

Пішійко О.М., Нікіфорова Т.Д., Зінкевич О.Г., Токар О.Л. 4. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. – К.: Сталь, 2002. 5. Основные теоретические и расчетные положения. Некоторые рекомендации. Руководство пользователя. Кн. 1. – К.: НИИАСС, 2002. – 147 с. 6. Савицкий Н.В., Зезюков Д.М. Рациональные области применения рамных систем без диафрагм жесткости для строительства многоэтажных и высотных зданий // Строительство, материаловедение, машиностроение. № 47. – Днепропетровск: ПГАСА, 2008. – С. 526–532. 7. Инновации в расчёте плоского сборно-монолитного перекрытия / Н.В. Савицкий, Д.М. Зезюков. – Warsaw: Theoretical Foundations of Civil Engineering. Polish-Ukrainian-Lithuanian Transactions. – 2009. – Vol. 17. – С. 485–488. 8. Особенности армирования главных ригелей плоского сборно-монолитного перекрытия / Н.В. Савицкий, Д.М. Зезюков // Строительство, материаловедение, машиностроение. ПГАСА, 2009. № 50. – С. 458–462. 9. Особенности расчёта напряженно-деформированного состояния ригелей плоского сборно-монолитного перекрытия / Н.В. Савицкий, Д.М. Зезюков. – Минск: Проблемы современного бетона и железобетона // Сб. тр. в 2 ч. Ч.1 // Бетонные и железобетонные конструкции. – Минск: Минсктиппроект, 2009. – С. 361–368.

УДК 624.072.3

О.В. Семко, Д.В. Бібік, А.А. Орліковський

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НОРМАЛЬНОГО ПЕРЕРІЗУ ЗБІРНО-МОНОЛІТНОГО РИГЕЛЯ ЗА ДЕФОРМАЦІЙНИМ МЕТОДОМ

© Семко О.В., Бібік Д.В., Орліковський А.А., 2010

Вдосконалено деформаційний метод розрахунку збірно-монолітних сталезалізобетонних конструкцій. Розроблено універсальний метод числового розрахунку перерізу сталезалізобетонного ригеля, що враховує особливості реальних діаграм $\sigma(\epsilon)$ матеріалів конструкцій. Використовуючи описаний алгоритм, виконано комплекс числових досліджень перерізів таких ригелів.

Ключові слова: збірно-монолітні конструкції, метод розрахунку, деформаційна модель, фізична нелінійність.

The article is about the analysis of composite steel-concrete structures. Universal method of analysis of steel-concrete composite beam, in consideration of the physical nonlinearity is stated in the article.

Keywords: precast and cast-in-situ structure, method of analysis, composite beams, deflected mode.

Постановка проблеми. Розвиток будівельної галузі супроводжується пошуком нових матеріалів та конструкцій, їх поєднань, з метою зменшення матеріалоемності, підвищення несучої здатності конструкцій. Сумісне використання листової сталі та бетону утворює новий вид конструкцій – сталезалізобетон (СЗБ). Одночасне використання бетону та сталі дає змогу отримати кращі показники міцності та жорсткості конструкції, зменшити розміри поперечного перерізу, використати сталевий прокат як незнімну опалубку при бетонуванні. СЗБ конструкції мають істотні переваги при проекту-

ванні та будівництві різних будівель і споруд. Але досі не вирішена проблема напружено-деформованого стану таких конструкцій, вирішення якої дасть змогу оптимізувати кількість арматури, розміри поперечного перерізу та способи армування. Труднощі при проектуванні таких конструкцій змушують використовувати наближені методи розрахунку, які призводять до зайвих витрат матеріалів, а в деяких випадках і до недостатньої надійності конструкцій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Останнім часом все більше дослідників звертається до поглибленого вивчення деформування сталезалізобетонних та залізобетонних конструкцій з використанням діаграми бетону з низхідною гілкою [1, 2, 3]. Під час розрахунків використовують переважно аналітичні залежності $\sigma(\epsilon)$, які з різною точністю дають змогу визначити напружено-деформований стан конструкції.

Формулювання цілі статті. Не розв'язане питання розрахунку збірно-монолітних ригелів з урахуванням стадійності завантаження та різних класів бетонів збірного і монолітного, з використанням дійсних діаграм роботи матеріалів (сталь, арматура, бетон). Актуальним залишається розроблення універсального методу числового розрахунку сталезалізобетонних ригелів з урахуванням з достатньою точністю особливості реальних діаграм $\sigma(\epsilon)$ матеріалів конструкцій.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо суть запропонованого алгоритму визначення НДС розрахункового перерізу СЗБ ригеля, детально описаного в [3, 4] (рис. 1) на всіх етапах навантаження.

