

АНАЛІЗ ДІЇ МОМЕНТІВ СИЛ НА ЗГИН БАЛОК ПЕРЕКРИТТЯ ЯК ФАКТОР ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі проведено дослідження прикладного значення моменту сили у будівельній практиці. Як приклад розглянуто дію навантаження на балку перекриття, що викликає її згин та створює критичні точки напруження. Для аналізу використано основні положення теоретичної механіки та опору матеріалів, зокрема визначення моментів сил та побудову епюр згинальних моментів. Отримані результати дозволяють оцінити стійкість конструкції та обґрунтувати вибір матеріалів і геометричних параметрів елементів будівлі.

Ключові слова: момент сили, згинальний момент, балка перекриття, епюри моментів, стійкість конструкцій, теоретична механіка, опір матеріалів.

Abstract

This paper investigates the practical significance of moments of force in construction practice. As an example, the paper examines the effect of a load on a floor beam, which causes it to bend and creates critical stress points. The analysis is based on the fundamental principles of theoretical mechanics and material resistance, specifically the determination of moments of force and the construction of bending moment diagrams. The results obtained allow for the assessment of the structure's stability and the justification of the selection of materials and geometric parameters of building elements.

Keywords: moment of force, bending moment, floor beam, bending moment diagrams, structural stability, theoretical mechanics, material resistance.

Актуальність теми полягає в тому, що будь-яка інженерна споруда – будинок, міст чи тунель – має несучі елементи, які сприймають навантаження та забезпечують стійкість конструкції.

Одним із найважливіших таких елементів є балка, що працює переважно на згинання. Саме в процесі її роботи проявляється прикладне значення моменту сили, адже він визначає, як навантаження викликає згин та напруження в конструкції.

В опорі матеріалів закладається фундамент для грамотного проектування: інженер повинен вміти уявити роботу елемента за допомогою розрахункової схеми. Розрахункова схема – спрощене відображення реальної споруди, яке дозволяє вирішувати ключові інженерні завдання: оцінювати міцність, визначати допустимі навантаження, підбирати розміри та матеріали, а також оптимізувати параметри конструкції.

Розрахунки будівельних конструкцій спрямовані на визначення зусиль і деформацій, щоб гарантувати їхню надійність та довговічність. Одним із ключових факторів, що впливають на міцність і стійкість елементів, є момент сили. Надмірні моменти можуть призвести до втрати несучої здатності чи появи небезпечних деформацій, тому їх врахування є обов'язковим при проектуванні балок, колон, рам і перекриттів. Таким чином, поняття моменту сили безпосередньо пов'язане з основною метою розрахунків – забезпеченням експлуатаційних якостей споруд протягом усього терміну служби.

У процесі розрахунку будівельних конструкцій важливим є врахування не лише величини прикладених сил, але й того, як вони діють відносно точки чи осі. Саме це описує поняття моменту сили. Момент сили визначається як добуток сили на її плече — відстань від точки прикладання до осі обертання. Формально він записується у вигляді рівняння:

$$M = F \cdot d,$$

де F – величина сили, а d – перпендикулярна відстань до осі обертання.

Фізично момент сили показує здатність сили викликати обертання або згин тіла. Чим більше плече сили, тим більший її вплив на конструкцію навіть при однаковій величині навантаження. Це пояснює, чому, наприклад, двері легше відчинити за ручку, розташовану далеко від петель, ніж біля них.

У будівельній практиці розрізняють моменти відносно точки та відносно осі. Перші застосовуються при аналізі плоских систем (балки, перекриття), другі — при розрахунках просторових конструкцій (рами, колони). Важливо також враховувати знак моменту: додатний чи від'ємний, що визначає напрямок обертання.

Для більш наочного розуміння прикладного значення моменту сили у будівельній практиці доцільно розглянути конкретні розрахунки. Одним із найпоширеніших способів аналізу роботи конструкцій є побудова епюр поперечних сил та згинальних моментів, що дозволяє визначити критичні ділянки елементів і оцінити їхню міцність.

До прикладу, для консольної балки (рис. 1.) будуються епюри поперечних сил і згинальних моментів.

