

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.012

С. М. МИКИТЕНКО*

* Каф. залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Першотравневий проспект, 24, Полтава, Україна, 36001, тел.+38 (099) 658 33 28, ел. пошта mukuta@ Rambler.ru

РАЦІОНАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ БЕЗКАПІТЕЛЬНО-БЕЗБАЛКОВИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КАРКАСІВ БУДІВЕЛЬ

Мета. Застосування методів оптимізації до проектування монолітних безкапітельно-безбалкових залізобетонних каркасів із метою зменшення витрат арматурної сталі та бетону при їх будівництві. **Методика.** Застосування безкапітельно-безбалкових залізобетонних каркасів є перспективним напрямом для забезпечення громадян доступним житлом. Раціональне проектування безкапітельно-безбалкових залізобетонних каркасів будівель пропонується здійснювати методами структурно-параметричної оптимізації та дискретно-безперервного математичного програмування. Для вирішення поставленої задачі застосовуються методи умовної оптимізації. **Результати.** Розроблено алгоритм розрахунку каркасу багатоповерхової будівлі. Алгоритм реалізується доступними засобами та не потребує створення спеціальних комп'ютерних програм. **Наукова новизна.** Поєднання методів дискретної та безперервної оптимізації для розрахунку залізобетонних конструкцій. **Практичне значення.** Застосування методу дає змогу проектувати ефективні безкапітельно-безбалкові залізобетонні каркаси для будівництва доступного житла.

Ключові слова: безкапітельно-безбалкове перекриття; залізобетонний каркас будівлі; доступне житло; структурно-параметрична оптимізація

Вступ

Однією з основних проблем сучасного будівництва доступного житла є зниження вартості будинків за рахунок зменшення трудомісткості їх зведення, економії затрат матеріалів, застосування енергозаощаджувальних огорожувальних конструкцій. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є застосування удосконалених будівельних конструкцій. Найбільш розповсюдженою системою для житлового будівництва є стінова, котра при перехресному розміщенні несучих стін дозволяє будувати будинки до 25 поверхів висотою. Стіни в такій системі виконують як роль для огороження, так і сприймання вертикальних навантажень із одночасним виконанням функцій діафрагм жорсткості. Така система є ефективною в аспекті забезпечення жорсткості, стійкості та несучої здатності будинку, але вона нераціональна з позицій архітектурного планування, витрат матеріалів та енергозбереження. Лише при поперечному або поздовжньому розташуванні несучих стін можна покращити окремі техніко-економічні показники будинку, але кількість поверхів залежно

від відсутності або наявності діафрагм жорсткості обмежується 10-ма або 17-ма поверхами відповідно.

Зростання вимог до енергозбереження в багатоповерхових будинках загострює протиріччя, пов'язані з міцністю та опором теплопередачі матеріалів стін, тому є доцільним намагання розділити несучі та огорожувальні функції стін. Вирішення цієї проблеми можливе при застосуванні залізобетонних багатоповерхових каркасних будинків. Такі елементи каркасу як колони та діафрагми жорсткості проектуються тільки для сприйняття вертикальних та горизонтальних зусиль, а ненесучі стіни виконуються з ефективно енергозберігаючих матеріалів. Прототипами каркасної конструктивної системи є рамна, в'язева та рамно-в'язева. Названі прототипи можуть бути як балковими, так і безбалковими.

Балкові каркаси з роздільним спіранням плит на ригелі та ригелів на консолі колон не отримали розповсюдження в житловому будівництві, але їх збірно-монолітні системи з плитними ригелями отримали розвиток у таких системах як «Сочі», «САРЕТ», «РАДИУСС» [5]

© С. М. Микитенко, 2014

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

«Аркас», «КУБ» [3], «Казань XXI в» та інші почали застосовувати при будівництві житла. Також останнім часом широке розповсюдження отримали безкапітельно-безбалкові каркаси, які складаються з безбалкового перекриття та колон без виступаючих частин.

Мета

У даній статті пропонується оптимізаційний підхід до проектування монолітних безкапітельно-безбалкових залізобетонних каркасів із метою зменшення витрат арматурної сталі та бетону при їх будівництві.

