

бетонных элементов прямоугольного профиля с одинарным армированием. Сравнение с результатами расчетов по разработанной программе деформационного метода с нелинейной диаграммой деформирования бетона дает разницу в площади арматуры порядка 2...3%, что вполне приемлемо для инженерных расчетов.

1. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – Київ. Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011. – 71 с.

2. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – Київ. Мінрегіонбуд України, 2011. – 118 с.

3. Lapko A. Projektowanie konstrukcji zelbetowych wg Wurocodu 2 I PN-B-03264:1999 – Arcady. Warszawa, 2000. – 547 s.

4. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования // Учебное пособие для студентов строительных специальностей. Под ред. проф. Т. М. Пецольда и проф. В. В. Тура. – Брест, БГТУ, 2003. – 380 с.

Получено 08.01.2013

УДК 624.012.35:624.072.221

Д.В.КОЧКАРЬОВ, В.І.БАБИЧ, кандидати техн. наук

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ПРОПОЗИЦІЇ ДО РОЗРАХУНКУ СТИСНУТИХ, СТИСНУТО-ЗІГНУТИХ І ЗІГНУТИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Запропоновано розрахунок стиснутих, стиснуто-зігнутих і зігнутих залізобетонних елементів на основі узагальненої деформаційної моделі. Наведено приклади розрахунку елементів.

Предложен практический расчет железобетонных сжатых, сжато-изгибаемых и изгибаемых элементов на основании обобщенной деформационной модели. Показаны примеры расчёта элементов.

The calculation of reinforce-concrete non axial compression elements and bending elements on the basis of deformation model. The tasks of calculation of such elements are rationed.

Ключові слова: деформаційна модель, позacentровий тиск, кривина.

Широке розповсюдження стиснутих і стиснуто-зігнутих залізобетонних елементів у будівлях і спорудах у вигляді колон, пілонів, стояків рамних конструкцій, верхніх поясів і решіток ферм, арок тощо викликає нагальну потребу проєктувальників у простих, надійних і доступних методах розрахунку таких елементів. Введення нормативних документів по проєктуванню з розрахунками на основі деформаційної моделі ще більше підсилило цю потребу, а у деяких випадках поставило проєктувальників, науковців, а з ними і студентів будівельних спеціальностей у глухий кут.

Залежно від типу з'єднання з іншими елементами конструкцій та характеру зусиль можлива велика різноманітність розрахункових схем стиснутих і стиснуто-зігнутих елементів. На рис.1 наведені деякі з можливих. Конструктивний розрахунок за кожною має свої особливості, викликані співвідношенням зусиль, характером розподілення прогинів по довжині елемента, жорсткістю перерізів.

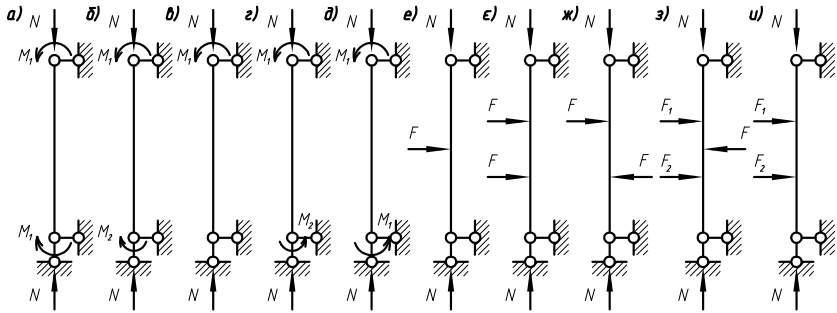


Рис. 1 – Можливі розрахункові схеми стиснутих і стиснуто-зігнутих елементів

Для уніфікації розрахунку стиснутих і стиснуто-зігнутих залізобетонних елементів спільну дію моменту та стисуючої сили у певному перерізі зводили до дії позacentрової сили з відповідним ексцентриситетом і виконували конструктивний розрахунок найбільш напруженого перерізу. При цьому характер розподілення ексцентриситетів по довжині колони, як правило, не враховувався. Численні експериментальні дослідження колон у тому числі [1-3], показали, що залежно від епюри ексцентриситетів при однакових параметрах найбільш напружених перерізів несуча здатність колон може відрізнятись у два і більше разів. Тобто, розрахунок за такими перерізами без урахування епюри ексцентриситетів не є гарантією оптимального проектування елементів на позacentровий стик.

