

РОЗРАХУНОК НЕРОЗРІЗНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПОВНИХ ДІАГРАМ ДЕФОРМАЦІЙ МАТЕРІАЛІВ

Яременко О.Ф. (д.т.н., проф.), **Будзул А.Я.**(асистент), **Шиляєв О.С.** (магістр).

Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна

В статті описується застосування повних діаграм деформацій матеріалів та діаграм $M-\alpha$ (момент-кривизна) для розрахунку нерозрізних залізобетонних двопролітних балок та наводяться результати розрахунку.

Дослідами встановлено, що до появи перших тріщин робота балок добре відповідає розрахунку пружної системи. З появою тріщин відбувається значний перерозподіл зусиль, який виражається у зміні відношення опорних згинальних моментів до прогонових у два рази та більше.

Обробка результатів досліджень та проведені розрахунки показали, що при внесенні в розрахункові формули визначених дослідями жорсткостей, змінних за довжиною балки, можна отримати досить точну картину розподілу зусиль. Для практичних цілей замість дослідних значень жорсткості використовують теоретичні. Повторний розрахунок ведеться з врахуванням отриманої змінної жорсткості, що дозволяє отримати нову епюру моментів, за якою можна знову проводити розрахунок. Фактично другий підрахунок дає добру збіжність з даними дослідів і подальші розрахунки являються уточнюючими.

Метою виконання роботи на дану тему було виявити різні стадії перерозподілу зусиль, що відбуваються в нерозрізних залізобетонних балках від моменту їх завантаження до вичерпання несучої здатності, запропонувати методи та прийоми розрахунку таких конструкцій з використанням повних діаграм деформацій матеріалів та створити відповідні програми для ПЕОМ.

Відповідно до досліджень, проведених В.А. Заваліним, М.В. Штейнбергом під керівництвом І.Є. Прокоповича та за участі Є.Н. Щербакова [1], та за даними будівельних норм [2], жорсткість перетину залізобетонних конструкцій на ділянках без тріщин визначається за формулою:

$$B = E_b I_{red} v(t)$$

$$v(t) = \frac{k}{1 + k\varphi} ,$$

де: $E_b I_{red}$ - жорсткість приведеного суцільного перетину елемента;
 $k = 0.85$ - коефіцієнт, що враховує вплив непружних деформацій бетону при короткочасному навантаженні;
 φ - характеристика повзучості бетону.

Жорсткість перетинів балок на ділянках з тріщинами визначається відповідно до додатку 13 [2] та за формулою, наведеною у [1]:

$$B_q = E_b A_b h_0^2 \sqrt{\mu \alpha} K^*(\infty) ,$$

де: E_b - модуль пружності бетону;
 A_b - площа поперечного перерізу балки;
 h_0 - розрахункова висота перерізу;
 $\mu = \frac{A_s}{A_b}$ - коефіцієнт армування перерізу;

$\alpha = \frac{E_s}{E_b}$ - відношення модулів пружності арматурної сталі і бетону.

Коефіцієнт K^* наближено, з похибкою, що не перевищує допустимої для інженерних розрахунків, можна знайти на основі наступних формул:

$$K^*(\infty) = \frac{K}{1 + \varphi(\infty)(\beta_1 + \beta_2 \zeta^2)}$$
$$\zeta = \frac{M_{crc}}{M_i},$$

де коефіцієнт K відноситься до випадку короткочасної дії навантаження [$\varphi(\infty) = 0$] пов'язаний з рівнем навантаження:

$$K = b_1 + b_2 \zeta^2$$

M_{crc} - момент тріщиноутворення для даного перерізу;

M_i - згинальний момент у перерізі від заданого навантаження.

Визначення поточної жорсткості за діаграмою деформування виконується наступним чином:

Для $\alpha_i < \alpha_1$: $B_i = B = k E_b I_{red}$.

Для $\alpha_1 < \alpha_i < \alpha_2$: $B_i = M_{crc} / \alpha_i$.

