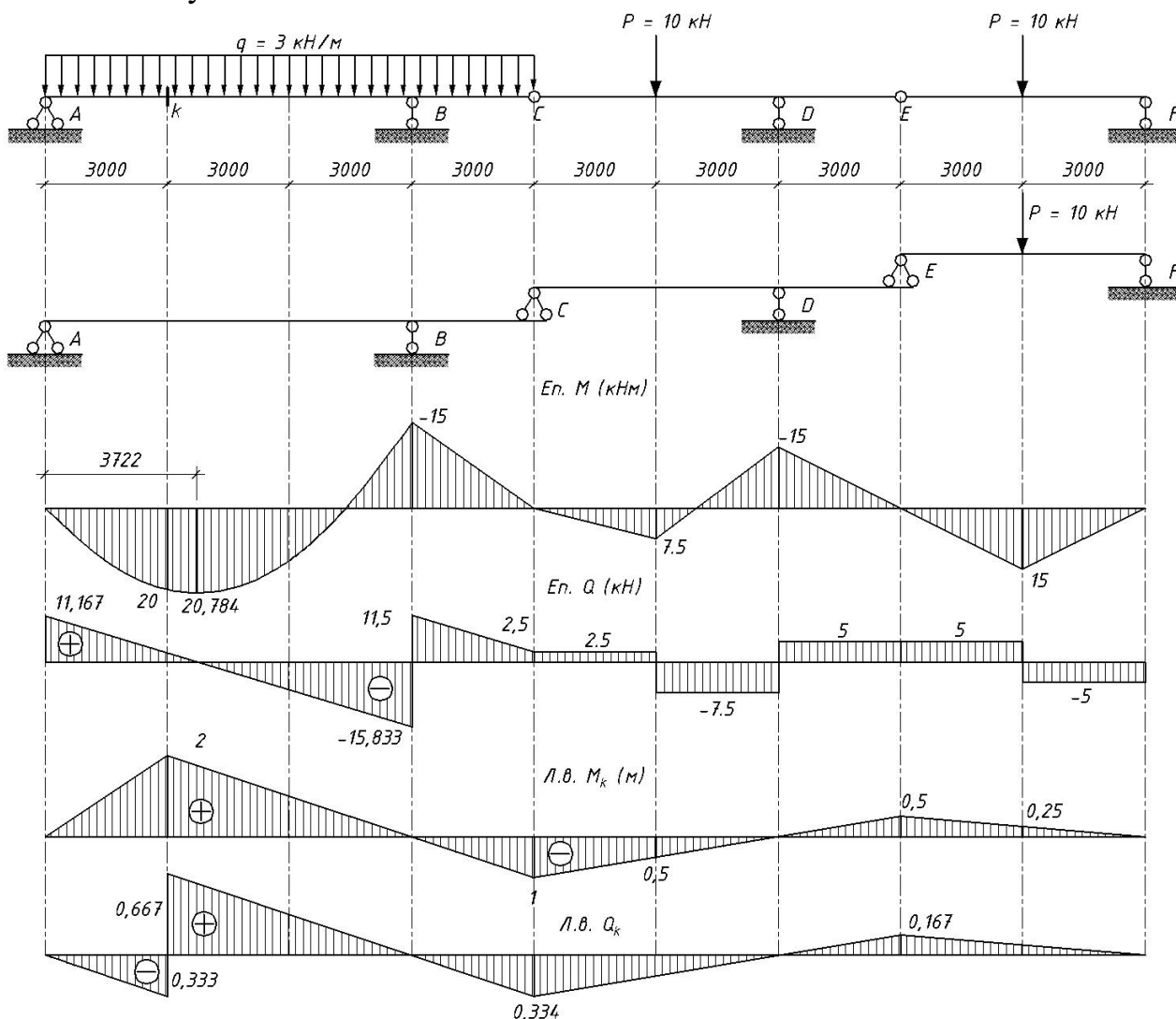


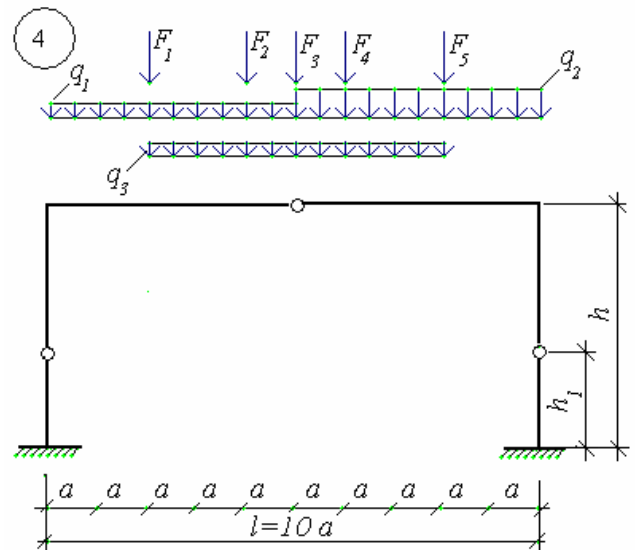
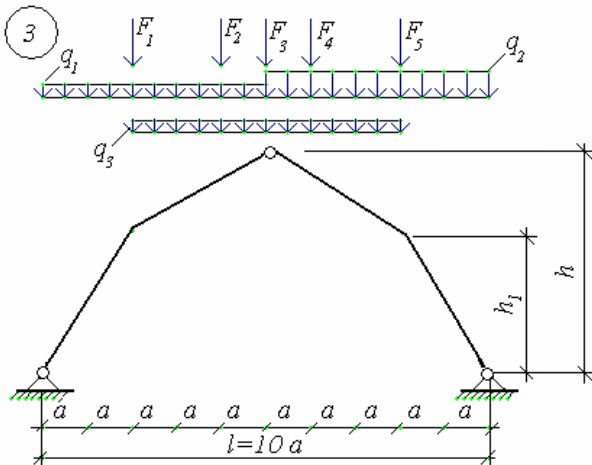
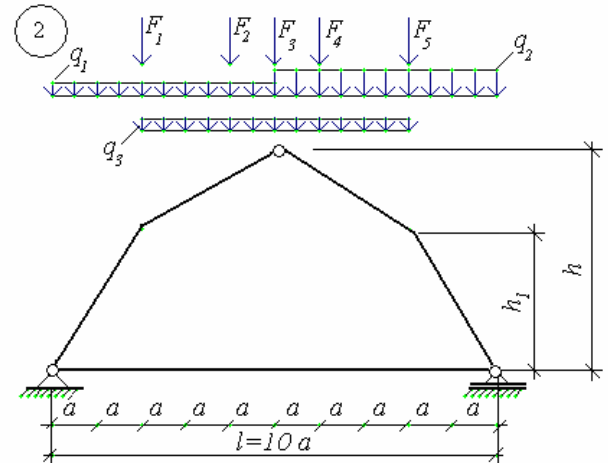
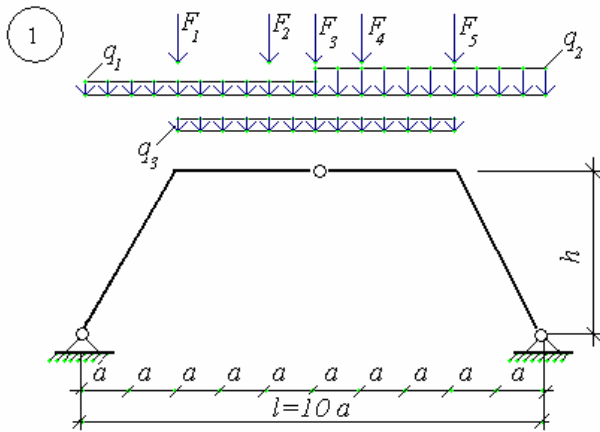
Рисунок Б.6. Епюри та лінії впливу балки

ДОДАТОК В

РГР №3. РОЗРАХУНОК СТАТИЧНО ВИЗНАЧЕНИХ РОЗПІРНИХ СИСТЕМ
ТА ПЛОСКИХ РАМ

Умова завдання

Для рами, яка вибирається згідно з варіантом, треба побудувати епюри M , Q та N користуючись статичним методом.