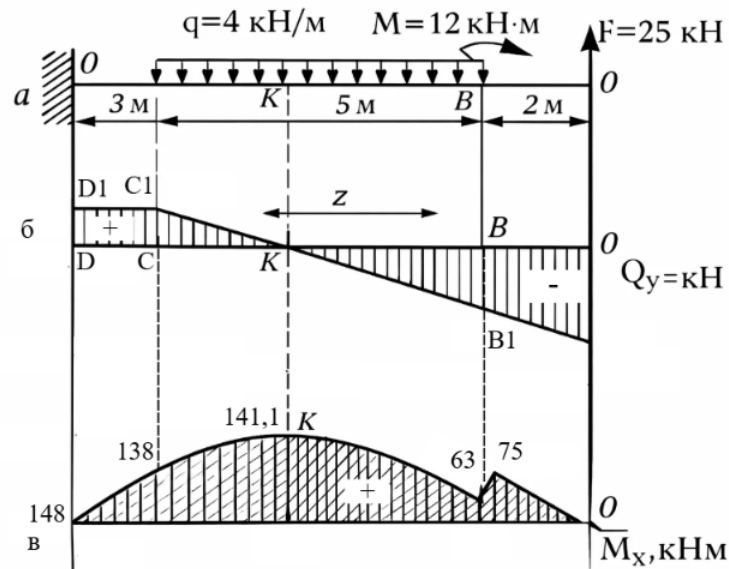


Рис. 1. Консольна балка із зовнішнім навантаженням

1. Для побудови епюр балку ділять на ділянки по характерних точках О, В, С, Д (рис. 1). Побудову починають з вільного кінця балки, що дозволяє не визначати опорні реакції.

2. Визначають величини поперечних сил у характерних перерізах. На вільному кінці балки (в точці О) прикладена зосереджена сила F. Поперечна сила в цій точці зліва дорівнює

$$Q_0^{\text{лів}} = -F = -25 \text{ кН}, \quad Q_B = -25 \text{ кН}.$$

Зосереджена пара сил у точці В не впливає на форму епюри поперечних сил, тому її там не відображають. На ділянці ВС балка під дією рівномірно розподіленого навантаження змінює значення поперечної сили за лінійним законом. Для побудови цієї частини епюри достатньо знати два контрольні значення Q_y : одне вже визначене у точці В, а друге обчислюється для перерізу С як сума всіх сил, прикладених до балки праворуч від цього перерізу.

На ділянці ВС:

$$Q_C = -F + q \cdot CB = -25 + 4 \cdot 5 = -5 \text{ кН}.$$

У перерізі D:

$$Q_D = -F + q \cdot CB = -25 + 4 \cdot 5 = -5 \text{ кН}.$$

На основі отриманих значень будується епюра поперечних сил (рис. 1).

3. Виконується побудова епюри згинальних моментів. На вільному кінці балки $M_{xO} = 0$, оскільки в перерізі О відсутня зосереджена пара сил. На ділянці ОВ згинальний момент M_x змінюється за лінійним законом, адже Q_y залишається сталим. Для визначення моменту в перерізі, що знаходиться безпосередньо праворуч від точки В, використовуються відповідні розрахункові залежності.

$$M_{xB}^{\text{пр}} = F \cdot OB = 25 \cdot 3 = 75 \text{ кН}$$

У точці В на епюрі згинальних моментів спостерігається спад, який відповідає дії прикладеної в цьому перерізі пари сил. З урахуванням прикладеного моменту:

$$M_{xB}^{\text{лів}} = F \cdot OB - M = 75 - 12 = 63 \text{ кН}$$

На відрізьку ВС згинальний момент змінюється за квадратичним законом. Епюра має випуклість догори, тобто спрямована проти прикладеного навантаження. У перерізі С величина моменту визначається як алгебраїчна сума впливів від рівномірно розподіленого навантаження q , прикладеного моменту M та зосередженої сили F .

На наступній ділянці CD момент M_x змінюється вже за лінійним законом. У перерізі D його значення обчислюється з урахуванням усіх прикладених сил і моментів.

$$M_{xC} = F \cdot OC - M - q \cdot CB \cdot \frac{CB}{2} = 25 \cdot 8 - 12 - 4 \cdot 5 \cdot 2.5 = 200 - 12 - 50 = 138 \text{ кН}$$

У точці D:

$$M_{xD} = F \cdot OD - M - q \cdot CB \cdot (CB + DC) = 25 \cdot 10 - 12 - 4 \cdot 5 \cdot (2.5 + 2) = 250 - 12 - 90 = 148 \text{ кН}$$