Вихідними даними є: геометричні розміри перерізу; діаграми $\sigma(\epsilon)$ матеріалів, які задані таблично; кривина k ; зовнішня поздовжня сила N_{ext} , отримана з рівнянь рівноваги. Потрібно знайти згинальний момент M_{int} , який діє у перерізі, та побудувати епюри відносних деформацій ϵ та напружень σ .

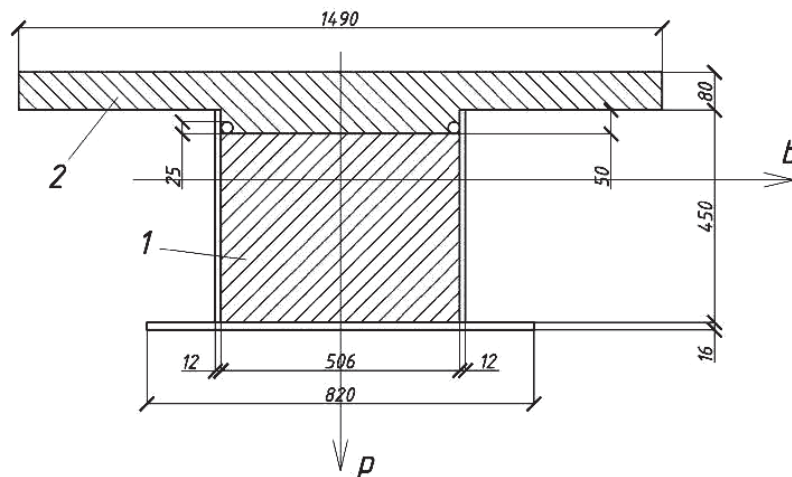


Рис. 1. Тавровий СЗБ переріз ригеля: 1 – збірна; 2 – монолітна частини

Попередньо діаграми апроксимуємо лінійними сплайнами, тобто для кожної пари координат $\sigma_i(\epsilon)_i$ визначасмо відповідний січний модуль пружності E_i . Табличне подання діаграм деформування матеріалів, з яких складається комплексний СЗБ ригель (бетону – з низхідною гілкою; маловуглецевої сталі – з ділянкою текучості та зміцненням; арматури з умовною межею пружності), дає змогу врахувати усі особливості залежності $\sigma(\epsilon)$ та є універсальним. Підвищення точності розрахунку досягається збільшенням точок опису діаграм деформування $\sigma(\epsilon)$, без зміни алгоритму розрахунку. Запропонований алгоритм [4] дає змогу використовувати сплайни ступеня « n », що у окремих випадках зменшує кількість точок опису діаграм $\sigma(\epsilon)$ без зниження точності розрахунку.

Для організації ітераційного процесу використовуємо одне з рівнянь рівноваги

$$N_{ext} = N_{int} . \quad (1)$$

Враховуючи гіпотезу плоских перерізів, можна записати

$$\varepsilon_{\Sigma} = \varepsilon_N + \varepsilon_k, \quad (2)$$

де ε_N – складова деформації від поздовжньої сили, а ε_k – від кривини.

Друга складова у (2) – величина, незмінна на цій ітерації. “Накладання” епюри напружень на розрахунковий переріз для визначення N_{int} виконуємо ітераційним процесом за ε_N .

Внутрішні зусилля, що виникають у комплексному перерізі, яким є сталезалізобетонний елемент, складаються з зусиль, які будуть у сталевій незнімній опалубці, бетоні та арматурі

$$N_{int} = \sum N_{int,j} \quad M_{int} = \sum M_{int,j} . \quad (3)$$

Кожний окремих елемент перерізу (зі сталі, бетону, арматури) розділимо на ділянки по висоті, для кожної з яких визначаємо ΔN_{int} та ΔM_{int} . За границі ділянок приймаємо різку зміну ширини ділянки елемента або ординату, яка визначається за формулою

$$h = (\varepsilon_i - \varepsilon_N) / k, \quad (4)$$

де ε_i – відносна деформація “ i ” ділянки діаграми $\sigma_i(\varepsilon_i)$ окремого матеріалу.

Інтегруючи по висоті перерізу, одержуємо внутрішні зусилля N_{int} та M_{int} .

$$N_{int,j} = \sum_i \left\{ \left[\sigma_i + (\varepsilon_N - \varepsilon_i) \cdot E_i \right] \cdot \int_h b \, dh + k \cdot E_i \cdot \int_h b \, h \, dh \right\}, \quad (5)$$

$$M_{int,j} = \sum_i \left\{ \left[\sigma_i + (\varepsilon_N - \varepsilon_i) \cdot E_i \right] \cdot \int_h b \, h \, dh + k \cdot E_i \cdot \int_{h_2} b \, h^2 \, dh \right\}.$$

Для знаходження нуля функції (1) запропонований алгоритм використовує чергове наближення з двох попередніх даних – один отриманий алгоритмом бісекції, а другий – алгоритмом інтерполяції. Якщо одержані три значення кореня рівняння і вони різні, використовується зворотна квадратична інтерполяція, у протилежному разі – лінійна інтерполяція (метод січних). Якщо нова точка, отримана інтерполяцією, “підходить”, то вибирають її; інакше вибирають точку бісекції. Доцільність одержаного результату визначається знаходженням точки всередині цього інтервалу та тим, що вона не занадто близька до кінців інтервалу. Довжина інтервалу гарантовано зменшується на кожній ітерації, причому швидко зменшується, якщо функція досить гладка.