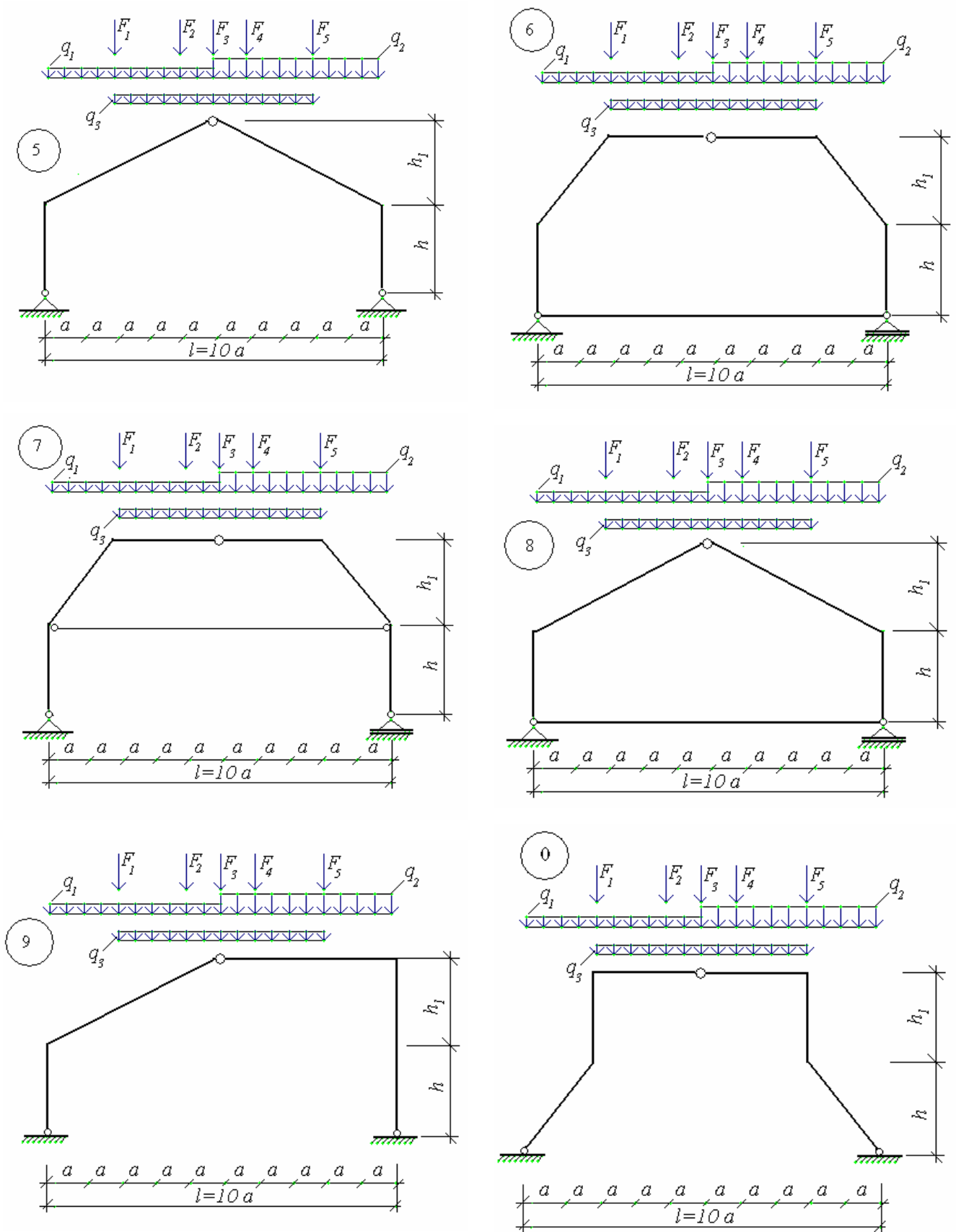


Рисунок В.1. Розрахункові схеми

Таблиця В.1

Вихідні дані до задачі

№ рядка	№ схеми	$l, \text{ м}$	α	h_1/l	h/l	$F_1, \text{ кН}$	$F_2, \text{ кН}$	$F_3, \text{ кН}$	$F_4, \text{ кН}$	$F_5, \text{ кН}$	$q_1, \text{ кН/м}$	$q_2, \text{ кН/м}$	$q_3, \text{ кН/м}$
1	1	12	0.3	0.15	0.3	100	-	150	-	-	-	20	-
2	2	14	0.35	0.2	0.4	-	-	75	-	150	30	-	-
3	3	16	0.4	0.25	0.5	150	150	-	-	-	-	40	-
4	4	18	0.45	0.3	0.6	-	-	200	100	-	-	-	40
5	5	20	0.55	0.35	0.7	150	-	-	75	-	-	20	-
6	6	22	0.6	0.4	0.8	-	200	-	-	100	40	-	-
7	7	24	0.65	0.15	0.6	-	-	150	75	-	30	-	-
8	8	26	0.7	0.2	0.5	100	-	-	100	-	-	40	-
9	9	28	0.75	0.2	0.4	-	150	100	-	-	-	-	20
10	0	30	0.8	0.15	0.3	-	-	-	150	200	-	-	30
	<i>e</i>	<i>z</i>	<i>d</i>	<i>б</i>		<i>д</i>					<i>e</i>		

Приклад

Для заданої схеми (рис. В.2) тришарнірної рами з затяжкою визначити внутрішні силові фактори.

