

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГИНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ЗМІННОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ ВІД ДІЇ РІВНОМІРНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Охарактеризовані кривизна та прогини балок змінного поперечного перерізу. Визначено прогини залізобетонних балок змінного поперечного перерізу від дії рівномірно розподіленого по всій довжині навантаження при різних умовах закріплення. Показана розбіжність у визначенні прогинів за допомогою розрахунків програмних комплексів та за допомогою нормативних документів.

Characterized curvature and deflection of beams of variable section. Determined deflections of reinforced concrete beams with a variable cross-section from the action of a uniformly distributed over the entire length of the load at different fixing conditions. It is shown that the difference in determining the deflection via software packages and calculations with the help of regulations.

При розробці архітектурно-планувальних рішень будівель та споруд досить важливим етапом проектування є призначення опалубних (габаритних) розмірів несучих конструкцій. При прольотах до 8,0 м між вертикальними несучими конструкціями в перекриттях у якості балок застосовують елементи постійного по довжині поперечного перерізу, що спрощує їх виготовлення. Однак, при більших прольотах використання у перекриттях балок постійного перерізу не є раціональними з точки зору ваги і витрат матеріалів, а також візуального сприйняття.

Використання залізобетонних балок змінного поперечного перерізу є доцільним у каркасах багатоповерхових гаражів-стоянок. Змінний поперечний переріз балок з ухилами по верхньому поясу в поздовжньому напрямку не більше 1% в таких каркасах дозволяє виконати ухил покриттів підлог, що дасть змогу відвести самоплином з перекриття атмосферні опади, бензин, масла і солі, які можуть потрапляти від автомобілів на покриття.

Використання залізобетонних балок змінного поперечного перерізу в багатопролітних багатоповерхових гаражах-стоянках дає змогу перекивати зальні приміщення прольотом 15...18 м. Для створення суцільної конструкції може влаштовуватись, як шарнірний так і жорсткий вузол кріплення ригелів між собою (рис.1).

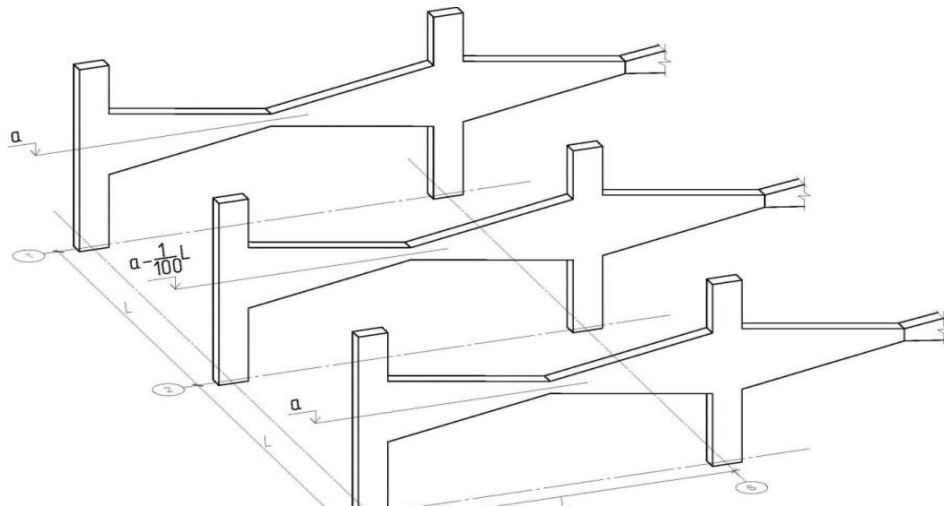


Рис. 1. Фрагмент каркасу гаражів-стоянок з можливим використанням балок змінного поперечного перерізу.

Відповідно до [1] були визначені оптимальні можливі розміри каркасу з використанням балок змінного поперечного перерізу та розташування автомобілів з постійним їх зберіганням в однорядній, двосторонній, прямокутній (під 90 град) розстановці в манежі, так як дана розстановка автомобілів щодо осьової лінії внутрішнього проїзду забезпечує маневр автомобіля при заїзді і виїзді в будь-якому напрямі в рівних умовах, та для однорядної, односторонньої, під кутом до проїзду (під 45 градусів), так як таке розташування автомобілів щодо осьової лінії внутрішнього проїзду забезпечує найменший розмір між колонами каркасу.