Другою особливістю розрахунку стиснутих і стиснуто-зігнутих елементів є наявність прогинів, які змінюються у процесі навантаження та впливають на значення несучої здатності. При цьому для визначення площі перерізу арматури прогин обчислюють у граничному стані за міцністю. Оскільки він залежить від наповненості перерізу арматурою, то деформативний розрахунок (обчислення прогинів) і конструктивний (знаходження площі перерізу арматури) повинні виконуватись спільно шляхом ітерацій.

Норми проектування [4] для спрощення цього процесу вводили коефіцієнт збільшення ексцентриситету за рахунок прогинів η , формула

якого була отримана для так званої основної розрахункової схеми, рис.1,а, та автоматично поширювалась на будь-які інші схеми, що не відповідало дійсному деформуванню та умовам руйнування елементів. Розрахунок залізобетонних елементів за деформаційною моделлю, коли враховується приріст не зусиль, а деформацій, дозволяє органічно поєднати деформативний і конструктивний розрахунки стиснутих і стиснуто-зігнутих залізобетонних елементів та отримувати зростання ексцентриситету за рахунок прогину без введення емпіричних коефіцієнтів.

Мета та задачі досліджень. Роботі під навантаженням, характеру деформування та руйнуванню позацентрово стиснутих колон за різноманітних схем дії зусиль присвячена величезна кількість експериментальних і теоретичних робіт [1-3,6]. Аналізуючи їх, приходимо до висновку, що запропоновані методики розрахунку, особливо гнучких елементів, стосуються конкретних розрахункових схем, оцінюють міцність перерізу, а не елемента в цілому, не дозволяють визначити положення небезпечного перерізу. А проектувальнику потрібна єдина методика розрахунку стиснутих і стиснуто-зігнутих колон за різноманітних схем завантаження і до того ж проста та надійна.

У нашому дослідженні ми ставимо такі задачі:

- на основі деформаційної моделі розробити узагальнену методику деформативного та конструктивного розрахунків позацентрово стиснутих елементів за довільної схеми завантаження;

- знаючи, що ця методика для гнучких позацентрово стиснутих колон не може бути простою, запропонувати шляхи спрощення без суттєвого зниження точності розрахунків.

Результати досліджень. Спочатку розглянемо конструктивний розрахунок перерізів, умовно приймаючи, що розрахунковий ексцентриситет поздовжньої сили для довільного перерізу відомий. Міцність перерізу визначатимемо на основі рівнянь рівноваги зовнішніх сил і внутрішніх зусиль, приймаючи передумови, визначені п. 4.1.1. [5]. Відмітимо, що у граничному стані перерізу за міцністю нехтуємо роботою розтягнутого бетону. За критерій досягнення граничного стану приймаємо такі умови:

$$\frac{dM_d}{d\varepsilon} = 0 \text{ при } \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu}; \sigma_s \leq f_{yd}; \sigma_{sc} \leq f_{yc}; \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}; \varepsilon_{sc} \leq \varepsilon_{su}. \quad (1)$$

Критерії руйнування перерізу можуть наступати за різних значень напруг у розтягнутій та стиснутій арматурі. Виділяємо чотири випадки:

$$\begin{aligned} 1) \sigma_{sc} = f_{yc}; \sigma_s < f_{yd}; & \quad 2) \sigma_{sc} = f_{yc}; \sigma_s = f_{yd}; \\ 3) \sigma_{sc} < f_{yc}; \sigma_s < f_{yd}; & \quad 4) \sigma_{sc} < f_{yc}; \sigma_s = f_{yd}. \end{aligned} \quad (2)$$

За рівняння рівноваги використаємо суму проєкцій усіх зусиль на поздовжню вісь елемента та суму моментів цих зусиль відносно нейтральної осі. Виділяти окремо випадки "великих" і "малих" ексцентриситетів немає потреби, оскільки залежності "напруги-деформації" у бетоні та арматурі враховують зміну напружено-деформованого стану перерізу. За однозначної епюри напруг у бетоні умовна нейтральна лінія знаходиться за межами перерізу, але з урахуванням фіктивних площ рівняння рівноваги набувають такого ж виду, як і при напругах у бетоні різних знаків.

