

УДК 624.074

## РОЗРАХУНОК СТИСНУТИХ ТА ЗІГНУТИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ В НЕЗНІМНІЙ ОПАЛУБЦІ

Лапенко О.І., д.т.н., доц., Гришко.Г.І., інж., Пономарьова Л.А.,  
інж.

*Національний авіаційний університет, Київ, Україна*

Залізобетонні конструкції в незнімній опалубці можуть бути дуже різноманітними [1]. Крім конструктивних ознак (армування трубами, листами чи прокатними профілями), призначенням (колони, балки, плити), вони відрізняються видом напруженого стану (центрального чи позацентровий стиск, згинання). На сьогоднішній день існують багато способів розрахунку залізобетонних конструкцій, які в певній мірі забезпечують їх надійність при експлуатації. Розрахунок залізобетонних конструкцій в незнімній опалубці може виконуватись наступними методами:

- з використанням розрахункової деформаційної моделі;
- з урахуванням граничних зусиль в бетоні, арматурі і сталі, виходячи з їх пластичної роботи;
- за приведеним до сталі перерізом.

На даний час досить глибоко розроблені та отримали широке розповсюдження чисельні розрахунки несучих конструкцій з використанням методу кінцевих елементів за допомогою ЕОМ. Проблеми розрахунку сталезалізобетонних конструкцій розглянуті в міжнародному нормативному документі Eurocode 4 [2].

Методика визначення напружено-деформованого стану сталезалізобетонних елементів із листовим армуванням при осьовому стисненні побудована на експериментальних дослідженнях центрально стиснутих зразків. Вважається, що метал та бетон надійно "спаяні" і через цю межу відбувається вплив однієї складової поперечного перерізу на інші. Із графіків залежності поздовжніх та поперечних деформацій від навантаження встановлено, що вони мають криволінійний характер, тобто дослідні зразки працюють як у пружній ( $\approx 60\%$  від руйнівного зусилля), так і в пластичній стадії. Тому ці дві стадії роботи дослідних зразків розглянуті окремо.

У пружній стадії поздовжні та поперечні напруження можна визначити за узагальненими формулами закону Гука, які мають вигляд

$$\begin{aligned}\sigma_x &= 2G \left( \varepsilon_x + \frac{3\nu}{1-2\nu} \varepsilon_{cp} \right); \\ \sigma_y &= 2G \left( \varepsilon_y + \frac{3\nu}{1-2\nu} \varepsilon_{cp} \right); \\ \sigma_z &= 2G \left( \varepsilon_z + \frac{3\nu}{1-2\nu} \varepsilon_{cp} \right),\end{aligned}\quad (1)$$

де  $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$  – деформації вздовж відповідних осей;  
 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  – напруження вздовж відповідних осей;

$$G = \frac{E_i}{2(1+\nu_i)}; \quad (2)$$

$$\varepsilon_{cp} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z}{3}; \quad (3)$$

$E_i, \nu_i$  – модуль пружності та коефіцієнт поперечної деформації  $i$ -го матеріалу;

$i = s, sl, b$  – матеріали, які складають поперечний переріз.

У випадку, коли залежність деформацій від навантаження отримує криволінійний характер внаслідок розвитку пружно-пластичних деформацій, напруження визначаються з використанням теорії малих пружно-пластичних деформацій. У цьому випадку залежності між окремими компонентами напружень та деформацій за формою аналогічні пружній стадії, але із заміною постійного модуля пружності  $E$  на змінний модуль деформації  $E'$ . За цією методикою складено розрахункову програму для ПЕОМ.

Розроблена методика розрахунку стиснутих елементів зі сталевих двотаврів із боковими порожнинами, заповненими бетоном. Метод розрахунку за деформованою схемою найбільш точно відображає дійсну картину деформування елементів. Він допускає роботу стиснутих елементів в пружно-пластичній стадії до моменту досягнення граничних деформацій. Згідно цього методу визначається схема деформування геометричної осі елементів під дією навантаження з урахуванням фізико-механічних характеристик кожної елементарної ділянки сталевого двотавра, стержньової арматури та бетону.

Розрахунки сталезалізобетонних стиснутих елементів з урахуванням деформаційної моделі поперечного перерізу елементів в себе включають:

- рівняння рівноваги зовнішніх та внутрішніх сил в нормальному перерізі;
- умови деформування нормального перерізу;
- діаграми стану (деформування) бетону, арматури, сталі.

Для визначення напружено-деформованого стану в нормальному перерізі використовується два відомі рівняння рівноваги:

- рівняння рівноваги проекції всіх сил на поздовжню вісь конструкції;
- рівняння рівноваги моментів відносно якої-небудь вибраної осі в перерізі конструкції, що перпендикулярна площині дії згинаючого моменту.

