

## **Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (12) 2014**

**Анотація.** У цьому документі розглядаються методи представлення міцності навантаженої злітно-посадкової смуги за допомогою емпіричних підходів відповідно до рекомендацій Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО) . ІКАО прийняла систему подання міцності покриттів аеродромів відому як класифікаційне число повітряного судна (АСН) і класифікаційне число міцності покриття (РСН) . У цій доповіді також розглядаються обмежень АСН - РСН системи і методи визначення значень АСН з використанням програмного комплексу COMFAA.

*Стаття надійшла до редакції у листопаді 2013р.*

**УДК 624.042.1**

Гарькава О.В., к.т.н., ст. викл.  
Горіна А.Г., студентка  
Дмитренко Ю.О., студент  
Височин Г.Г., студент<sup>19</sup>  
Полтавський національний технічний  
університет імені Юрія Кондратюка,  
м. Полтава, Україна

### **МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОЛОН БЕЗКАПІТЕЛЬНО-БЕЗРИГЕЛЬНОЇ КОНСТРУКТИВНОЇ СИСТЕМИ БУДІВЕЛЬ**

**Анотація.** Побудована просторова модель напружено-деформованого стану колони безкапітельно-безригельної конструктивної системи будівель, що працює в умовах косоного стиску. Використання запропонованої моделі дозволяє розробити методику розв'язання задач міцності косостиснутих елементів у інженерній практиці проектування.

**Ключові слова:** безкапітельно-безригельний каркас, колона, косий стиск, моделювання.

На сьогодні перед будівельниками постало принципове завдання – збільшення обсягів зведення комфортного та доступного житла, виконати яке можна тільки за допомогою

---

<sup>19</sup> © Гарькава О.В., Горіна А.Г., Дмитренко Ю.О., Височин Г.Г.

впровадження інноваційних будівельних конструкцій та технологій. Для реалізації поставленого завдання в житловому будівництві все частіше застосовуються збірно-монолітні конструктивні системи будівель. Вони дозволяють суттєво зменшити терміни, вартість будівництва та створити конструкції будівель з високою енергоефективністю. Саме такі показники має безкапітельно-безригельна каркасна конструктивна система, котра останнім часом набула широкого впровадження при зведенні житлових будівель у м. Полтава.

Введені в експлуатацію 16-поверхові житлові будинки по проспекту Богдана Хмельницького, 21, завершується будівництво на вул. Жовтневій, 60д (рис. 1), розпочата перша черга будівництва в с. Розсошенці. І це далеко не повний перелік прикладів застосування безкапітельно-безригельної конструктивної системи. Дана технологія за всіма показниками перевершує панельне і цегляне житлове будівництво та має ряд переваг перед монолітним [1 – 2]. Конструкція безригельного каркаса дозволяє реалізувати різні архітектурні та об'ємно-планувальні рішення і робить можливим будь-яке зовнішнє заповнення. Монтажні роботи можуть вестися в будь-яких погодних умовах.

Названі незаперечні плюси конструктивної системи, дозволяють говорити про неї як про інноваційну технологію, що в майбутньому займе лідируючі позиції серед систем домобудівництва. Система безкапітельно-безригельного каркасу є універсальною конструкцією для будівництва житлових, громадських, деяких промислових будівель, торгових центрів.

При проектуванні несучих елементів безкапітельно-безригельної конструктивної системи виникають труднощі

щодо врахування їх дійсного напружено-деформованого стану [3]. Зокрема, спирання плити на колону без консолей та капітелей (рис. 1, б) спричиняє виникнення явища косо́го стиску як в крайніх, так і в середніх колонах.