Для $\alpha_2 < \alpha_i < \alpha_3$: $tg \alpha = \frac{M_u - M_{crc}}{\alpha_3 - \alpha_2}$, $\alpha_0 = \frac{M_{crc}}{tg \alpha} - \alpha_2$, $\overline{\alpha}_i = \alpha_i + \alpha_0$, $M_i = \overline{\alpha}_i tg \alpha$,

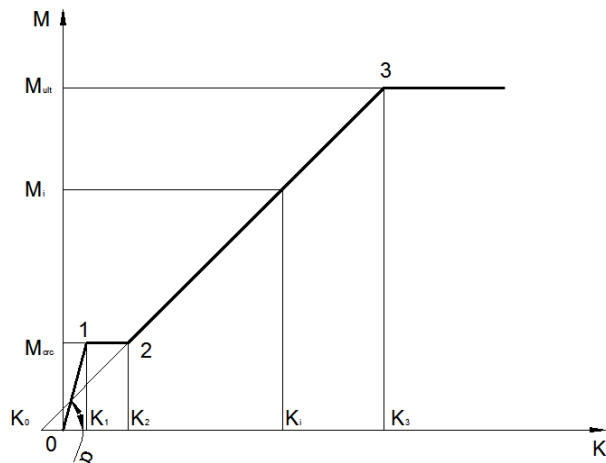
$$B_i = \frac{M_i}{\alpha_i}.$$

Для $\alpha_i > \alpha_3$: $B_i = M_u / \alpha_i$.

Алгоритм розрахунку для обох випадків аналогічний і полягає в наступному:

1. Побудова діаграми деформацій матеріалів за даними робіт [3, 4].
2. Розрахунок балки в пружній постановці методом сил.
3. Визначення прогинів конструкції.
4. Визначення кривизн.
5. Визначення жорсткостей за діаграмою деформацій матеріалів за кривизнами.
6. Розрахунок балки методом сил з врахуванням отриманих жорсткостей.
7. Повтор розрахунку пп. 3-6 до збігання згинальних моментів.
8. Виведення результатів.

Для побудови діаграми необхідні наступні дані: геометричні характеристики перерізу, модуль пружності бетону, кубикова міцність бетону, модуль пружності арматури, міцність арматури на розтяг, діаметр та кількість арматури. За вищенаведеними формулами визначаються жорсткості в моменти початку та завершення тріщиноутворення, руйнування. Кривизна в даній точці визначається відношенням моменту до жорсткості.



Мал. 1. Діаграма деформації залізобетону балки момент M – кривизна α .

Розрахунок методом сил проводиться з врахуванням змінної жорсткості, що залежить від армування конструкції та рівня внутрішніх зусиль. Розрахунок прогинів конструкції проводиться за допомогою інтеграла Мора [5].

Кривизни у кожному конкретному перерізі визначаються як друга похідна від прогину за формулою:

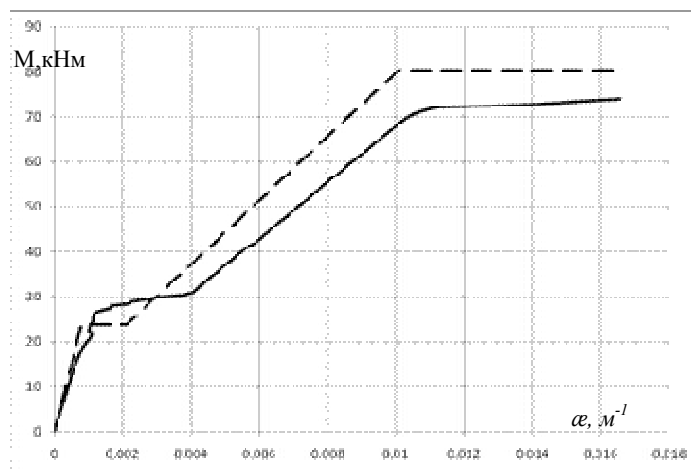
$$\alpha_i = \left(\frac{d^2 w}{dx^2} \right)_i = \frac{w_{i-1} - 2w_i + w_{i+1}}{\Delta^2}$$

де: α_i - кривизна в даному перерізі;

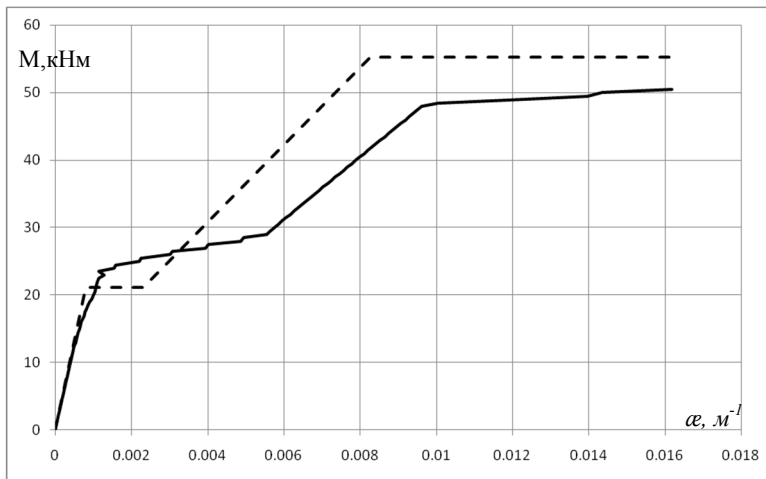
w_i - прогин в даному перерізі;

Δ - крок розбиття балки на перерізи.