Відповідно до [2, 3] були визначені та прийняті постійні та корисні навантаження на залізобетонну балку змінного поперечного перерізу. Для визначення достатності прийнятих розмірів балок був виконаний їх розрахунок за першою та другою групами граничних станів.

Розрахунок балки змінного поперечного перерізу виконувався з використанням програмного комплексу SCAD 21.1 [4], для якого і складалась розрахункова схема.

В програмі SCAD поки не передбачено скінченного елемента який відповідав би геометричним параметрам балки змінного поперечного перерізу. Тому для спрощеного розрахунку, аналізу та порівняння результатів розрахунку, балку змінного поперечного перерізу було змодельовано з набору стержньових елементів (рис. 2). Жорсткісні характеристики та так звані «жорсткі вставки», для отримання відповідного нахилу балки (геометрії), кожному з елементів задавались окремо.

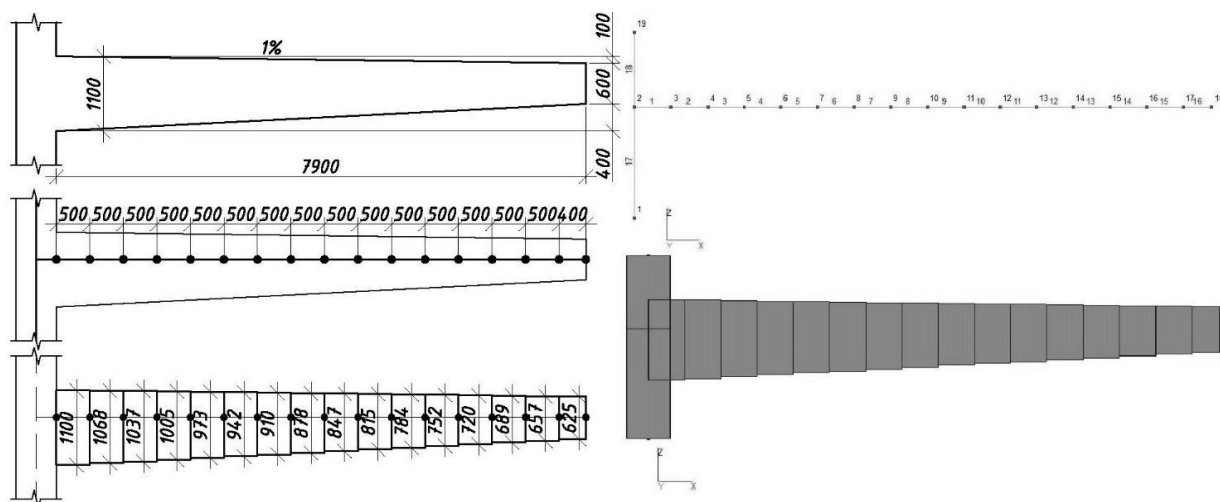


Рис. 2. Моделювання балки змінного поперечного перерізу з стержньових елементів в програмі SCAD.

Для визначення напружено-деформованого стану балки змінного поперечного перерізу в багатопролітному каркасі гаражів-стоянок розглянуто дві найбільш можливі розрахункові схеми (рис. 3).

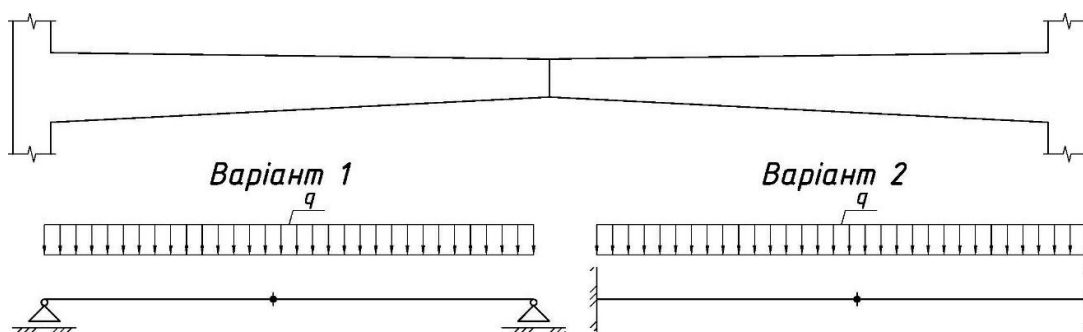


Рис. 3. Можливі розрахункові схеми балки змінного поперечного перерізу: варіант 1 - однопролітна балка з шарнірним опиранням, варіант 2 - однопролітна балка з жорстким защемленням.