На ділянці BC епюра поперечних сил Q_y перетинає вісь у точці К, що означає зміну її знаку. Відповідно, епюра згинаючих моментів M_x у цій точці досягає екстремального значення – M_x^{\max} . Щоб визначити координату z перерізу К, де $Q_y = 0$, використовують властивість подібності трикутників DCC_1K та $DKBB_1$. Це дає можливість знайти положення точки К та обчислити максимальний момент у балці.

$$\frac{CC_1}{BB_1} = \frac{CB - KB}{KB}$$

Звідси:

$$KB = \frac{BB_1 \cdot CB}{CC_1 + BB_1}$$

$BB_1 = 25 \text{ кН}$, $CB = 5 \text{ м}$, $CC_1 = 20 \text{ кН}$.

$$KB = \frac{25 \cdot 5}{(-5) + 25} = \frac{125}{20} \approx 6,25 \text{ м}$$

$OK = OB + KB = 3 + 6.25 = 9.25$

Максимальний момент у точці К:

$$M_{xK} = F \cdot OK - M - \frac{q \cdot KB^2}{2}$$

$$M_{xK} = 25 \cdot 9.25 - 12 - \frac{4 \cdot (6.25)^2}{2}$$

$$M_{xK} = 231.25 - 12 - \frac{4 \cdot 39.06}{2}$$

$$M_{xK} = 231.25 - 12 - 78.12 = 141.1 \text{ кН}$$

Виходячи з епюри M_x найбільше значення згинального моменту – в точці К: $M_x \max = 141.1 \text{ кНм}$.

У ході виконаних досліджень було показано, що момент сили безпосередньо впливає на роботу балки та визначає критичні ділянки, де виникають найбільші напруження. Побудова епюр поперечних сил і згинальних моментів дала змогу виявити точку К, у якій момент досягає максимального значення. Це підтверджує практичну важливість поняття моменту сили: інженер, виконуючи розрахунки, може передбачити поведінку конструкції під дією навантажень і своєчасно врахувати можливі ризики.

Таким чином, дослідження доводить, що грамотне використання теоретичних положень механіки є основою для забезпечення надійності та безпеки будівельних споруд.

Висновок

Проведене дослідження підтверджує практичну важливість моменту сили у проектуванні споруд. Його врахування забезпечує не лише точність розрахунків, а й безпеку та довговічність конструкцій. Як наголошується у ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи», правильне визначення внутрішніх силових факторів є основою для створення надійних будівель. Отже, наведений приклад демонструє, що теоретичні положення механіки мають пряме прикладне значення у сучасній інженерній практиці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. [О. Овчаренко, “Будівельна механіка” \(2023\) Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, Аграрний ф-т. – Київ : \[Вид-во Східноукр. нац. ун-та ім. В. Даля\], 2023. – 183 с.](#)

2. [ДБН В.1.2-2:2006 “Навантаження і впливи”](#)
3. [ДБН В.1.2-6:2021 “Основні вимоги до будівель і споруд. Механічний опір та стійкість”](#)
4. [“Опір матеріалів у прикладах та завданнях” \(Дніпровська політехніка, 2021\)](#)
5. [Матисіна Н.В. Конспект лекцій з дисципліни «Технічна механіка» розділ «Опір матеріалів» \[Електронний ресурс\] / Н.В. Матисіна, С.В. Онищенко – Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2020 – 75 с.](#)
6. [Опір матеріалів. Частина I: Навчальний посібник. – Кропивницький: ЦНТУ, 2024. – 165 с.](#)
7. [Dustlab \(YouTube, українською\) – відео “Епюри моментів, сил та прогинів консольної балки. Розрахунок з нуля”.](#)

Паас Анастасія Володимирівна – студентка групи 1БМ-25б, факультет будівництва та цивільної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: anastasiapaas@gmail.com

Кириця Інна Юрївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри опору матеріалів, теоретичної механіки та інженерної графіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: slk-vin@ukr.net, kyrytsya@vntu.edu.ua, тел. +380679843705.

Anastasia Volodymyrivna Paas – Student, Group 1BM-25b, Faculty of Construction and Civil Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: anastasiapaas@gmail.com

Kyrytsya Inna Y. – PhD, Assistant Professor of Materials Resistance, Theoretical Mechanics and Engineering Graphics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: slk-vin@ukr.net, kyrytsya@vntu.edu.ua, tel. +380679843705.