Методика

Безбалкові перекриття з колонами без капітелей (рис.1) являють собою найбільш прості конструкції, котрі складаються із залізобетонних плит однакової товщини і колон постійного перерізу. Така конструкція спрощує опалубку та бетонування, економічно доцільна там, де не потрібно облаштування підвісних стель для інженерних комунікацій. Вперше такі перекриття були застосовані ще в 1940 р. при будівництві будинків у містах Ньюарк та Атлантик-Сіті (США) [6]. Потім така конструкція перекриття почала широко застосовуватися в Австралії [7].

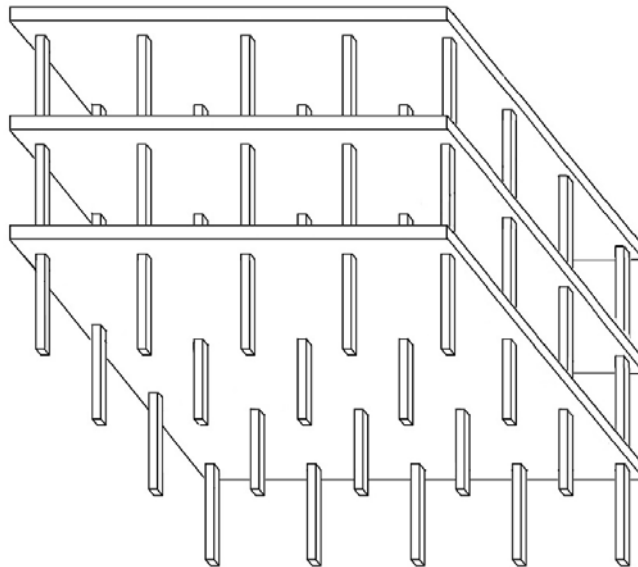


Рис. 1. Загальний вигляд безкапітельно-безбалкового каркасу

У зв'язку з тим, що при безкапітельних конструкціях колони мають постійний переріз, їх легко сполучати із стінами та перегородками між колонами. Тому вони зручні для житлових будинків та адміністративних будівель.

При застосуванні безкапітельно-безбалкових каркасів у монолітному будівництві будинків місця розташування колон, величини прольотів, розміри перерізів елементів жорстко не регламентуються, тому тут можливий пошук оптимальних значень названих параметрів.

Конструкція зовнішніх колон або пілонів залежить від їх місця розташування відносно зовнішньої стіни. Колона може бути розташована перед зовнішньою стіною, в межах її або усередині будівлі (рис. 2). Розташування конструкцій перед зовнішньою стіною (див. рис. 2, а) може бути продиктоване вимогами: архітек-

турними, планувальними (збільшення вільних площ перекриття), більш простим конструюванням і виконанням зовнішніх стін, перегородок, більш простим розташуванням інженерних комунікацій біля стін, спрощенням протипожежного захисту конструкцій тощо. З іншого боку, для колон, розташованих перед зовнішньою стіною, виникає проблема конструювання й облицювання, оскільки вони сприймають великий перепад температури в порівнянні з внутрішнім об'ємом будівлі, зокрема може виникнути місток холоду в місці з'єднання перекриттів із зовнішніми стінами. Розташування колон у площині зовнішньої стіни (див. рис. 2, б) застосовується в основному в масивних конструкціях, коли колони з'єднуються з кладкою зовнішньої стіни.

При розташуванні колон біля зовнішньої стіни з її внутрішнього боку (див. рис. 2, в)

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

спрощується конструкція зовнішньої стіни, відсутні містки холоду та великі перепади температур, проте в цьому випадку можуть виникнути ускладнення з конструкціями перегородок і розміщенням комунікацій. При розташуванні

колон усередині будівлі (див. рис. 2, з) конструкція перекриття має консоль, яка дозволяє зменшувати згинальні моменти в перекритті, конструкція стіни більш однорідна, відсутні містки холоду.