Для розрахунку прийнято 2 типи розташування автомобілів та поперечних перерізів рам з балками змінного поперечного перерізу:

- тип 1: однорядна, двостороння, прямокутна (під 90 градусів) розстанка в манежі з прольотом 15,8 м в просвіті між колонами;
- тип 2: однорядна, одностороння, під кутом до проїзду (під 45 градусів) розстанка в манежі з прольотом 8,5 м в просвіті між колонами.

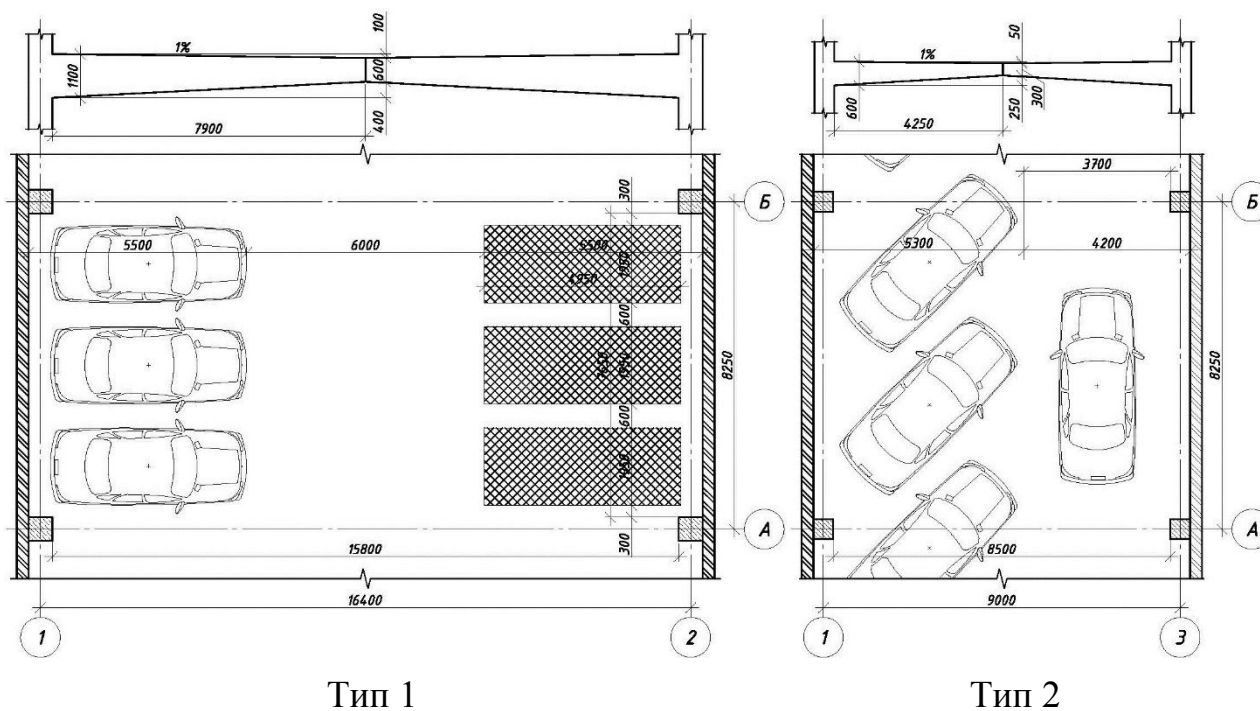


Рис. 3. Прийняті типи поперечників для розрахунку.

Вихідні дані прийняті для розрахунку балки змінного поперечного перерізу зведені до таблиці 1.

Таблиця 1

| Тип | Варіант схеми | Проліт (l), м | Товщина (b), м | Висота (h), м | Навантаження без власної ваги (q), т/м | Бетон | Арматура | Момент (M), тм |
|-----|---------------|---------------|----------------|---------------|--|--------|-----------------|-------------------|
| 1 | 1 | 15,8 | 0,6 | 0,6... 1,1 | 7,95 | C20/25 | A240C, A400C | 283,6... 23,3 |
| | 2 | | | | | | | 61,8... -251,8 |
| 2 | 1 | 8,5 | 0,5 | 0,3... 0,6 | 7,95 | C20/25 | A240C, A400C | 65,1... 10,4 |
| | 2 | | | | | | | 14,5... -58,9 |

Результати розрахунку по визначенню переміщень для представлених варіантів в програмі SCAD приведені в таблиці 2.