Запишемо рівняння рівноваги для випадку 1 умови (2), керуючись рис.2

$$1. \sum F = 0. \quad b \int_0^x \sigma_c dx + \sigma_{sc} A_{sc} - \sigma_s A_s = N_{Ed}. \quad (3)$$

Приймаючи вирази

$$x = \frac{\varepsilon_c}{1/r}; \quad \sigma_{sc} = E_s(x - a_{sc}) \frac{1}{r}; \quad \sigma_s = E_s(d - x) \frac{1}{r}; \quad (4)$$

$$k = \frac{d}{x}; \quad n = \frac{a_{sc}}{d}; \quad \rho_{fc} = \frac{A_{sc}}{bd}; \quad \rho_f = \frac{A_s}{bd},$$

рівняння суми проєкцій зусиль після деяких перетворень набуде вигляду

$$\frac{1}{k} \left(\frac{1}{\varepsilon_c} \int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c d\varepsilon + (k - nk^2) \varepsilon_c E_s \rho_{fc} - (k^2 - k) \varepsilon_c E_s \rho_f \right) = \frac{N_{Ed}}{bd}. \quad (5)$$

$$2. \sum M_{н.л} = 0.$$

$$b \int_0^x \sigma_c x dx + \sigma_{sc} A_{sc} (x - a_{sc}) + \sigma_s A_s (d - x) = N_{Ed} (e_0 + f - 0,5h + x). \quad (6)$$

Підставивши заміни (4) та прийнявши

$$\frac{e_0 + f - 0,5h}{d} = t, \quad (7)$$

після нескладних перетворень рівняння (6) запишемо так

$$\frac{1}{k(kt + 1)} \left(\frac{1}{\varepsilon_c^2} \int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c \varepsilon_c d\varepsilon + k(1 - nk)^2 \varepsilon_c E_s \rho_{fc} + k(k - 1)^2 \varepsilon_c E_s \rho_f \right) = \frac{N_{Ed}}{bd}. \quad (8)$$

Проробивши такі ж операції для випадків 2, 3 і 4 умови (2), отримаємо такі рівняння:

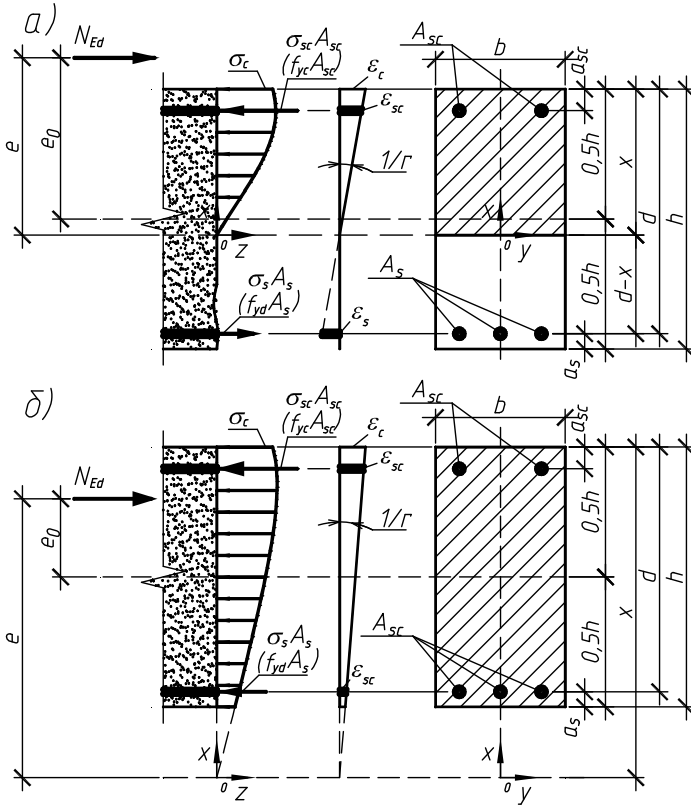


Рис. 2 – Розрахункова модель позациентровано стиснутих елементів:
 а) при стиснуто-розтягнутому перерізі; б) при повністю стиснутому перерізі

випадак 2

$$\frac{1}{k} \left(\frac{1}{\varepsilon_c} \int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c d\varepsilon + (k - nk^2) \varepsilon_c E_s \rho_{fc} - k f_{yd} \rho_f \right) = \frac{N_{Ed}}{bd}. \quad (9)$$

$$\frac{1}{k(kt+1)} \left(\frac{1}{\varepsilon_c^2} \int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c \varepsilon_c d\varepsilon + k(1 - nk)^2 \varepsilon_c E_s \rho_{fc} + (k^2 - k) f_{yd} \rho_f \right) = \frac{N_{Ed}}{bd}; \quad (10)$$

випадак 3

$$\frac{1}{k} \left(\frac{1}{\varepsilon_c} \int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c d\varepsilon + k f_{yc} \rho_{fc} - (k^2 - k) \varepsilon_c E_s \rho_f \right) = \frac{N_{Ed}}{bd}. \quad (11)$$

$$\frac{1}{k(kt+1)} \left(\frac{1}{\varepsilon_c^2} \int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c \varepsilon_c d\varepsilon + (k - nk^2) f_{yc} \rho_{fc} + k(k-1)^2 \varepsilon_c E_s \rho_f \right) = \frac{N_{Ed}}{bd}; \quad (12)$$