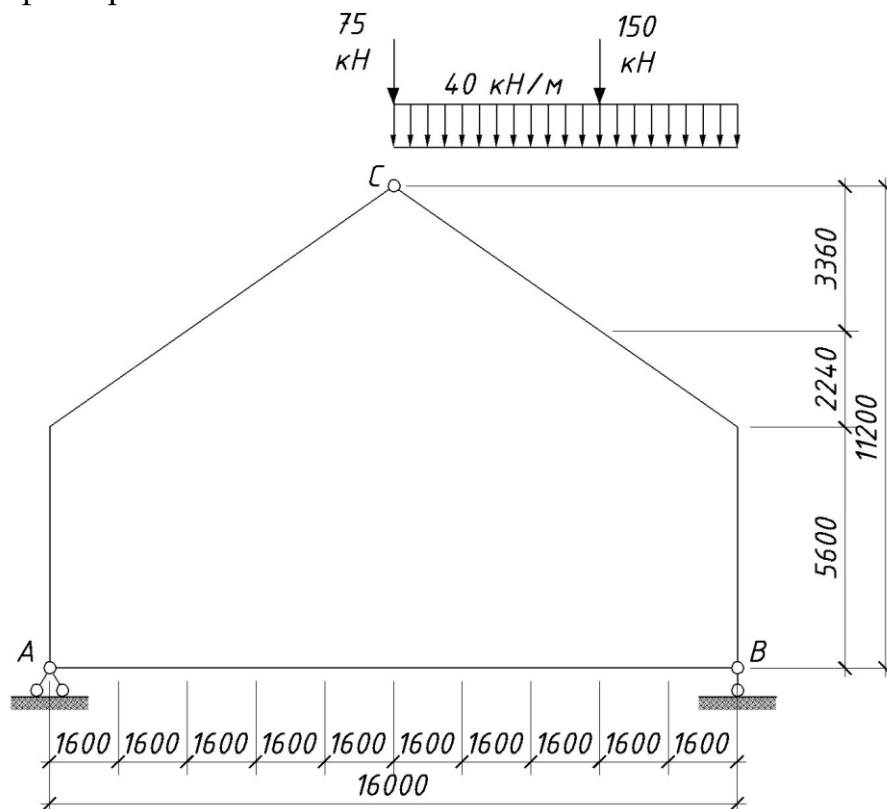


Рисунок В.2. Вихідна схема

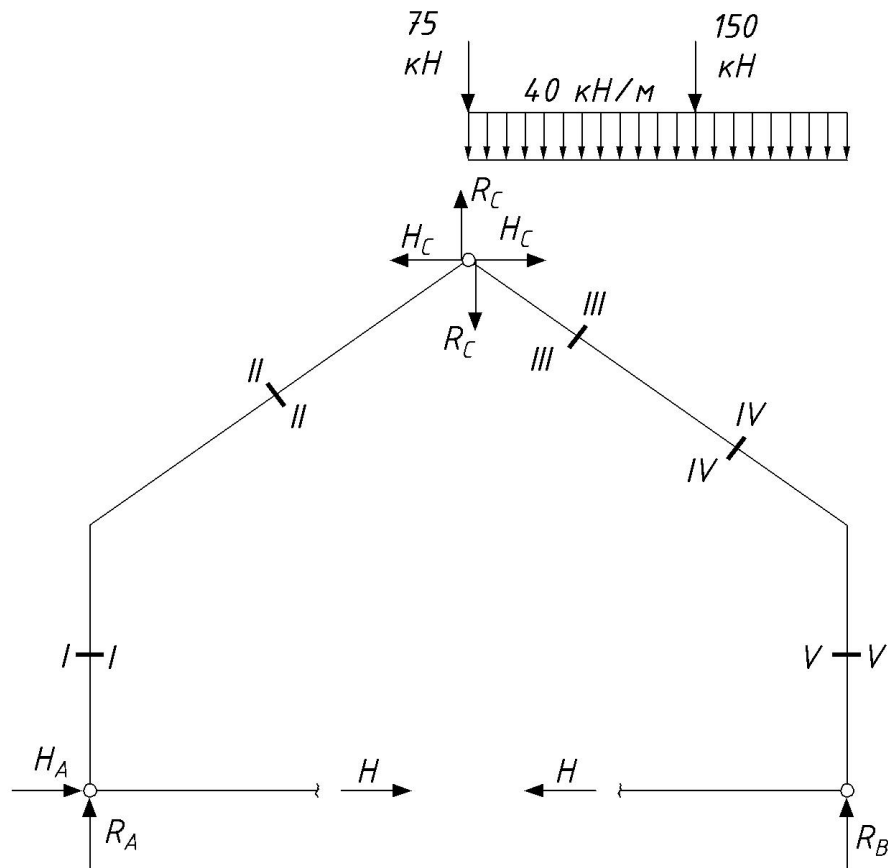


Рисунок В.3. Розрахункова схема

1. Кінематичний та структурний аналіз

$$W = 3Д - 2Ш - С = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 1 - 4 = 0$$

Монтаж:

А) Ш+С₄ => Д₁ + Д₂Б) С₁, С₂, С₃ до основи.

Висновок: система статично визначена та геометрично незмінювана.

2. Визначення опорних реакцій у зв'язках

$$\sum M_B = 0 \rightarrow R_A \cdot 16 - 75 \cdot 8 - 150 \cdot 3.2 - 40 \cdot 8 \cdot \frac{8}{2} = 0$$

$$R_A = \frac{75 \cdot 8 + 150 \cdot 3.2 + 40 \cdot 8 \cdot \frac{8}{2}}{16} = 147.5 \text{ кН}$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow -R_B \cdot 16 + 75 \cdot 8 + 150 \cdot 12.8 + 40 \cdot 8 \cdot \left(8 + \frac{8}{2}\right) = 0$$

$$R_B = \frac{75 \cdot 8 + 150 \cdot 12.8 + 40 \cdot 8 \cdot \left(8 + \frac{8}{2}\right)}{16} = 397.5 \text{ кН}$$

Перевірка:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_A + R_B - F_1 - F_2 - q \cdot 5a = 0$$

$$147.5 + 397.5 - 75 - 150 - 40 \cdot 8 = 0$$

Визначаємо зусилля в затяжці:

$$\sum M_C^{left} = 0 \rightarrow H; H \cdot h - R_A \cdot 5a = 0 \rightarrow H = \frac{R_A \cdot 5a}{h} = \frac{147.5 \cdot 5 \cdot 1.6}{11.2} \cong 105.36 \text{ кН}$$

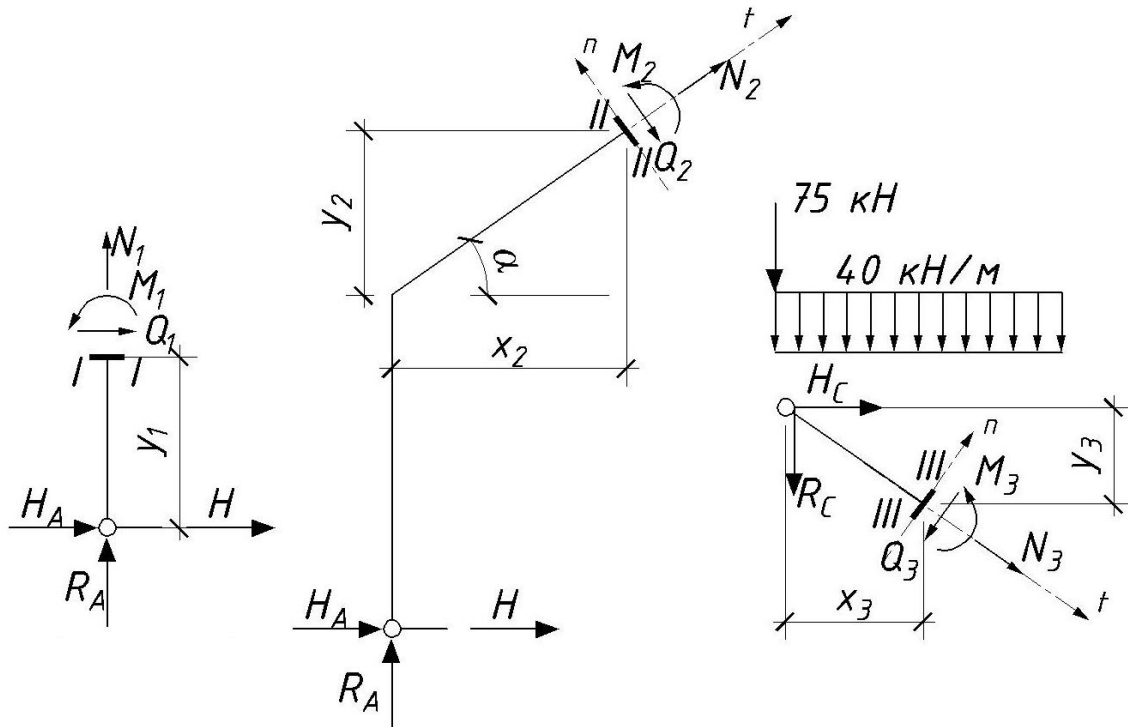


Рисунок В.4. Перерізи I-I, II-II, III-III

3. Визначення внутрішніх силових факторів M , N , Q по ділянкам, використовуючи метод перерізів.