Враховуючи, що у програмі розрахунок виконується в лінійній постановці було виконано перевірний ручний розрахунок за різними методиками, які наведені в [5...10].

Деформації (прогини, кути поворотів) залізобетонних елементів визначають по кривизнам, використовуючи формули будівельної механіки.

Основна узагальнена формула визначення прогину обумовленого деформацією згину:

$$f_M = \int_0^1 M(x) \left(\frac{1}{r}\right)_x dx \quad (1)$$

В [5] допускається для балок змінного перерізу виконувати спрощений розрахунок прогинів балки змінного поперечного перерізу, де приймається умовно висота балки постійною з геометричними характеристиками перерізу, який знаходиться на $0,37l_0$ від опори. Результати прогину балки змінного поперечного перерізу за [5] наведені в таблиці 2.

Відповідно до [6...9] для однопролітних статично визначених елементів постійного перерізу, що працюють за балковою схемою, прогин визначають за формулою:

$$f = \left(\frac{1}{r}\right) k_m l^2 \quad (2)$$

Результати прогину балки змінного поперечного перерізу за [6...9] наведені в таблиці 2.

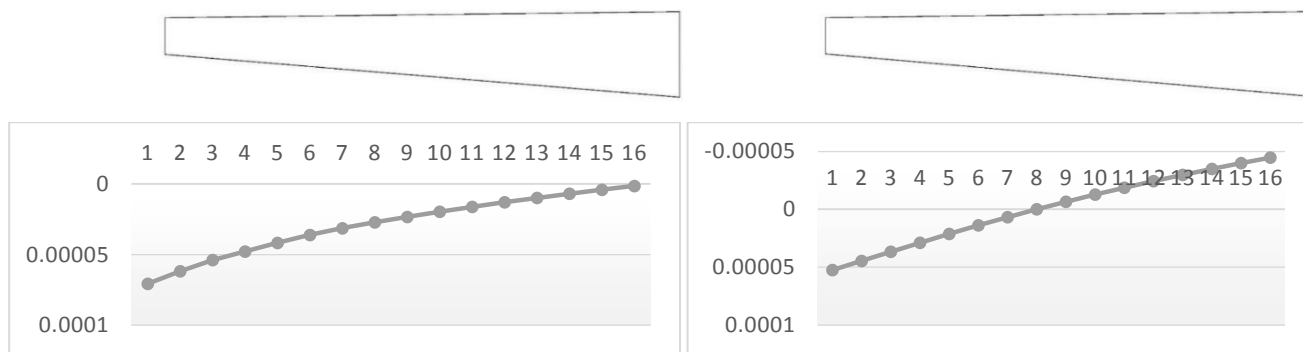
Відповідно до [10] кривизна елементів на ділянках без тріщин в розтягнутій зоні визначається за формулою:

$$\left(\frac{1}{r}\right) = \frac{M\varphi_{b2}}{\varphi_{b1}E_bI_{red}} \quad (3)$$

Відповідно до [10] кривизна елементів на ділянках з тріщинами в розтягнутій зоні визначається за формулою:

$$\left(\frac{1}{r}\right) = \frac{M_s}{h_0 z} \left[\frac{\psi_s}{E_s A_{sp} + E_s A_s} + \frac{\psi_b}{(\varphi_f + \xi) b h_0 E_b \nu_b} \right] - \frac{N_{tot} \psi_s}{h_0 (E_s A_{sp} + E_s A_s)} \quad (4)$$

Результати розрахунку для половини балки змінного поперечного перерізу з виникненням тріщин та з введенням однакової арматури у всіх елементах в верхній та нижній зонах за методикою наведеною в [10] відображені в таблиці 2 та на графіках кривизни.



Кривизна варіанту 1

Кривизна варіанту 2

Для перевірки отриманих даних виконано перемножування отриманих епюр кривизни відповідно до [7] та одиничної епюри. Результати отриманих даних наведені в таблиці 2.