При розрахунку сталезалізобетонних конструкцій в загальному випадку переріз конструкції розглядається як набір  $m$  елементарних ділянок бетону (з індексом  $i$ ), із  $p$  стержнів арматури (з індексом  $k$ ) та з  $n$  елементарних ділянок сталеві частини конструкцій (з індексом  $j$ ). В цьому випадку рівняння рівноваги мають вигляд:

$$N - \sum_{i=1}^m \sigma_{bi} A_{bi} - \sum_{j=1}^n \sigma_{rj} A_{rj} - \sum_{k=1}^p \sigma_{sk} A_{sk} = 0 ; \quad (4)$$

$$N e - \sum_{i=1}^m \sigma_{bi} A_{bi} y_{bi} - \sum_{j=1}^n \sigma_{rj} A_{rj} y_{rj} - \sum_{k=1}^p \sigma_{sk} A_{sk} y_{sk} = 0 \quad (5)$$

де  $N$  - зовнішня поздовжня сила;

$e$  - відстань від сили  $N$  до вибраної осі  $O-O$ , що розташована в межах перерізу конструкції, відносно якої визначаються моменти внутрішніх сил в бетоні, сталі та арматурі з урахуванням вигину;

$A_{bi}$ ,  $A_{rj}$ ,  $A_{sk}$  - площа елементарних ділянок відповідно бетону, сталі та арматури;

$y_{bi}$ ,  $y_{rj}$ ,  $y_{sk}$  - відстань від вибраної моментної осі до центра ваги елементарних ділянок (відповідно бетону, сталі та арматури);

$\sigma_{bi}$ ,  $\sigma_{rj}$ ,  $\sigma_{sk}$  - напруження на елементарних ділянках відповідно бетону, сталі та арматури.

Умова деформування нормального перерізу конструкції приймається у вигляді плоского повороту з лінійним розподілом деформацій за висотою перерізу від розглядуваних впливів.

При обрахуванні зусиль в перерізі стиснутого сталезалізобетонного елемента напруження в бетоні, арматурі та сталі визначаються за деформаціями за допомогою діаграм стану матеріалів, що пов'язують напруження з деформаціями. Діаграми стану представляються у вигляді системи вузлових (базових) точок, які визначають найбільш характерні стадії напружено-деформованого стану матеріалів. Параметрами основної базової точки діаграм стану матеріалів є нормативні опори матеріалів і відповідні їм деформації. Значення параметрів додаткових базових точок визначаються як похідні від параметрів основної базової точки.

Параметри основної базової точки, яка відповідає межі пружної роботи арматури, приймаються рівними розрахунковому опору арматури  $\sigma_{so} = R_s$  та відповідній йому деформації:

$$\varepsilon_{so} = \frac{R_s}{E_s}, \quad (6)$$

де  $E_s$  - модуль пружності арматури.

Для сталі приймаються аналогічні значення параметрів базових точок та розрахункові залежності. Діаграми стану сталі та арматури при розтягу та стиску приймаються однаковими.

Розрахунок стиснутих сталезалізобетонних елементів може виконуватись за граничними зусиллями з застосуванням двох умов рівноваги.

Запропоновані методи розрахунку залізобетонних конструкцій в незмінній опалубці, що працюють на згин для всіх типів перерізів, які розглядаються в [3]. Так при розгляданні напружено-деформованого стану залізобетонних елементів із зовнішнім листовим армуванням прийняті відомі передумови:

- дотримується гіпотеза плоских перерізів;
- дотримуються умови статички:

$$\sum N_i = 0; \quad \sum M_i = 0. \quad (7)$$

- опір бетону на розтяг приймається рівним нулю;
- опір бетону на стиск умовно представляється напруженням, рівним  $R_b$ , (помножений, в необхідних випадках на

коефіцієнт умов роботи), рівномірно розподіленим по частині стиснутої зони;

– розтягуючі напруження в листовій і стрижневій арматурі приймаються не більше розрахункових опорів розтягу  $R_y$  і  $R_{sc}$ , помноженими, в необхідних випадках, на коефіцієнт умови роботи;

– стискаючі напруження в листовій і стрижневій арматурі приймаються не більше розрахункових опорів на стиск  $R_y$  і  $R_{sc}$ , помноженими в необхідному випадку на коефіцієнт умов роботи.

При випробуванні балок на згин руйнування проходило по нормальному перерізу. Причиною руйнування було досягнення напружень межі текучості сталевих арматур та відшарування вертикальної листової арматури з подальшим руйнуванням бетону в стиснутій зоні перерізу. Оцінка міцності елементів за граничними станами для вказаних форм руйнування може бути представлена на основі сумісного рішення рівноваги поздовжніх сил в залежності від схеми внутрішніх зусиль. В даному випадку розглядається розрахункова схема нормального перерізу (рисунок 1).