Рис. 1 – Житлова 16-ти поверхова будівля безкапітельно-безригельної конструктивної системи в процесі зведення (а), спирання надколонної плити на колону (б)

Велика кількість пропозицій щодо розрахунку міцності колон на косий стиск наведена в роботах М.С. Торяника та його учнів, зокрема в роботі [4] та інших. Впровадження в розрахунки міцності залізобетонних елементів нелінійної деформаційної моделі сприяє подальшому розвитку та вдосконаленню методик розрахунку косостиснутих елементів, що знайшло своє відображення в роботах А.М. Павлікова [5]. При цьому як показує робота [6], використання деяких спрощень при розробці деформаційних методик обчислення міцності залізобетонних елементів, що працюють при складних деформаціях, дозволяє отримати аналітичні

залежності для розрахунку, зручні для використання в інженерній практиці.

За мету роботи ставиться розробка просторової моделі напружено-деформованого стану колони при косому стиску на основі деформаційної моделі з використанням дволінійних діаграм стану матеріалів.

Для досягнення поставленої мети розглядається гранична рівновага косостиснутої залізобетонної колони безкапітельно-безригельної конструктивної системи будівель в момент її руйнування (рис. 2). Побудова просторової моделі напружено-деформованого стану елемента при косому стиску здійснюється в системі координат  $X_0Y_0Z_0$ . При цьому залежно від положення нейтральної лінії в перерізі елемента форми стиснутої та розтягнутої зон перерізу колони можуть змінюватися. Для розглядуваної системи вважаються справедливими передумови розрахунку, котрі регламентуються діючими нормами [7, 8]. При цьому процес деформування бетону й арматури описується розрахунковими дволінійними діаграмами за [7].

Для прийнятої системи координат  $X_0Y_0Z_0$  система рівнянь рівноваги зусиль у загальному вигляді, відповідно до рис. 2 має такий вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \int_{A_c} \int \sigma_c dA_c - \int_{A_{ct}} \int \sigma_{ct} dA_{ct} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} - N_{Ed} = 0; \\ \int_{A_c} \int \sigma_c y_{0,c} dA_c - \int_{A_{ct}} \int \sigma_{ct} y_{0,ct} dA_{ct} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} y_{0,si} + N_{Ed} e_{y0} = 0; \\ \int_{A_c} \int \sigma_c x_{0,c} dA_c - \int_{A_{ct}} \int \sigma_{ct} x_{0,ct} dA_{ct} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} x_{0,si} + N_{Ed} e_{x0} = 0, \end{array} \right. \quad (1)$$

## Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (12) 2014

де  $\sigma_c = f(x_{0,c}, y_{0,c}), \sigma_{ct} = f(x_{0,ct}, y_{0,ct})$  – закони розподілу напружень по перерізу відповідно стиснутої та розтягнутої зон бетону в системі координат  $X_0Y_0Z_0$ ;  $dA_c, dA_{ct}$  – елементарні значення площі відповідно  $A_c$  стиснутої та  $A_{ct}$  розтягнутої зон нормального перерізу;  $x_{0,c}, y_{0,c}, x_{0,ct}, y_{0,ct}$  – координати точок прикладання елементарних значень рівнодійних напружень в бетоні відповідно стиснутої та розтягнутої зон на рівні центра ваги елементарних ділянок  $dA_c$  та  $dA_{ct}$ ;  $N_{Ed}$  – поздовжня сила від зовнішнього навантаження;  $e_{y0}, e_{x0}$  – ексцентриситети прикладання сили  $N_{Ed}$  відносно осей  $X_0$  та  $Y_0$  відповідно;  $n$  – кількість арматурних стержнів;  $\sum_{i=1}^n \sigma_{st} A_{si}$  – алгебраїчна сума зусиль в  $n$  арматурних стержнях;  $\sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} y_{0,si}, \sum_{i=1}^n \sigma_{st} A_{si} x_{0,si}$  – алгебраїчні суми моментів зусиль у кожному із  $n$  стержнів поперечного перерізу відносно осей  $X_0$  і  $Y_0$  відповідно;  $\sigma_{si}$  – значення напруження на рівні центра ваги  $i$ -того арматурного стержня площею поперечного перерізу  $A_{si}$ .