Ділянка 1 ($x_1 = 0$; $0 \leq y_1 \leq 5.6$ м);

$$\sum F_y = 0; N_1 + R_A = 0 \rightarrow N_1 = -R_A = -147.5 \text{ кН};$$

$$\sum F_x = 0; Q_1 + H = 0 \rightarrow Q_1 = -H = -105.36 \text{ кН};$$

$$\sum M_S = 0; M_1 + Hy_1 = 0 \rightarrow M_1 = -Hy_1; M_1(y_1 = 5.6 \text{ м}) = -105.36 \cdot 5.6 = -590.016 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Ділянка 2 ($0 \leq x_2 \leq 8$ м; $5.6 \leq y_2 \leq 11.2$ м)

$$\tan \alpha = \frac{h_1}{5a} = \frac{5.6}{8} = 0.7 \rightarrow \arctan(0.7) \rightarrow 35^\circ; \cos \alpha = 0.819; \sin \alpha = 0.574$$

$$\sum F_n = 0; -Q_2 - H \sin \alpha + R_A \cos \alpha = 0;$$

$$Q_2 = -H \sin \alpha + R_A \cos \alpha = -105.36 \cdot 0.574 + 147.5 \cdot 0.819 = 60.326 \text{ кН}$$

$$\sum F_t = 0; N_2 + H \cos \alpha + R_A \sin \alpha = 0;$$

$$N_2 = -H \cos \alpha - R_A \sin \alpha = -105.36 \cdot 0.819 + 147.5 \cdot 0.574 = -170.96 \text{ кН}$$

$$\sum M_S = 0; M_2 + Hy_2 - R_A x_2 = 0;$$

$$M_2(x_2, y_2) = -Hy_2 + R_A x_2;$$

$$M_2(0, 5.6) = -105.36 \cdot 5.6 + 147.5 \cdot 0 = -590.016 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_2(8, 11.2) = -105.36 \cdot 11.2 + 147.5 \cdot 8 = -0.032 \cong 0 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

Визначення реакцій в шарнірі С

$$\sum F_x^{left} = 0; H - H_C = 0 \rightarrow H_C = H = 105.36 \text{ кН};$$

$$\sum F_y^{left} = 0; R_C + R_A - F_1 = 0 \rightarrow R_C = 75 - 147.5 = -72.5 \text{ кН};$$

$$\sum F_y^{right} = 0; -R_C + R_B - F_2 - q \cdot 5a = 0 \rightarrow R_C = 397.5 - 150 - 40 \cdot 8 = -72.5 \text{ кН}$$

Ділянка 3 ($0 \leq x_3 \leq 4.8 \text{ м}; 0 \leq y_3 \leq 3.36 \text{ м}$)

$$\sum F_n = 0; -Q_3 + H_C \sin \alpha - R_C \cos \alpha - qx_3 \cos \alpha = 0;$$

$$Q_3 = 105.36 \cdot 0.574 - (-72.5) \cdot 0.819 - 40 \cdot x_3 \cdot 0.819 = 119.854 - 32.76x_3;$$

$$Q_3(0) = 119.854 \text{ кН}; Q_3(4.8) = -37.394 \text{ кН};$$

$$\sum F_t = 0; N_3 + H_C \cos \alpha + R_C \sin \alpha + qx_3 \sin \alpha = 0;$$

$$N_3 = -H_C \cos \alpha - R_C \sin \alpha - qx_3 \sin \alpha = \\ = -105.36 \cdot 0.819 - (-72.5) \cdot 0.574 - 40 \cdot x_3 \cdot 0.574 = -44.675 - 22.96x_3;$$

$$N_3(0) = -44.675 - 22.96x_3 = -44.675 \text{ кН};$$

$$N_3(4.8) = -44.675 - 22.96 \cdot 4.8 = -154.883 \text{ кН};$$

$$\sum M_S = 0; M_3 + R_C x_3 - H_C y_3 + q \frac{x_3^2}{2} = 0;$$

$$M_3(x_3, y_3) = -R_C x_3 + H_C y_3 - q \frac{x_3^2}{2} = -(-72.5) \cdot x_3 + 105.36 \cdot y_3 - 40 \cdot \frac{x_3^2}{2} =$$

$$= 72.5x_3 - 20x_3^2 + 105.36y_3;$$

$$M_3(0, 0) = -(-72.5) \cdot 0 - 20 \cdot 0 - 105.36 \cdot 0 = 0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_3(4.8, 3.36) = -(-72.5) \cdot 0 - 20 \cdot 0 - 105.36 \cdot 0 = 241.21 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Визначаємо екстремальне значення M_3 на ділянці III:

$$Q_3(x_3) \rightarrow 0; x_3 = \frac{119.854}{32.76} = 3.658 \text{ м};$$

$$\tan \alpha = \frac{y_3^{M \max}}{3.658} = 0.7 \rightarrow y_3^{M \max} = 3.658 \cdot 0.7 = 2.56 \text{ м}$$

$$M_3(3.658, 2.56) = -(-72.5) \cdot 3.658 - 20 \cdot 2.56 - 105.36 \cdot 2.56 = 267.307 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

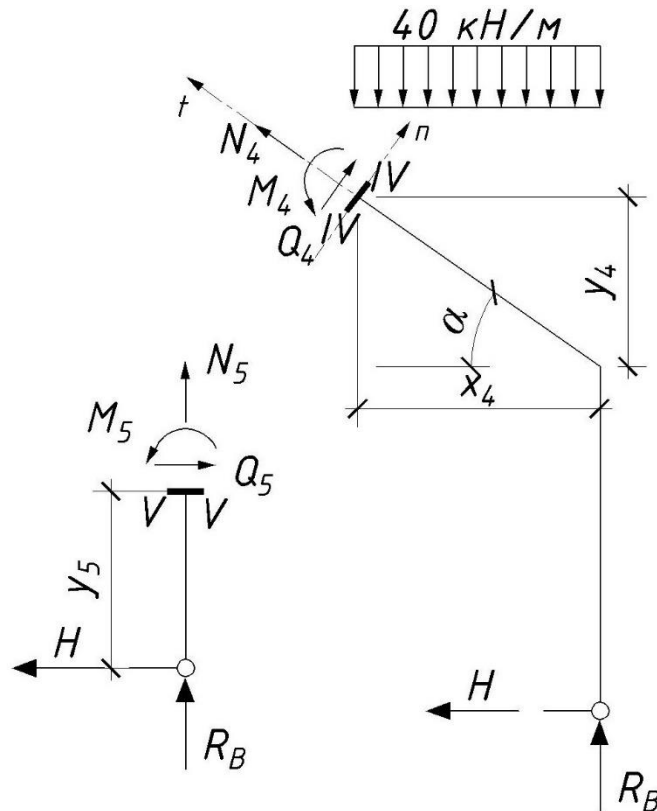


Рисунок В.4. Перерізи IV-IV, V-V

Ділянка 4 ($0 \leq x_4 \leq 3.2$ м; $5.6 \leq y_3 \leq 7.84$ м)