випадак 4

$$\frac{1}{k} \left(\frac{1}{\varepsilon_c} \int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c d\varepsilon + k f_{yc} \rho_{fc} - k f_{yd} \rho_f \right) = \frac{N_{Ed}}{bd}. \quad (13)$$

$$\frac{1}{k(kt+1)} \left(\frac{1}{\varepsilon_c^2} \int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c \varepsilon_c d\varepsilon + (k - nk^2) f_{yc} \rho_{fc} + (k^2 - k) f_{yd} \rho_f \right) = \frac{N_{Ed}}{bd}. \quad (14)$$

У кожній парі наведених рівнянь рівноваги залежно від задачі розрахунку є такі невідомі:

1) при визначенні площі перерізу арматури за відомої поздовжньої сили N_{Ed} – коефіцієнт k і ρ_f та ρ_{fc} ; тут або задаються співвідношенням ρ_f та ρ_{fc} , або приймають симетричне армування $\rho_f = \rho_{fc}$;

2) при обчисленні несучої здатності елемента за відомого армування – коефіцієнт k і N_{Ed} .

Прогин гнучкого елемента f , який збільшує початковий ексцентриситет e_0 , враховується у рівняннях рівноваги моментів зусиль через коефіцієнт t за формулою (7). Нехтуючи незначним впливом осьової стискуючої сили та поперечної сили, прогин позацентрово стиснутого чи стиснуто-зігнутого елемента обчислюємо за інтегралом Мора

$$f = \int_0^l \frac{M_i M_i}{B_i} dx = \int_0^l \bar{M}_i \frac{1}{r_i} dx. \quad (15)$$

Візьмемо для прикладу довільну розрахункову схему, показану на рис. 3.

Оскільки дати аналітичний вираз зміни кривини по довжині колони у загальному виразі складно скористаємось, формулою Симпсона, розбивши елемент по довжині на ряд рівних ділянок. Чим більша їх кількість, тим вища точність розрахунків, але при цьому суттєво зростає обсяг обчислень. Практика розрахунків показує, що при кількості ділянок не менше 10-ти точність обчислень відповідає інженерним потребам. Для складних розрахункових схем наперед невідомий граничний переріз, тому прогин обчислюємо для кожної ділянки, визначаючи при цьому значення добутку для крайніх перерізів ділянки $(\bar{M}_i \frac{1}{r_i})_{кр}$ та для середнього перерізу ділянки $(\bar{M}_i \frac{1}{r_i})_{cp}$. Тоді вираз (15) замінимо формулою Симпсона у такому вигляді

$$f_i = \frac{l}{3n} \left[\sum_{i=1}^n (M_{ik} / r_k)_{kp} + 2 \sum_{i=1}^n (M_{ik} / r_k)_{cp} \right], \quad (16)$$

де l – довжина елемента; n – кількість ділянок, на які розділена колона; M_{ik} – момент у перерізах k -тої ділянки від одиничної сили, прикладеної в i -тій ділянці, для якої визначається прогин елемента; $1/r_k$ – кривина

елемента у перерізах k -тої ділянки; $\sum_{i=1}^n (M_{ik} / r_k)_{kp}$ і $(\sum_{i=1}^n M_{ik} / r_k)_{cp}$ – відповідно сума добутків по крайніх перерізах і добутку по середніх перерізах для всіх ділянок n , на які розбитий елемент.

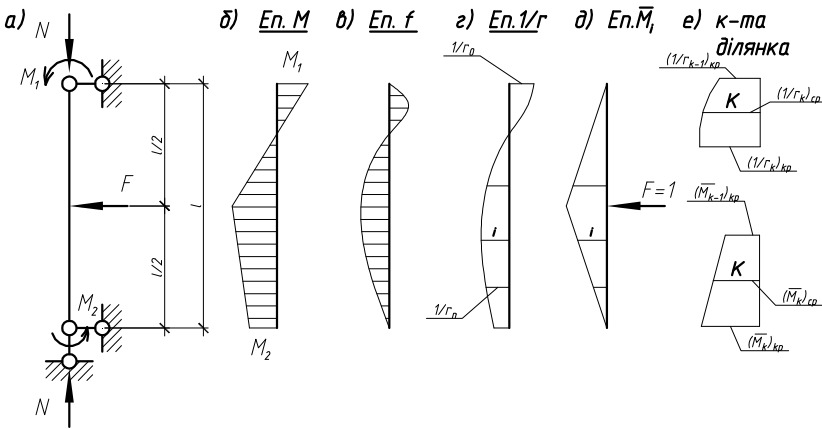


Рис. 3 – До розрахунку прогинів колони

Момент у k -тій ділянці від одиничної сили, прикладеної в i -тій ділянці, можна записати так