Зведені результати розрахунку прогину балки змінного поперечного перерізу за різними методиками наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

| Тип | Характеристика | Методика розрахунку | Варіант 1 | Варіант 2 |
|-----|--|---------------------|-----------|-----------|
| 1 | Прогин в середині прольоту (f), мм | SCAD | 118,16 | 14,61 |
| | | За [5] | 108,54 | 99,83 |
| | | За [6...9] | 183,96 | 246,96 |
| | | За [10] | 126,9 | 49,45 |
| | | Перемноження епюр | 108,36 | 45,21 |
| 2 | Прогин в середині прольоту (f), мм | SCAD | 64,33 | 8,06 |
| | | За [5] | 53,88 | 24,53 |
| | | За [6...9] | 130,97 | 145,64 |
| | | За [10] | 80,7 | 25,44 |
| | | Перемноження епюр | 64,96 | 22,06 |

Різниця між отриманими даними переміщень в SCAD та прогинами за наведеними методиками в [5...10] в «коефіцієнтному» співвідношенні, де за 1 були прийняті значення переміщень отриманих при розрахунку в SCAD, наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

| Тип | Характеристика | Методика розрахунку | Варіант 1 | Варіант 2 |
|-----|--|---------------------|-----------|-----------|
| 1 | Переміщення в середині прольоту (Δ), мм | SCAD | 1 | 1 |
| | Прогин в середині прольоту (f), мм | За [5] | 0,9 | 6,8 |
| | | За [6...9] | 1,6 | 16,9 |
| | | За [10] | 1,1 | 3,4 |
| | | Перемноження епюр | 0,9 | 3,1 |
| 2 | Переміщення в середині прольоту (Δ), мм | SCAD | 1 | 1 |
| | Прогин в середині прольоту (f), мм | За [5] | 0,8 | 3,0 |
| | | За [6...9] | 2,0 | 18,1 |
| | | За [10] | 1,3 | 3,2 |
| | | Перемноження епюр | 1,0 | 2,7 |

Аналізуючи отримані результати розрахунку прогинів балки змінного перерізу за різними методиками можна зробити наступні висновки:

- 1) розрахунок прогину за методиками, наведеними в [5...9], можна виконувати лише для попереднього спрощеного приблизного результату, оскільки наведені там формули стосуються лише балок постійного поперечного перерізу.

- 2) безпосередній вплив на кривизну балок змінного поперечного перерізу вносить розташування та прийнята площа арматури в поперечному перерізі балки. Тобто, чим більша площа необхідної за розрахунком арматури, тим меншими виходять значення кривизни та відповідно прогинів балки змінного поперечного перерізу.
- 3) прогин балок змінного поперечного перерізу рекомендується виконувати за методикою, наведеною в [10], або за формулами будівельної механіки, тобто перемножуванням епюр кривизн (для ділянок з і без тріщин) з одиничними епюрами моментів.
- 4) для отримання фактичного значення прогину балок змінного поперечного перерізу переміщення, отримані у програмі SCAD для шарнірного варіанту опирання балок змінного поперечного перерізу можна залишати без змін, а для жорсткого варіанту опирання, необхідно домножити на умовний коефіцієнт $[k_{d1}] = 3$.

Література

1. ДБН В.2.3-15-2007. Споруди транспорту. Автостоянки і гаражі для легкових автомобілів. – К.: Мінбуд України 2007р. – 37 с.
2. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. Київ. – 2006 р.
3. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. К. 2009.
4. SCAD Office. Версія 21.1. Вычислительный комплекс SCAD++ / В.С.Карпиловский, Э.З.Криксунов, А.А.Маляренко, А.В.Перельмутер, М.А.Перельмутер, - М.: издательство «СКАД СОФТ», 2015,-808 с.
5. Железобетонные конструкции: Курсовое и дипломное проектирование / Под ред, А. Я. Барашикова. — К.: Вита шк. Головное изд-во, 1987.— 416 с.
6. Практичний розрахунок елементів залізобетонних конструкцій за ДБН В.2.6-98:2009 у порівнянні з розрахунками за СНиП 2.03.01-84* і EN 1992-1-1 (Eurocode 2) / В.М. Бабаєв, А.М Бамбура О.М. Пустовойтова та ін.; за заг. ред. В.С. Шмуклера. Харків: Золоті сторінки, 2015. — 208 с.
7. BS 8110-1:1997 Structural use of concrete — Part 1: Code of practice for design and construction. - 172 с.
8. BS 8110-2:1985 Structural use of concrete — Part 2: Code of practice for special circumstances. - 68 с.
9. BS 8110-2:1985 Structural use of concrete — Part 3: Design charts for singly reinforced beams, doubly reinforced beams and rectangular columns. - 64 с.
10. Проектирование железобетонных конструкций: Справоч. пособие / А.Б.Гольшев, В.Я.Бачинский, В.П.Полищук и др.; Под ред. А.Б.Гольшева. — К.: Будівельник, 1985. — 496 с.