$$\sum F_t = 0; N_4 + H \cos \alpha + R_B \sin \alpha - qx_4 \sin \alpha = 0;$$

$$\begin{aligned} N_4(x_4) &= -H \cos \alpha - R_B \sin \alpha + qx_4 \sin \alpha = \\ &= -105.36 \cdot 0.819 - 397.5 \cdot 0.574 + 40x_4 \cdot 0.574 = -314.455 + 22.96x_4; \\ N_4(0) &= -314.455 \text{ кН}; N_4(3.2) = -314.455 + 22.96 \cdot 3.2 = -240.983 \text{ кН}; \end{aligned}$$

$$\sum F_n = 0; Q_4 - H \sin \alpha + R_B \cos \alpha - qx_4 \cos \alpha = 0;$$

$$\begin{aligned} Q_4(x_4) &= H \sin \alpha - R_B \cos \alpha + qx_4 \cos \alpha = \\ &= 105.36 \cdot 0.819 - 397.5 \cdot 0.574 + 40x_4 \cdot 0.574 = -265.076 + 32.76x_4; \\ Q_4(0) &= -265.076 \text{ кН}; Q_4(3.2) = -160.244 \text{ кН}; \end{aligned}$$

$$\sum M_S = 0; M_4 - q \frac{x_4^2}{2} - Hy_4 + R_B x_4 = 0;$$

$$\begin{aligned} M_4(x_4, y_4) &= q \frac{x_4^2}{2} + Hy_4 - R_B x_4 = 40 \frac{x_4^2}{2} + 105.36y_4 - 397.5x_4; \\ M_4(0, 5.6) &= 590.016 \text{ кН} \cdot \text{м}; M_4(3.2, 7.84) = -241.178 \text{ кН} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

Ділянка 5 ($x_5 = 0$; $0 \leq y_3 \leq 5.6$ м)

$$\sum F_y = 0; N_5 + R_B = 0 \rightarrow N_5 = -R_B = -397.5 \text{ кН};$$

$$\sum F_x = 0; Q_5 - H = 0 \rightarrow Q_5 = H = 105.36 \text{ кН};$$

$$\sum M_S = 0; M_5 - Hy_5 = 0;$$

$$M_5(y_5) = Hy_5; M_5(5.6) = 105.36 \cdot 5.6 = 590.016 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