$$\bar{M}_{ik} = \alpha_{ik} l. \quad (17)$$

На кривину елемента у будь-якому перерізі впливає напружено-деформований стан не тільки цього перерізу, а й сусідніх. Тому, визначаючи кривину із рівнянь рівноваги, слід враховувати роботу розтягнутого бетону між тріщинами при деформаціях $\epsilon_c > \epsilon_{cли}$ та при напрузі в арматурі менше розрахункового опору f_y . Тоді

$$\sum F = 0.$$

$$\frac{1}{k} \left(\frac{1}{\varepsilon_c} \left(\int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c d\varepsilon - \int_0^{\varepsilon_{ctu}} \sigma_{ct} d\varepsilon_{ct} \right) + \varepsilon_c E_s \left((k - nk^2) \rho_{fc} - (k^2 - k) \rho_f \right) \right) = \frac{N_{Ed}}{bd}. \quad (18)$$

$$\sum M_{н.л} = 0.$$

$$\frac{1}{k(kt+1)} \left(\frac{1}{\varepsilon_c^2} \left(\int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c \varepsilon_c d\varepsilon + \int_0^{\varepsilon_{ctu}} \sigma_{ct} \varepsilon_{ct} d\varepsilon_{ct} \right) + \left(\varepsilon_c E_s k \left((1 - nk)^2 \rho_{fc} + k(k-1)^2 \rho_f \right) \right) \right) = \frac{N_{Ed}}{bd}. \quad (19)$$

Розв'язок цих рівнянь дозволяє отримувати висоту стиснутої зони за відповідних значень ε_c , а отже одержати суму відносних деформацій стиснутої грані та розтягнутої арматури

$$\sum \varepsilon = \varepsilon_c + \varepsilon_s. \quad (20)$$

Тоді кривину в елементі прямокутного профілю для будь-якого перерізу, обчислюємо так

$$1/r_k = \frac{\sum \varepsilon_k}{d}. \quad (21)$$

Враховуючи формули (17) і (21), вираз (16) подамо у вигляді

$$f_i = \frac{l^2}{3nd} \left[\sum_{i=1}^n (\alpha_{ik} \sum \varepsilon_k)_{kp} + 2 \sum_{i=1}^n (\alpha_{ik} \sum \varepsilon_k)_{cp} \right]. \quad (22)$$

Для обчислення прогину потрібно знати значення і поздовжньої сили, і площі перерізу арматури A_s і A_{sc} , а для конструктивного розрахунку – значення прогину. Тому розв'язок задач ведеться паралельно в ітераційному режимі.

Коли обчислюють площу перерізу арматури скажімо для колони з рис.3 поступають таким чином: для кожної ділянки, на які розділена колона, визначають для всіх чотирьох випадків умови (2) прогин і ту площу перерізу арматури, за якої порушується рівновага зусиль. При цьому приймається найбільший із отриманих перерізів арматури для розглядуваної ділянки. Після розрахунку всіх ділянок приступають до конструювання, приймаючи армування по найбільш напруженій ділянці або змінюючи переріз арматури по довжині колони відповідно до результату розрахунку ділянок. Аналогічно поступають при визначенні несучої здатності за відомого армування.

За описаною методикою була розроблена комп'ютерна програма та розраховані 33 колони, випробувані за всіма схемами рис.1 [1, 2]. При цьому залежність "напруги-деформації" бетону приймалась за формулою (3.4) [5]. Результати співставлення теоретичної та експерименталь-

ної несучої здатності, що наведені у табл.1, а для всіх колон $\Delta=9,61\%$, $\sigma=5,51\%$ підтверджують надійність запропонованої методики розрахунку стиснутих і стиснуто-зігнутих елементів, яка отримана теоретичним шляхом без жодних емпіричних посилань. Вона дозволяє розраховувати такі елементи за різних розрахункових схем з урахуванням у необхідних випадках гнучкості стояків.