Співставлення діаграм, побудованих з використанням наближеного методу визначення жорсткостей та повних діаграм деформацій матеріалів наведено на мал. 2, 3.



Мал. 2. Діаграми момент-кривизна для прогонових перерізів: побудована з використанням наближених формул обчислення жорсткості (штрихова) та із застосуванням повних діаграм деформацій матеріалів (суцільна)

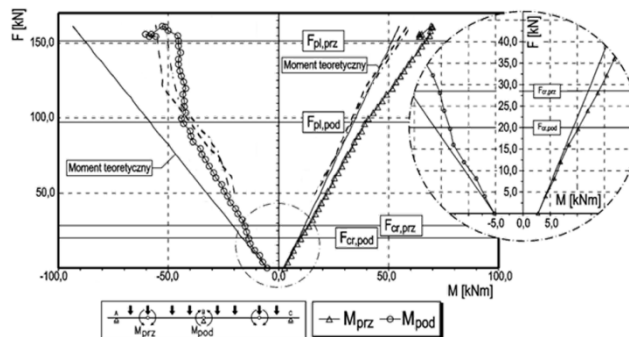


Мал. 3. Діаграми момент-кривизна для опорних перерізів: побудована з використанням наближених формул обчислення жорсткості (штрихова) та із застосуванням повних діаграм деформацій матеріалів (суцільна)

Після отримання жорсткостей повторно проводиться розрахунок балки методом сил з врахуванням зміни жорсткості за довжиною внаслідок деформування конструкції. Цей цикл поступових наближень проводиться доти, поки не відбудеться збіг моментів із заданою точністю.

Результати розрахунків в нелінійній постановці значно відрізняються від розрахунків в пружній постановці та наближаються до даних експериментальних досліджень. Кількість ітерацій, при яких досягалась необхідна точність обчислення згинальних моментів коливалася в залежності від початкової кривизни і складала від 1 при роботі в пружній стадії до 18 на початку стадії руйнування. Максимальні кількості ітерацій припали на стадію тріщиноутворення (до 13) та на початок стадії руйнування (до 18). Так, різниця між розрахунковим моментом в опорному перерізі, обчисленому з допомогою діаграми деформацій матеріалів, та моментом, обчисленим у пружній постановці, складає до 30%.

Різниця між даними обчислень згинального моменту в опорному перерізі з застосування повних діаграм деформацій матеріалів та даними дослідів Р. Ясинського [6] складає близько 5%. Значення моментів тріщиноутворення та руйнуючих моментів розходяться не більше, ніж на 3%.



Мал. 4. Порівняльні результати статичного розрахунку (суцільні лінії), експериментальних даних (кола та трикутники), розрахунку з застосуванням діаграм деформування $M-\alpha$ (штрихова), розрахунку з застосуванням повних діаграм деформацій (штрихпунктирна)

ВИСНОВКИ

Розрахунковий графік опорних згинальних моментів та навантаження, обчислений із застосуванням повних діаграм деформацій матеріалів більше відповідає реальній роботі конструкції, ніж пружний розрахунок. Розроблено наближену методику нелінійного розрахунку двопрогнових нерозрізних балок та створено програму для ПЕОМ на її основі. Методика нелінійного розрахунку потребує подальшого розвитку.

SUMMARY

In article application of full diagrams of deformations of materials and diagrams $M-\varphi$ (moment-curvature) for calculation of not cutting ferro-concrete two-flying beams is described and results of calculation are resulted.

ЛІТЕРАТУРА

1. Прокопович И.Е., Зедгенидзе В.А. Прикладная теория ползучести – М.: Стройиздат, 1980.
2. СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы» – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985.
3. Школа Ю.О. Несущая способность и деформативность железобетонных стержневых элементов при сложном напряженном состоянии. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – Одесса: ОГАСА, 2002.
4. Яременко Н.О. Напружено-деформований стан та несуча здатність залізобетонних балочних ростверків. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук – Одеса: ОДАБА, 2008.
5. Анохин Н.Н. Строительная механика в примерах и задачах. Часть II – М.: АСВ, 2007.
6. Jasinski R., Ortega H., Piekarczyk A., Starosolski W. Zbrojenie belek stala o duzej i malej ciagliwosci – badania porownawcze – Piecdziesiata pierwsza konferencja naukowa komitetu inzynierii ladowej i wodnej PAN i komitetu nauki PZITB “Krynica 2005”, Tom III, Gdansk: WiB, 2005