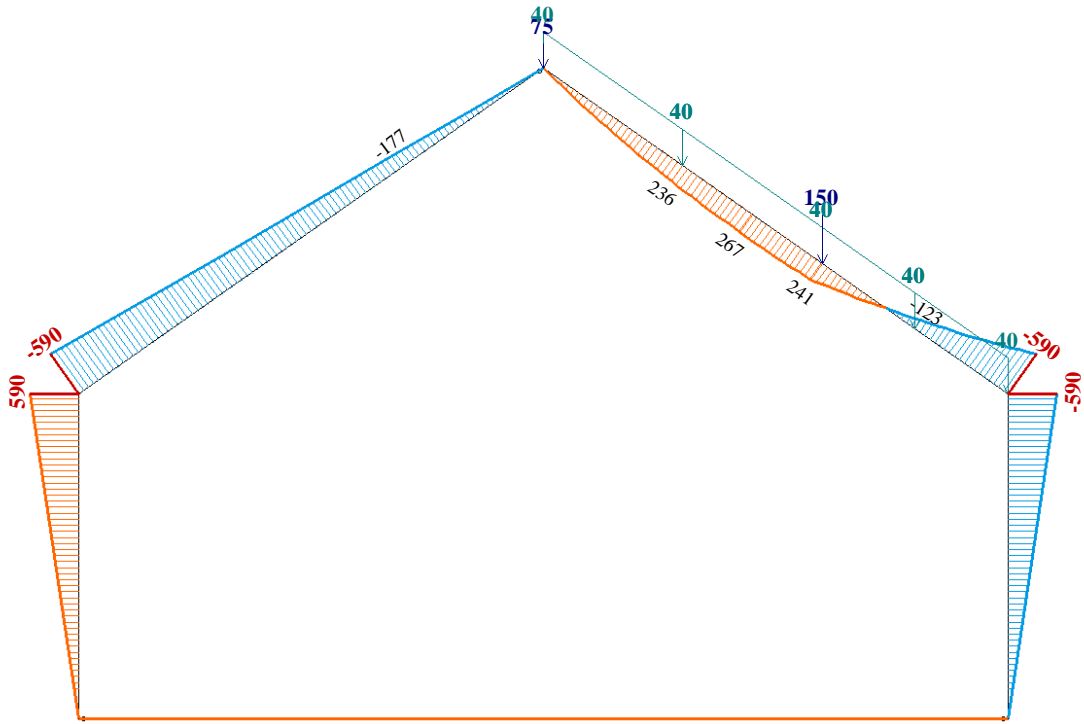


Рисунок В.5. Епюра згинаючих моментів

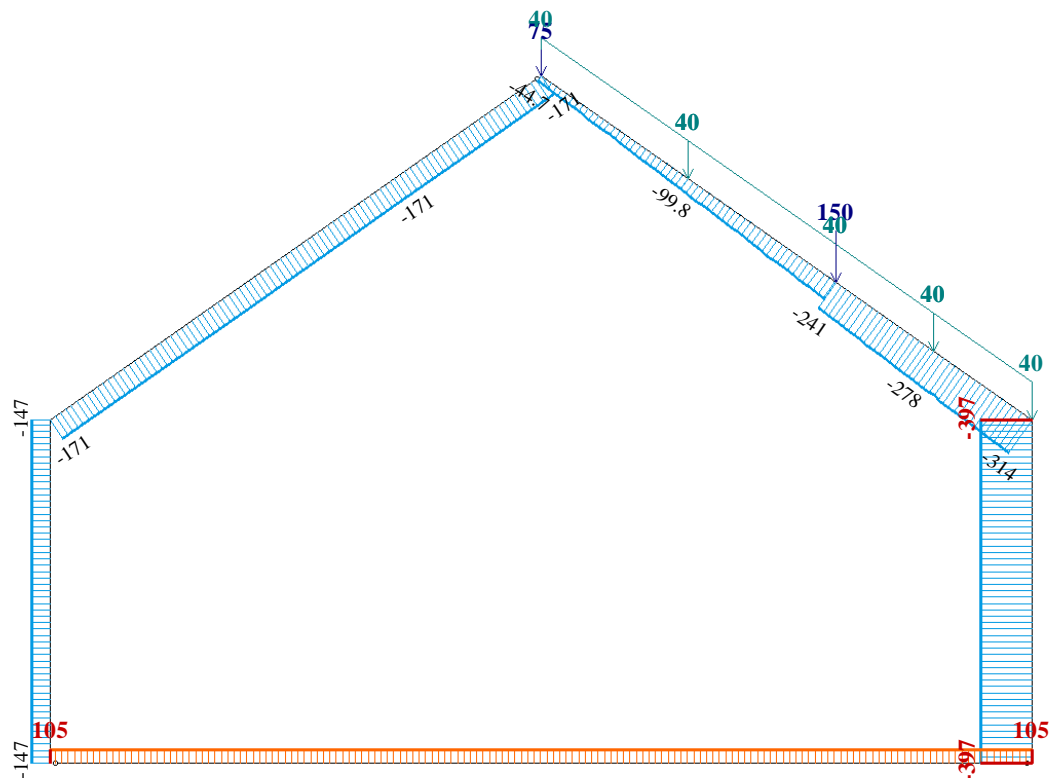


Рисунок В.5. Епюра поздовжніх зусиль

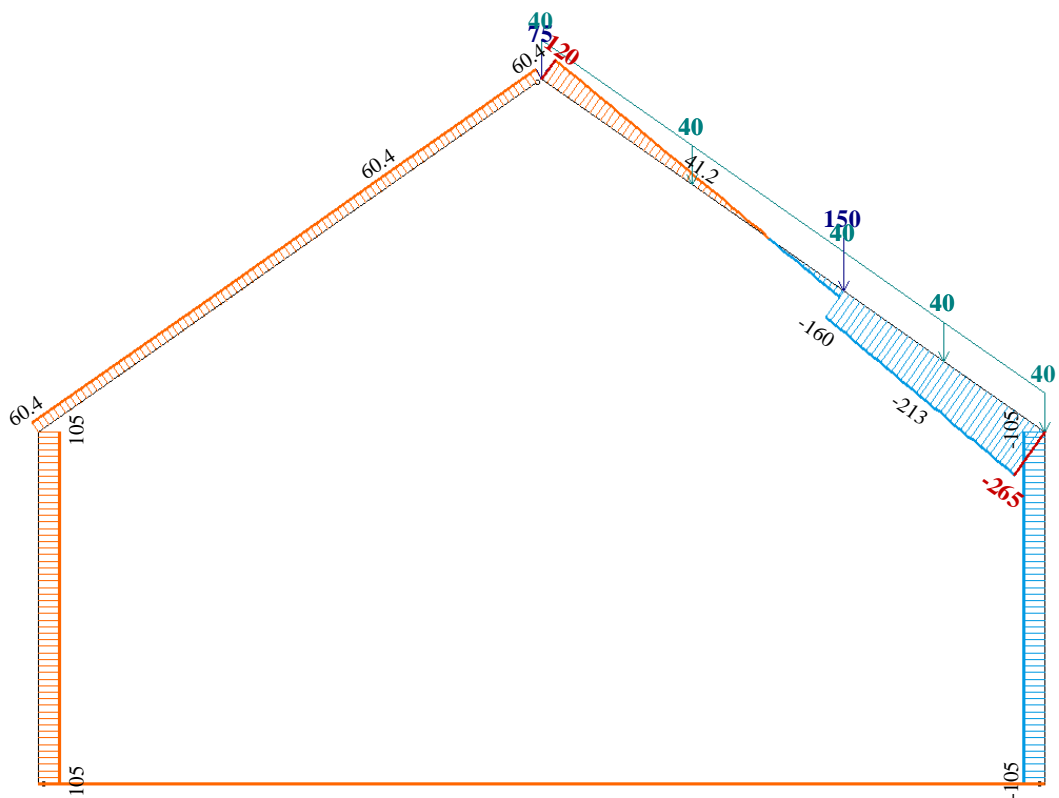


Рисунок В.5. Епюра поперечних зусиль

ДОДАТОК Г

РГР №4. ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕМІЩЕНЬ В СТАТИЧНО ВИЗНАЧЕНИХ СИСТЕМАХ ВІД ПОСТІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Умова завдання

Для схеми обчислити прогин і кут повороту поперечного перерізу на вільному кінці консолі, використовуючи інтеграл Мора або спосіб Верещагіна.

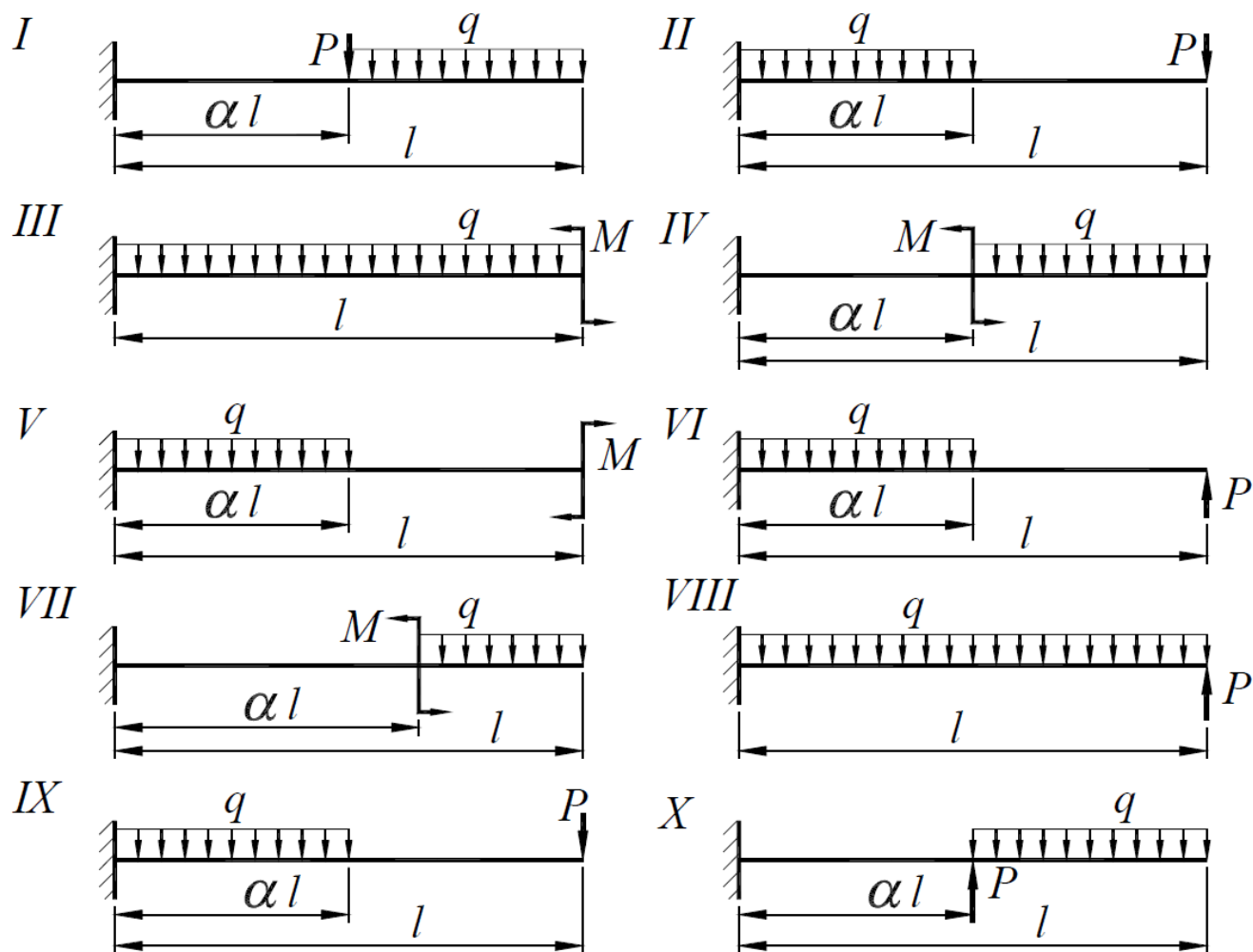


Рисунок Г.1. Розрахункова схема

Таблиця Г.1

Вихідні дані до задачі

№ рядка	№ схеми	l , м	α	P , кН	M , кН·м	q , кН/м
1	I	4	0.3	40	10	10
2	II	5	0.4	30	20	12
3	IV	3	0.2	20	30	14
4	VI	6	0.4	30	40	15
5	VII	4	0.2	50	30	10
6	IX	5	0.4	60	20	8