Закон розподілення напружень  $\sigma_c = f(x_{0,c}, y_{0,c})$  уздовж стиснутої зони перерізу в системі координат  $X_0Y_0Z_0$  отримано з аналітичного опису розрахункової дволінійної діаграми стану бетону. Для цього спочатку одержаний закон розподілення напружень в стиснутій зоні бетону у системі координат  $XYZ$ , початок якої розташований у точці перетину нейтральної осі з висотою стиснутої зони. В системі



де  $y_c$  – координата волокна бетону стиснутої зони, напруження в якому дорівнюють  $\sigma_c$ ;  $X$  – висота стиснутої зони бетону;  $\lambda$  – рівень пластичності бетону,  $\lambda = 1 - \varepsilon_{c3,cd} / \varepsilon_{c(1)}$ ;  $\varepsilon_{c3,cd}$  – відносні деформації бетону стиснутої зони на межі трикутної ділянки епюри напружень;  $\varepsilon_{c(1)}$  – відносні деформації стиску бетону в найвіддаленішій від нейтральної лінії точці перерізу.

Функцію розподілення напружень по перерізу в системі координат  $X_0Y_0Z_0$  з (2 – 3) можна отримати шляхом переходу в цю систему координат із системи координат  $XYZ$ . Такий перехід здійснюється шляхом паралельного переносу системи координат  $XYZ$  в напрямі осі  $Y$  на відстань  $X$  та її повороту навколо осі  $Z$  проти годинникової стрілки на кут  $(180^\circ - \theta)$ , де  $\theta$  – кут нахилу нейтральної лінії до горизонтальної вісі симетрії перерізу.

Шукану функцію в системі координат  $X_0Y_0Z_0$  у загальному вигляді для бетону стиснутої зони одержано у вигляді:

$$\text{при} \begin{cases} 0 < y_{0,c} \leq \frac{\lambda X}{\cos \theta}; \\ 0 < x_{0,c} \leq \frac{\lambda X}{\sin \theta}, \end{cases} \quad \sigma_c = f_{cd}; \quad (4)$$

$$\text{при} \begin{cases} \frac{\lambda X}{\cos \theta} < y_{0,c} \leq \frac{X}{\cos \theta}; \\ \frac{\lambda X}{\sin \theta} < x_{0,c} \leq \frac{X}{\sin \theta}, \end{cases} \quad \sigma_c = \frac{f_{cd}(X - y_{0,c} \cos \theta - x_{0,c} \sin \theta)}{X - \lambda X} \quad (5)$$

Аналогічно можна отримати закон розподілення напружень  $\sigma_{ct} = f(x_{0,ct}, y_{0,ct})$  уздовж розтягнутої зони перерізу в системі координат  $X_0Y_0Z_0$ . Але оскільки робота бетону розтягнутої зони при рівнях завантаження, близьких до руйнівних, практично не впливає на міцність поперечного перерізу, тому впливом розтягнутого бетону пропонується знехтувати, приймаючи при  $\varepsilon_{ct} \leq 0$ ,  $\sigma_{ct} = 0$ .

Для розв'язання системи рівнянь (1) та визначення параметрів, що характеризують напружено-деформований стан косостиснутого елемента у момент руйнування, застосовується деформаційний критерій міцності у вигляді

$$\varepsilon_{c(1)} = \varepsilon_{cu3,cd}; \quad (6)$$

$$\varepsilon_{si} \leq \varepsilon_{ud}, \quad (7)$$

де  $\varepsilon_{cu3,cd}$  – граничні значення деформацій стиску бетону з дволінійної діаграми деформування;  $\varepsilon_{ud}$  – граничні значення деформацій розтягу арматури з дволінійної діаграми деформування. Для отримання залежності  $\theta = f(\beta)$  застосовується умова, доведена в роботі [5], відповідно до якої рівнодійні внутрішніх зусиль стиснутої та розтягнутої зон перерізу завжди розташовані із зовнішніми зусиллями в одній площині, котра складає кут  $\beta$  з вертикальною віссю симетрії перерізу (рис. 2).