Таблиця 1 – Результати співставлення експериментальної та теоретичної несучої здатності колон, випробуваних [1, 2]

Показник	Розрахункові схеми колон за рис.1									
	<i>I, а</i>	<i>I, б</i>	<i>I, в</i>	<i>I, г</i>	<i>I, д</i>	<i>I, е</i>	<i>I, є</i>	<i>I, ж</i>	<i>I, з</i>	<i>I, и</i>
Кількість колон, <i>n</i>	6	3	3	3	3	3	3	3	3	3
$\Delta = \frac{1}{n} \sum \frac{N_{ex} - N_t}{N_{ex}}, \%$	2,17	7,37	1,91	11,42	14,88	11,25	8,88	12,46	18,66	14,52

У той же час слід відмітити, що розрахунок за цією методикою непростий і реалізація програми навіть на сучасних комп'ютерах займає багато часу. За будь-яких інших методик, побудованих на основі деформційної моделі, розрахунок стиснутих і стиснуто-зігнутих елементів теж складні, а з урахуванням гнучкості та розрахункових схем складність зростає. Тому постійно відбуваються пошуки спрощених варіантів, наприклад [6-10] та інші.

Ми пропонуємо такий варіант спрощення. Аналіз рівнянь рівноваги в отриманій формі (5 і 8), (9 і 10), (11 і 12), (13 і 14) показує, що ліва частина формул не залежить від абсолютних розмірів бетону та арматури і може бути прив'язана для різних елементів. Права частина формул N/bd може трактуватись як розрахунковий опір залізобетону на стиск, який враховує вплив на нього ексцентриситету сили e_0 і гнучкості елемента λ . Позначивши розрахунковий опір залізобетону на стиск через f_N , всі пари перерахованих вище формул подамо в узагальненому вигляді:

$$C_{1i} = f_N \quad i \quad C_{2i} = f_N, \tag{23}$$

в яких

$$C_{1i} = f(f_{yd}, f_{cd}, \rho_f, \rho_{fc}); C_{2i} = f(f_{yd}, f_{cd}, \rho_f, \rho_{fc}, \lambda, e_0, n).$$

Змінюючи поступово у певних межах параметри, від яких залежать C_1 і C_2 , а отже і f_N та розв'язуючи спільно рівняння (23), одержують мінімальні значення розрахункового опору залізобетону на стиск f_N , за яких ще забезпечується несуча здатність елемента. Із цих значень формують таблицю. Зважаючи, що кількість параметрів, від яких залежать

C_1 і C_2 , велика, таблиця для розрахунку стиснутих і стиснуто-зігнутих елементів буде об'ємна. Отримання її не є складним процесом, зате використання її зведе складний розрахунок до простих арифметичних дій: маючи значення f_N , за якого ще забезпечується несуча здатність стиснутого елемента, обчислюємо при заданих параметрах або потрібне армування, або несучу здатність колони.

Для прикладу в табл. 2 наведений фрагмент таблиці розрахунково-го опору залізобетону на стиск f_N при певних параметрах для колон з розрахунковою схемою за рис.1, а (основна схема).

Таблиця 2 (фрагмент) – Розрахунковий опір залізобетону на позacentровий стиск f_N , МПа

Клас бетону, λ	$n=0.06+0.1$ А-500С $f_{yd}=450$ МПа	Відносний ексцентриситет прикладання поздовжньої сили e_0/d								
		0.021	0.150	0.300	0.650	1.000	1.500	2.000	3.000	
C20/25, $\lambda=4$	$(A_s+A_{sc})/b$ d	0.005	16.64	12.49	8.95	3.94	1.92	1.03	0.70	0.43
		0.01	18.87	14.33	10.72	6.09	3.50	2.01	1.38	0.84
		0.02	23.19	17.49	13.83	8.75	6.07	3.79	2.68	1.66
		0.03	27.49	21.35	16.70	10.82	8.01	5.41	3.92	2.46
C20/25, $\lambda=10$	$(A_s+A_{sc})/b$ d	0.005	15.99	11.77	8.29	3.59	1.80	1.00	0.68	0.42
		0.01	18.32	13.63	10.07	5.62	3.29	1.92	1.33	0.82
		0.02	22.80	15.60	13.14	8.31	5.75	3.65	2.60	1.62
		0.03	27.14	19.87	15.89	10.34	7.49	5.21	3.80	2.41
C20/25, $\lambda=15$	$(A_s+A_{sc})/b$ d	0.005	14.89	10.77	7.40	3.17	1.67	0.96	0.67	0.41
		0.01	17.16	12.58	9.16	5.03	3.03	1.81	1.28	0.80
		0.02	21.80	15.99	12.16	7.67	5.34	3.45	2.49	1.58
		0.03	26.30	19.02	14.92	9.68	7.23	4.95	3.65	2.35
C20/25, $\lambda=20$	$(A_s+A_{sc})/b$ d	0.005	13.45	9.46	6.29	2.75	1.54	0.92	0.65	0.40
		0.01	15.44	11.18	8.01	4.38	2.72	1.70	1.22	0.78
		0.02	19.71	14.46	10.91	7.00	4.85	3.21	2.35	1.52
		0.03	24.21	16.35	13.55	8.88	6.69	4.62	3.45	2.26
C20/25, $\lambda=25$	$(A_s+A_{sc})/bd$	0.005	11.95	8.14	5.22	2.40	1.42	0.87	0.61	0.39
		0.01	13.51	9.53	6.76	3.76	2.44	1.58	1.16	0.75
		0.02	16.85	12.60	9.50	6.18	4.34	2.94	2.20	1.45
		0.03	20.99	15.54	11.97	8.01	6.06	4.26	3.23	2.15