Один з найкращих сьогоднішніх числовий алгоритм знаходження нуля функції, описаний вище, було винайдено у 60-х роках у Математичному центрі Амстердама. Вперше алгоритм опублікував Деккер [5], а потім покращив Brent [6].

Звичайно, для розроблення ітераційного процесу важливим є точне задавання початкового наближення розв’язку. Аналіз отриманих залежностей $\varepsilon_N(N,k)$ при визначенні внутрішніх зусиль СЗБР показав їх малу чутливість до “точного” задавання початкового ε_N , ітераційний процес швидко сходиться.

Використовуючи описаний алгоритм, виконано комплекс числових досліджень перерізів СЗБР. Як приклад, побудований графік залежності моменту від кривини $M-k$ (рис. 3) для бетонів класу В15, В20, В25 у перерізі СЗБ ригеля таврового перерізу. Епюри напружень та деформацій по висоті перерізу СЗБР для бетону В25 і сталі наведено на рис. 2.

При розрахунках діаграма бетону задавалася з урахуванням розтягнутої частини. Тобто враховувалась розтягнута частина бетону над тріщиною. Алгоритм дає змогу виконувати розрахунок з урахуванням розтягнутого бетону в перерізі між тріщинами.

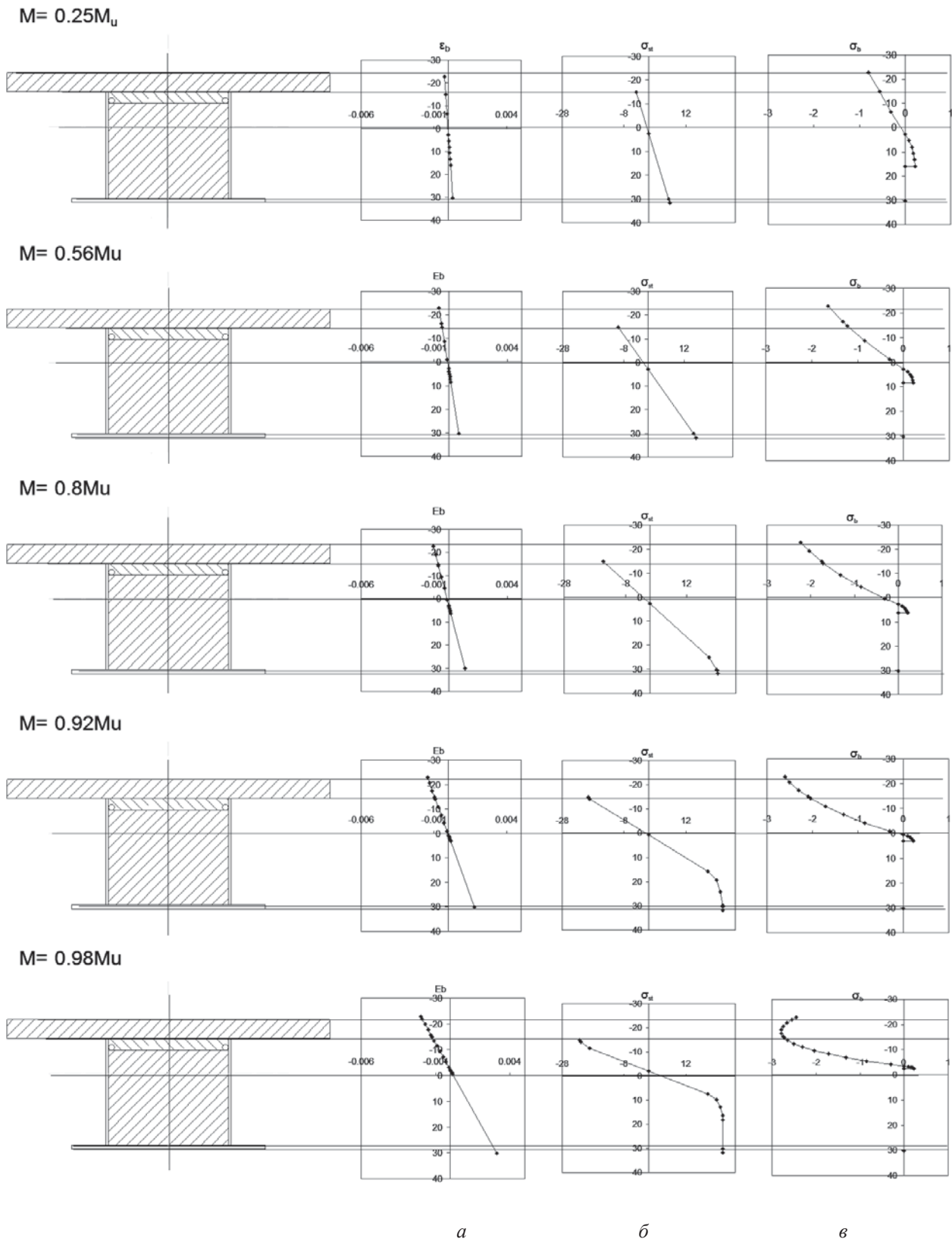


Рис. 2. Епюри напружень та деформацій по висоті перерізу СЗБР:
a – епюри ϵ ; *б*, *в* – відповідно епюри σ у сталі та бетоні

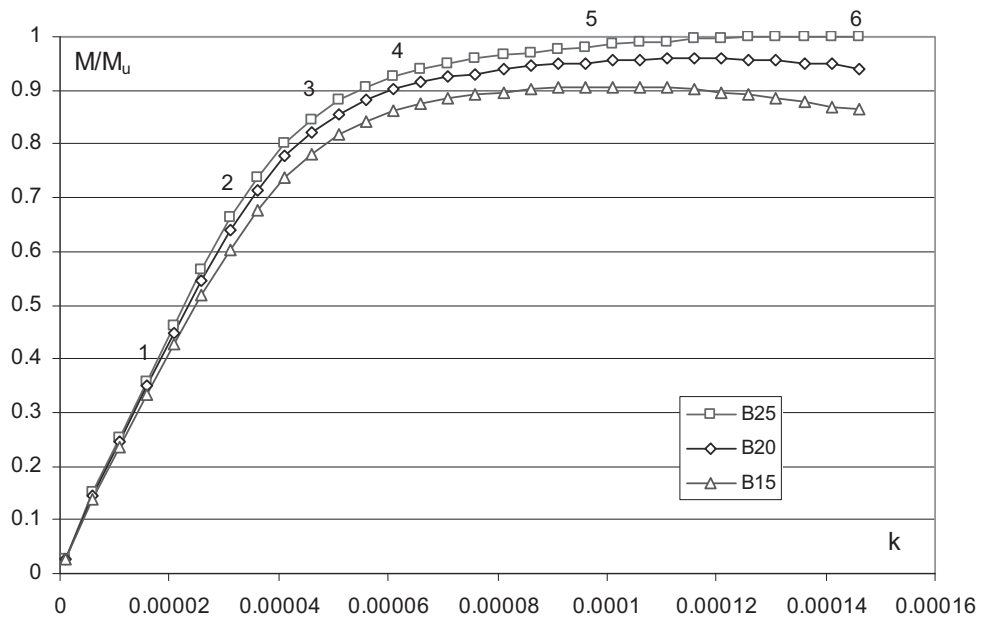


Рис. 3. Залежність $M-k$ для різних бетонів таврового перерізу СЗБ ригеля