Таким чином, прийняті передумови та допущення дали можливість змоделювати напружено-деформований стан залізобетонної колони безкапітельно-безригельної конструктивної системи будівель при косому стиску. Отримана розрахункова модель косостиснутого елемента



може бути в подальшому застосована для отримання спрощених розрахункових залежностей для визначення міцності таких елементів.

### **Список використаних джерел**

1. Павліков А.М. Впровадження безригельно-безкапітальної каркасної конструктивної системи в проектування будівель під соціальне житло / А.М. Павліков, О.В. Гарькава, Д.В. Безрукавий // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2013. – Вип.27. – С.352 – 359.

2. Павліков А.М. Використання ефективної конструктивної системи в будівлях під доступне житло / А.М. Павліков, О.В. Гарькава, А.Б. Батіг // Матеріали Всеукраїнської конференції молодих учених і студентів «Перспективи розвитку будівельної галузі» – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – С. 70 – 74.

3. Гарькава О.В. Моделювання безригельно-безкапітального просторового каркасу 16-поверхової житлової будівлі / О.В.Гарькава, Д.В. Безрукавий, Г.Г. Височин, Ю.О. Дмитренко // Матеріали Всеукраїнської конференції молодих учених і студентів «Перспективи розвитку будівельної галузі» – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – С.75 – 79.

4. Расчет железобетонных конструкций при сложных деформациях / Торяник М.С, Вахненко П.Ф., Фалеев Л. В. и др. ; под ред. М.С. Торяника. – М.: Стройиздат, 1974. – 297 с.

5. Павліков А.М. Нелінійна модель напружено-деформованого стану косозавантажених залізобетонних елементів у закритичній стадії : монографія / А.М. Павліков. – Полтава, 2007. – 320 с.

6. Бойко О.В. Оцінка міцності наскісно зігнутих балок на основі дволінійних діаграм деформування бетону та арматури: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.32.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / О.В. Бойко. – Полтава, 2010. – 22 с.

7. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.

8. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б В.2.6-156:2010. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 118 с.

**Аннотация.** Построена пространственная модель напряженно-деформированного состояния колонны безкапитально-безригельной конструктивной системы зданий, работающей в условиях косоого сжатия.

## **Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (12) 2014**

Использование предложенной модели позволяет разработать методику решения задач прочности кососжатых элементов в инженерной практике проектирования.

**Ключевые слова:** безкапитально-безригельный каркас, колонна, косое сжатие, моделирование.

**Annotation.** The spatial model of mode of deformation of a column of uncapital-ungirder structural system of the buildings working in the conditions of biaxial compression is developed. Using of the offered model allows developing a method of the solution of problems of strength of biaxial compressed elements in engineering practice of design.

**Keywords:** uncapital-ungirder structural system, column, biaxial compression, modeling.

*Стаття надійшла до редакції у листопаді 2013р.*

**УДК 004.896** Городецкий А.С., д.т.н., проф.,  
действительный член Академии строительства Украины,  
Барабаш М.С., к.т.н., доц., докторант НАУ,  
действительный член Академии строительства Украины,  
Судак В.С., действительный член Академии  
строительства Украины, директор МНИАЦ “ИНФОБУД”  
Печенов С.Л., руководитель группы программирования  
МНИАЦ “ИНФОБУД”<sup>20</sup>

### **КОМПЛЕКСНЫЕ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛНОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ (ВМ). ЗАРУБЕЖНЫЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

**Аннотация.** Статья посвящена актуальной проблеме комплексного проектирования и управления в строительной отрасли, современным

---

<sup>20</sup> © Городецкий А.С., Барабаш М.С., Судак В.С., Печенов С.Л.