№ рядка	№ схеми	l , м	a	P , кН	M , кН·м	q , кН/м
7	X	3	0.2	30	40	12
8	III	4	0.3	40	50	16
9	VIII	6	0.4	50	30	20
0	V	5	0.3	30	40	15
	e	∂	z	∂	∂	z

Приклад

Для заданої балки, визначити прогин точки С на кінці консолі. Прийняти $I_x = 1420 \text{ см}^4$, $E = 2 \times 10^5 \text{ МПа}$

1. Складаємо для балки рівняння рівноваги і визначаємо опорні реакції:

$$\sum M_A = 0; F \cdot 1 - q \cdot 4 \cdot 2 + R_B \cdot 4 = 0;$$

$$\sum M_B = 0; F \cdot 5 + q \cdot 4 \cdot 2 - R_A \cdot 4 = 0.$$

$$R_A = 85 \text{ кН}; R_B = 55 \text{ кН}$$

Перевірка:

$$R_A + R_B - F - q \cdot 4 = -85 + 55 - 20 - 30 \cdot 4 = 0$$

2. Будуємо вантажну епюру згинаючих моментів M_F .

Ділянка СА ($0 \leq z_1 \leq 1$):

$$F \cdot z_1 + M_1 = 0; M_1(z_1) = -F \cdot z_1; M_1(0) = 0; M_1(1) = -20 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Ділянка АВ ($0 \leq z_2 \leq 4$):

Визначаємо абсцису z_{\max} де діє максимальний згинаючий момент на ділянці:

$$\sum F_y = 0; -F + R_A - q \cdot z_2 - Q_2 = 0;$$

$$Q_2(z_2) = -F + R_A - q \cdot z_2; Q_2(z_2) = 0 \rightarrow z_{\max}$$

$$z_{\max} = \frac{-F + R_A}{q} = 2.167 \text{ м}$$

$$\sum M_2 = 0; F(1 + z_2) - R_A \cdot z_2 + q \cdot \frac{z_2^2}{2} + M_2 = 0;$$

$$M_2(z_2) = -F(1 + z_2) + R_A \cdot z_2 - q \cdot \frac{z_2^2}{2};$$

$$M_2(0) = -F(1 + 0) + R_A \cdot 0 - q \cdot \frac{0^2}{2} = -20 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_2(2.167) = -F(1 + 2.167) + R_A \cdot 2.167 - q \cdot \frac{2.167^2}{2} = 50.417 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_2(4) = -F(1 + 4) + R_A \cdot 4 - q \cdot \frac{4^2}{2} = 0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Тепер аналогічно складаємо аналітичні вирази для одиничного навантаження $P = 1$ прикладеного в точці С де необхідно визначити прогин:

$$\bar{M}_1(z_1) = -\bar{F}z_1 = -z_1; \bar{M}_2(z_2) = -\bar{F}(1+z_2) + \bar{R}_A z_2 = -(1+z_2) + \frac{l_{CA} + l_{AB}}{l_{CA}} z_2$$

Інтеграл Максвела-Мора матиме вигляд:

$$\Delta_C = \int_0^1 \frac{M_1 \bar{M}_1}{EI_x} + \int_0^4 \frac{M_2 \bar{M}_2}{EI_x}$$

Обчислення його виконаємо шляхом перемноження епюр по правилу Верещагіна:

$$\begin{aligned} \Delta_B &= \frac{1}{EI_x} (M_F \bar{M}_C) = \frac{1}{EI_x} \left(\frac{1}{2} \cdot 1 \cdot -20 \cdot \frac{2}{3} \cdot -1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{30 \cdot 4^2}{8} \cdot 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot -1 + \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot -20 \cdot \frac{2}{3} \cdot -1 \right) = \\ &= -\frac{46.7 \text{ [кН} \cdot \text{м}^3]}{EI_x} = -\frac{46.667 \cdot 10^{12}}{2 \cdot 10^5 \cdot 1420 \cdot 10^4} = -16.432 \text{ мм} \end{aligned}$$

Знак «мінус», отриманий у розрахунку, вказує, що кінець консолі отримає переміщення у напрямку, протилежному заданому напрямку одиничної сили.

При перемноженні епюр складові в дужках мають розмірність $[\text{кН} \cdot \text{м}^3]$. При переведенні одиниць $\text{кН} \cdot \text{м}^3 = 10^{12} \text{ Н} \cdot \text{мм}^3$, тому результат у чисельнику слід помножити на 10^{12} .

Для визначення кута повороту знову розглядаємо балку без зовнішнього навантаження, але тепер в точці С прикладаємо одиничний момент $m = 1$:

$$\bar{M}_1 = \bar{m} = 1; \bar{M}_2(z_2) = \bar{m} - \bar{R}_A z_2 = 1 - \frac{1}{4} z_2$$

Інтеграл Максвела-Мора матиме вигляд:

$$\theta_C = \int_0^1 \frac{M_1 \bar{M}_1}{EI_x} + \int_0^4 \frac{M_2 \bar{M}_2}{EI_x}$$

Який обчислимо графоаналітично:

$$\begin{aligned} \Delta_B &= \frac{1}{EI_x} (M_F \bar{M}_C) = \frac{1}{EI_x} \left(\frac{1}{2} \cdot 1 \cdot -20 \cdot 1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{30 \cdot 4^2}{8} \cdot 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 + \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot -20 \cdot \frac{2}{3} \cdot 1 \right) = \\ &= -\frac{46.7 \text{ [кН} \cdot \text{м}^3]}{EI_x} = -\frac{43.333 \cdot 10^9}{2 \cdot 10^5 \cdot 1420 \cdot 10^4} \cdot 10^3 = 15.258 \text{ рад} \cdot 10^3 \end{aligned}$$

Знак «плюс», означає, що переріз С повертається по напрямку дії одиничного моменту. При перемноженні епюр, в цьому випадку, складові в дужках мають розмірність $[\text{кН} \cdot \text{м}^2]$. При переведенні одиниць $\text{кН} \cdot \text{м}^2 = 10^9 \text{ Н} \cdot \text{мм}^2$, тому результат у чисельнику слід помножити на 10^9 . Отримане значення в радіанах збільшуємо у 10^3 разів.