Примітки:

1. Проміжні значення визначаються прямолінійною інтерполяцією. 2. При більших значеннях відносного ексцентриситету, ніж наведені у таблиці, елементи вважати згинальними.

Приклад 1. На колону розмірами $b \times h = 30 \times 50$ см, виготовлену із бетону класу C20/25 та армовану сталлю класу А500С, діє поздовжня сила $N=710,88$ кН з ексцентриситетом $e_0=30,6$ см. Визначити площу перерізу

арматури за умови симетричного армування, якщо робоча висота перерізу $d=47,1$ см ($n=0,06$), а гнучкість колони $\lambda=l_0/d=15$.

Розв'язок. Визначаємо відносний ексцентриситет сили $e_0/d = 30,6/47,1 = 0,650$.

Розрахунковий опір залізобетону на стиск f_N , за якого буде забезпечена несуча здатність

$$f_N = \frac{N}{bd} = \frac{710880}{30 \times 47,1} \times 10^{-2} = 5,031 \text{ МПа.}$$

По табл. 2 знаходимо, що такий опір забезпечується армуванням колони при $\rho_s=0,01$, тобто

$$A_s + A_{sc} = 0,01bd = 0,01 \times 30 \times 47,1 = 14,13 \text{ см}^2; A_s = A_{sc} = 7,15 \text{ см}^2.$$

Для армування прийемо симетрично по $2\varnothing 22 A500C$, $A_s=A_{sc}=7,6 \text{ см}^2$.

Приклад 2. Залізобетонна колона перерізом $b \times h = 30 \times 40$ см, із бетону класу $C20/25$, армована симетричною арматурою по $2\varnothing 22 A400C$, $A_s+A_{sc}=15,2 \text{ см}^2$, зазнає дії стискуючої сили з початковим ексцентриситетом $e_0=5,58$ см. Робоча висота перерізу $d=37,2$ см ($n=0,075$), а розрахункова довжина колони $l_0=7,45$ м. Визначити яку поздовжню силу може сприйняти колона.

Розв'язок. Визначаємо параметри:

- гнучкість колони, відносний ексцентриситет сили, процент армування перерізу:

$$\lambda=l_0/d=745/37,2=20;$$

$$\frac{e_0}{d} = \frac{5,58}{37,2} = 0,15; \rho_s = \frac{A_s + A_{sc}}{bd} = \frac{15,2}{30 \times 37,2} = 0,136.$$

За табл. 2, використовуючи значення необхідних параметрів та інтерполяцію по проценту армування, знаходимо мінімальне значення розрахункового опору бетону на стиск, за якого забезпечується несуча здатність колони із заданими параметрами, $f_N=12,36 \text{ МПа}$.

Несуча здатність колони становитиме

$$N = bdf_N = 30 \times 37,2 \times 12,36 \times 10^{-1} = 1379,38 \text{ кН.}$$

У тому випадку, коли параметри колон не співпадають з табличними значеннями, використовують інтерполяцію по цих параметрах. Щоб спростити процес інтерполяції, розроблені прості формули, які дозволяють швидко обчислити потрібні значення розрахункового опору f_N або відсотка армування ρ_s .

За описаною у статті методикою розроблений також розрахунок згинальних залізобетонних елементів за міцністю, тріщиностійкістю та

деформаціями на основі розрахункового опору залізобетону на згин f_M і на утворення тріщин f_W та сумарних відносних деформацій стиснутої грані та розтягнутої арматури $\Sigma \varepsilon$ [10]. Введені табульовані характеристики $f_N, f_M, f_W, \Sigma \varepsilon$ виявились тими модифікаторами, які суттєво міняють принципи розрахунку залізобетонних елементів, звівши його до операцій класичного опору матеріалів і гармонізуючи його з розрахунком будівельних елементів із металу, дерева, каменю:

а) для стиснутих і стиснуто-зігнутих елементів у розрахунках міцності

$$N_{Ed} / bd \leq f_N, \quad (24)$$

де f_N – розрахунковий опір залізобетону на стиск з урахуванням гнучкості λ і ексцентриситету сили e_0 ;