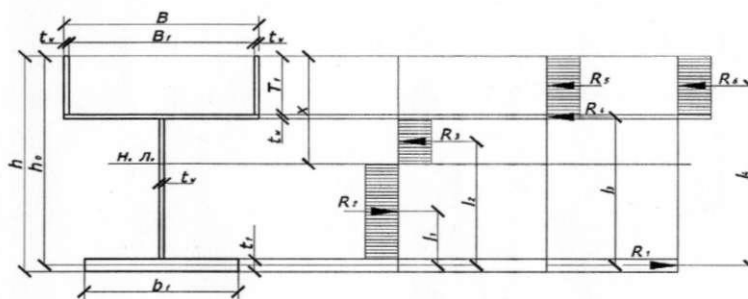


Рис. 1 - Схема внутрішніх зусиль у нормальному перерізі Умови статички (7):

$$R_y(t_w(h - t_f - 2x + T_f + t_w - B) - T_f(B - B_f)) + R'_y b_f t_f - R_b B_f T_f = 0. \quad (8)$$

(9)

$$M_p \leq T_f(R_y(B - B_f) + R_b B_f)(h_0 - 0,5t_f) + R_y t_w (B(h_0 - T_f - 0,5t_w) +$$

$$(x - T_f - t_w)(h_0 - T_f - t_w - 0,5(x - T_f - t_w)) -$$

$$(h - t_f - x)(h_0 - x - 0,5(h_0 - x - 0,5t_f)), \quad (10)$$

Розроблена методика розрахунку згинальних залізобетонних елементів в незнімній опалубці на поперечну силу. При розрахунку елементів з листовим армуванням слід користуватися формулою

$$Q_u \leq \frac{\varphi b_4 R_{bt} b h_0^2}{c} + 2 R_{yw} t_w c \cdot \quad (11)$$

Для розрахунку переміщень згинальних залізобетонних елементів в незнімній опалубці отримана формула

$$f_M = \frac{M_{poz}}{0,85 \cdot I_{red} \cdot E_s} \cdot \left( \frac{3l^2 - 4a^2}{24} \right) \quad (12)$$

Запропоновані також формули для розрахунку анкерних засобів, що забезпечують сумісну роботу бетону та сталі в залізобетонних конструкціях в незнімній опалубці.

Розроблені алгоритми розрахунку дозволяють з достатньою точністю визначити зусилля руйнування і кривизну сталезалізобетонних стійок і балок та відобразити розподіл деформацій і напружень не лише в бетоні, але й у сталевій арматурі. За розробленою методикою складена програма розрахунку на ЕОМ, яка забезпечує задовільну збіжність з експериментальними даними.

## SUMMARY

The considered questions of calculation of the compressed and arcuated steelreinforced concrete constructions are in planking which is not taken off. The done conclusion is about expedience of the use of calculation

deformation model which answers the real work of bearings constructions better.

#### ЛІТЕРАТУРА

- 1.Стороженко Л.І і ін. Залізобетонні конструкції в незнімній опалубці / Л.І.Стороженко, О.І.Лапенко // Полтава: АСМІ, 2008. – 312 с.
- 2.Eurocod 4. Common Unified Rules for Composite Steel and concrete Structures European Committee for Standardization. (CEN) ENV. 1994 – 1-1:1992. – 180 p.
- 3.Стороженко Л.І. і ін.. Сталезалізобетонні конструкції / Л.І.Стороженко, О.В.Семко, В.Ф.Пенц // Полтава: 2005. – 181 с.

#### ЗАЯВКА НА УЧАСТИЕ В КОНФЕРЕНЦИИ

Фамилия Лапенко  
Имя Александр  
Отчество Иванович  
Ученая степень д.т.н.  
Ученое звание доцент  
Должность зав.кафедры компьютерных технологий  
в строительстве  
Место работы Национальный авиационный  
университет  
Почтовый адрес г.Киев пр.Комарова 1  
Тел. 044 4067424 067 2347999  
Факс \_\_\_\_\_  
E-mail: My-partner@ukr.net  
Название доклада РОЗРАХУНОК СТИСНУТИХ ТА  
ЗІГНУТИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТУКЦІЙ В  
НЕЗНІМНІЙ ОПАЛУБЦІ  
Авторы Лапенко О.І., д.т.н., доц., Гришко.Г.І., інж.,  
Пономарьова Л.А., інж.  
Научное направление (подчеркнуть) – 5  
Форма участия (отметить [X]):

с устным докладом - [ x ]  
со стендовым докладом - [ ]  
в качестве слушателя - [ ]