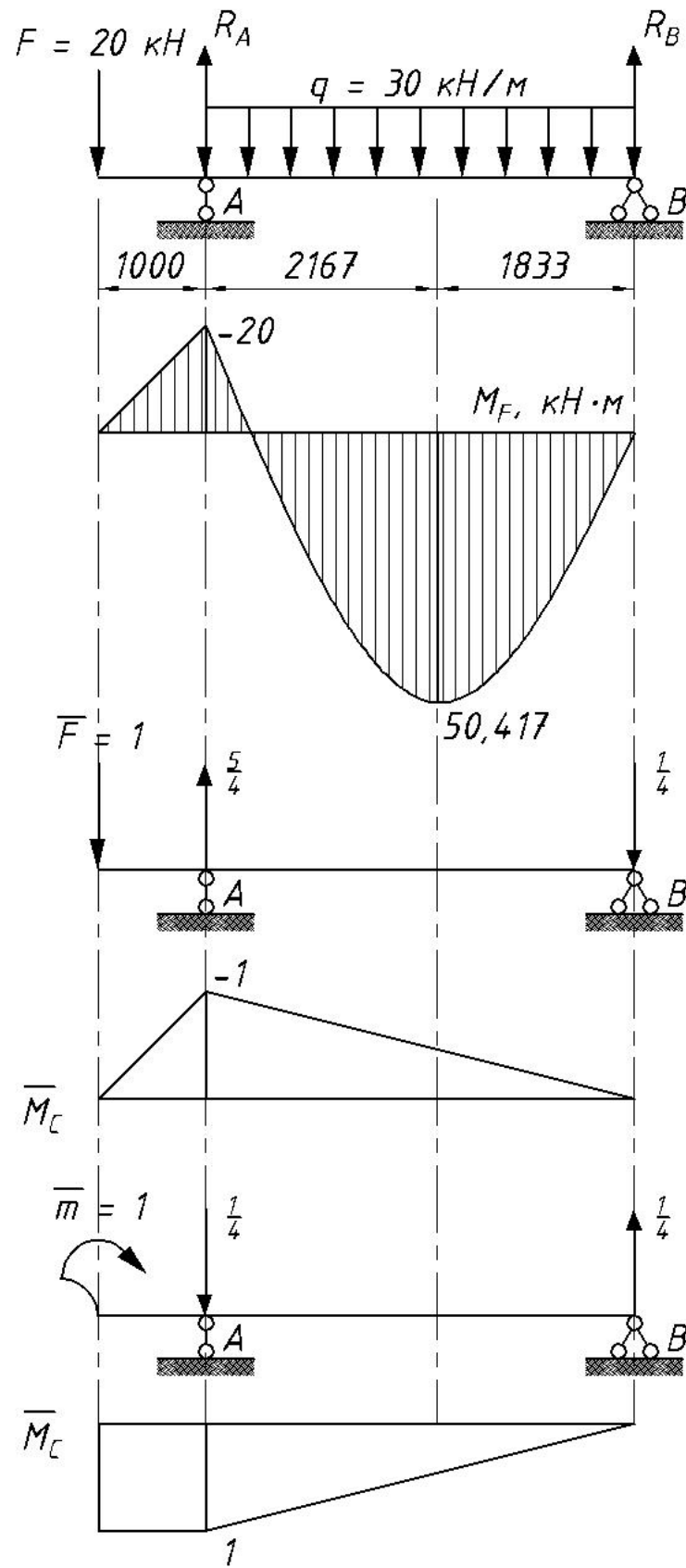


Рисунок Г.2. Розрахункова схема

ДОДАТОК Д

ЗРАЗОК ЕКЗАМЕНАЦІЙНОГО БІЛЕТА

Шаблон (версія 01)

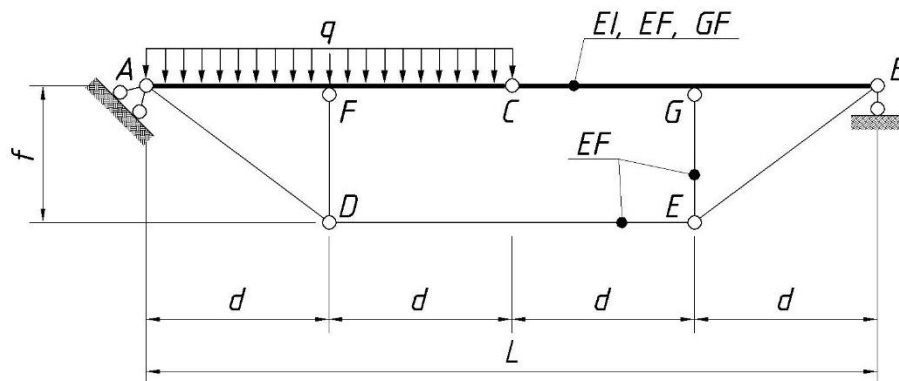
Затверджений наказом ректора
СНУ ім. В. Даля від 10.07.2019 № 199/17

Освітній ступінь	Бакалавр
Спеціальність (назва)	192 Будівництво та цивільна інженерія
Спеціалізація (назва)	
Семестр	3
Навчальна дисципліна	Будівельна механіка

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 13

Задача

Відповідно до наведеної нижче схеми комбінованої конструкції, де балка ABC підкріплена шпренгелем та працює на зсув, стиск-розтяг та згин, а стержні шпренгеля працюють на розтяг-стиск, визначити вертикальне переміщення шарніра C (в мм). Модуль зсуву прийняти рівним $G = 0.4E$, коефіцієнт форми поперечного перерізу $\eta = 1.0$. Вихідні дані до задачі та варіанти відповіді наведені нижче.



Вихідні дані до задачі

$q, \text{кН/м}$	$d, \text{м}$	$f, \text{м}$	$E \cdot 10^5, \text{МПа}$	$I, \text{см}^4$	$F, \text{см}^2$
10	4	3	2.00	22500	500

Варіанти відповіді:

a) 39.69 b) 42.35 c) 30.38 d) 32.41 e) 34.96 f) 32.89 g) 37.36 h) 40.36

Теоретичні питання

- Дійсні та можливі переміщення. Теорема про взаємність робіт (теорема Бетті) і взаємність переміщень (теорема Максвелла).
- Розрахунок багатопрогонових шарнірно-консольних балок на нерухоме навантаження. Поверхова схема. Головні і другорядні балки.

Затверджено на засіданні кафедри _____ Будівництва, урбаністики та просторового планування _____

Протокол № ____ від «_____» 20____ року

Завідувач кафедри _____

д.т.н., проф., Татарченко Г.О.

Екзаменатор _____

ст. викл., PhD, Соколенко К.В.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи з дисципліни «Будівельна механіка»

для здобувачів вищої освіти спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія»

(Електронне видання)

Укладачі:

Соколенко Костянтин Валерійович

Техн. Редактор

К. В. Соколенко

Оригінал - макет

К. В. Соколенко

Підписано до друку _____

Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$. Папір типограф. Гарнітура *Times*.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. ____ . Обл.-вид.арк. ____ .

Тираж ____ прим. Вид. № ____ . Замовл. № ____ . Ціна договірна.

Видавництво СНУ ім. Володимира Даля

Адреса видавництва: Україна, 01042, м. Київ, вул. Іоанна Павла II, 17

Телефон: +38 (050) 218 04 78

E-mail: izdat@snu.edu.ua