Висновок. Виконані числові дослідження підтвердили доцільність запропонованого методу визначення внутрішніх зусиль та можливість використання описаного алгоритму при розрахунках напружено-деформованого стану збірно-монолітних сталезалізобетонних ригелів.

1. Бамбура А.М., Гурківський О.Б., Безбожна М.С., Дорогова О.М. Деформаційна модель та алгоритм визначення напружено-деформованого стану розрахункового перерізу залізобетонних елементів // *Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. – Вып. № 50. – Дн-вск: ПГАСА, 2009. – С. 19–25.* 2. Павліков А.М. Нелінійна модель напружено-деформованого стану косо завантажених залізобетонних елементів у закритичній стадії: Монографія. – Полтава: ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2007. – 259 с. 3. Семко О.В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій: Монографія. – Полтава: ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2004. – 320 с. 4. Семко О.В., Бібік Д.В. Визначення внутрішніх зусиль у перерізі сталезалізобетонного ригеля // *Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. – Вып. №50. – Дн-вск: ПГАСА, 2009. – С. 505–510.* 5. Dekker T.J. Finding a zero by means of successive linear interpolation, in B. Dejon and P. Henrici (eds.), *Constructive aspects of the fundamental theorem of algebra*. N.Y.: Wiley-Interscience, 1969. 6. Brent R.P. *Algorithms for minimization without derivatives*. – Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1973.