б) для зігнутих елементів у розрахунках:

- за міцністю

$$M_{zp} / W_c \leq f_M, \quad (25)$$

- на утворення тріщин

$$M_W / W_c \leq f_W, \quad (26)$$

- за деформаціями

$$\sigma_{zM} = \frac{M_e}{W_c} \rightarrow \Sigma \varepsilon \rightarrow \frac{1}{r} = \frac{\Sigma \varepsilon}{d} \rightarrow f = \frac{1}{r} k_m l^2, \quad (27)$$

де M_{zp}, M_e – відповідно моменти від граничних і експлуатаційних навантажень; M_W – момент утворення тріщин, W_c – пружний момент опору бетонного робочого перерізу, $W_c = bd^2/6$; σ_{zM} – напруги у залізобетоні.

Висновки.

1. Отримана струнка система розрахунків стиснутих і стиснуто-зігнутих залізобетонних елементів з урахуванням гнучкості для довільної розрахункової схеми без емпіричних посилянь. Методика перевірена на експериментальних колонах.

2. Описана методика поширена на розрахунок міцності, жорсткості та прогинів згинальних елементів.

3. Введення термінів розрахунковий опір залізобетону на стиск, розрахунковий опір залізобетону на згин, розрахунковий опір залізобетону на утворення тріщин, сумарні відносні деформації перерізу дозволило звести розрахунок стиснутих і зігнутих залізобетонних елементів на основі деформаційної моделі до простих операцій, аналогічних операціям класичного опору матеріалів.

1.Бабич С.В. Работа та несуча здатність стиснутих залізобетонних елементів із різним ексцентриситетами на кінцях: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Бабич Сергій Васильович. – Полтава, 1998. – 214 с. – Бібліогр. : С. 192-205.

2.Різак В.В. Работа та несуча здатність стиснуто-згннутих залізобетонних елементів за короткочасного навантаження: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Різак Василь Васильович. – Полтава, 2000. – 214 с. – Бібліогр. : С. 192-205.

3.Кочкар'єв Д.В. Работа та несуча здатність залізобетонних елементів за дії осевої стискуючої сили та згину в двох площинах: : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Кочкар'єв Дмитро Вікторович. – Полтава, 2002. – 214 с. – Бібліогр. : С. 192-205.

4.СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1991. – 79 с.

5.ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – К.: Мін-во регіонального розвитку та будівництва України, 2010. – 166 с.

6.Бамбура А.М. До оцінки точності визначення несучої здатності гнучких позациентрово стиснутих стійок за деформаційним методом / Бамбура А.М., Гічко В.В. // Будівельні конструкції: Зб. наук. праць. – К.: ДП НДІБК, 2012. – Вип.74. – С.10-19.

7.Барашиков А.Я. Спрощені розрахунки несучої здатності нормальних перерізів згинальних залізобетонних елементів за деформаційною моделлю / Барашиков А.Я., Задорожнікова І.В. // Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі і споруди: Збірник наукових статей. – Рівне, 2005. – Вип. 12. – С. 109-115.

8.Павліков А.М. Закритична стадія стиснутих елементів в розрахунках їх міцності / А.М. Павліков // Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць / Нац. ун-т водн. госп. та природокористув. – Рівне: НУВГта П, 2006. – Вип. 14. – С.261-268.

9.Дорофеев В.С., Барданов В.Ю. Расчёт изгибаемых элементов с учётом полной диаграммы деформирования бетона. Монография. – Одесса: ОГАСА, 2003. – 210 с.

10.Кочкар'єв Д.В. Теорія та практика розрахунку залізобетонних згинальних елементів за граничними станами першої та другої груп на основі загальної деформаційної моделі / Кочкар'єв Д.В., Бабич В.І. // Бетон и железобетон в Украине. – 2012. – №3. – С.7-13.

Отримано 27.12.2012

УДК 624.012.46

Ю.В.БОНДАРЕНКО, канд. техн. наук, М.М.МОЛЬСКИЙ, М.В.ЯКИМЕНКО,
канд. техн. наук

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДЕФОРМАТИВНО-ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНА ПРИ МАЛЫХ ВЫБОРКАХ ОБРАЗЦОВ, ОТОБРАННЫХ ИЗ КОНСТРУКЦИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

Приводятся сравнительные данные определения деформативно-прочностных свойств бетона, полученные различными способами на образцах, извлеченных из эксплуатируемых железобетонных конструкций.

Наводяться порівняльні дані визначення деформативно-міцностних властивостей бетону, які визначені різними способами на зразках, які відібрані із залізобетонних конструкцій, що експлуатуються.