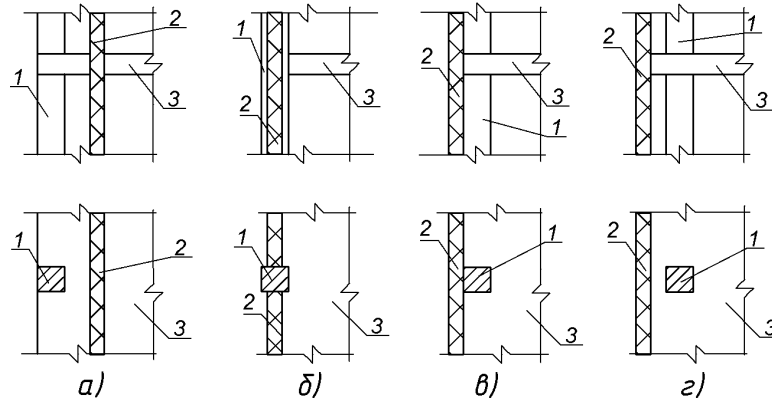


Рис. 2. Варіанти розміщення колон відносно зовнішніх стін:

а – ззовні будівлі; б – в площині стіни; в – біля стіни; з – в середині будівлі; 1 – колона; 2 – зовнішня стіна; 3 – перекриття

Результати

Раціональне проектування безкапітельно-безбалкових залізобетонних каркасів будівель пропонується здійснювати методами структурно-параметричної оптимізації та дискретно-безперервного математичного програмування [1]. Оптимізація здійснюється за допомогою алгоритмів математичного програмування. В процесі структурно-параметричної оптимізації змінюються параметри елементів, які входять до складу каркасу та його структури.

Застосування методів оптимізації до вирішення задач зменшення вартості безкапітельно-безбалкових перекриттів дається в наступних роботах [8-11]. Авторами застосовувалися спеціальні алгоритми та розроблені для них комп'ютерні програми.

Задача полягає в тому, що необхідно запроєктувати безригельно-безбалкове перекриття мінімальної вартості для будівлі з розмірами $B \times L$. Витрати бетону та арматури залежать від кількості n_x , n_y та розмірів прольотів l_x та l_y , товщини плити h_s , кількості колон n_c , на яку спирається перекриття (рис. 3).

Цільова функція являє собою суму вартості арматури та бетону для всього каркасу

$$C = (BLh_s + h_c^2 H_{II} n_c) C_{\bar{o}} + 7,85 C_a \sum_{i=1}^m V_{si}, \quad (1)$$

де V_{si} об'єм арматури для окремих ділянок перекриття

$$V_{s1} = A_{sx1} l_{sx1} l_y (n_y + 1); \quad (2)$$

$$V_{s2} = A_{sx2} l_{sx2} l_y n_y; \quad (3)$$

$$V_{s3} = 0,5 A_{sx3} l_{sx3} l_y n_x (n_y + 1); \quad (4)$$

$$V_{s4} = 0,5 A_{sx4} l_{sx4} l_y n_x n_y; \quad (5)$$

$$V_{s5} = 0,5 A_{sx5} l_{sx5} l_y (n_x - 1)(n_y + 1); \quad (6)$$

$$V_{s6} = 0,5 A_{sx6} l_{sx6} l_y (n_x - 1) n_y; \quad (7)$$

$$V_{s7} = A_{sy1} l_{sy1} l_x (n_x + 1); \quad (6)$$

$$V_{s8} = A_{sy2} l_{sy2} l_x n_x; \quad (7)$$

$$V_{s9} = 0,5 A_{sy3} l_{sy3} l_x n_y (n_x + 1); \quad (8)$$

$$V_{s10} = 0,5 A_{sy4} l_{sy4} l_x n_y n_x; \quad (9)$$

$$V_{s11} = 0,5 A_{sy5} l_{sy5} l_x (n_y - 1)(n_x + 1); \quad (10)$$

$$V_{s12} = 0,5 A_{sy6} l_{sy6} l_x (n_y - 1) n_x; \quad (11)$$

$$V_{s13} = A_{sc} H_{II} n_c. \quad (12)$$

Площі арматур A_{si} визначаються для кожної ділянки згідно з рекомендаціями наведених в [2], а зусилля в елементах каркасу та плитах із статичного розрахунку – з використанням методу еквівалентних рам [4].

Змінні параметри l_x та l_y являють собою континуальні величини, а n_x та n_y – дискретні.

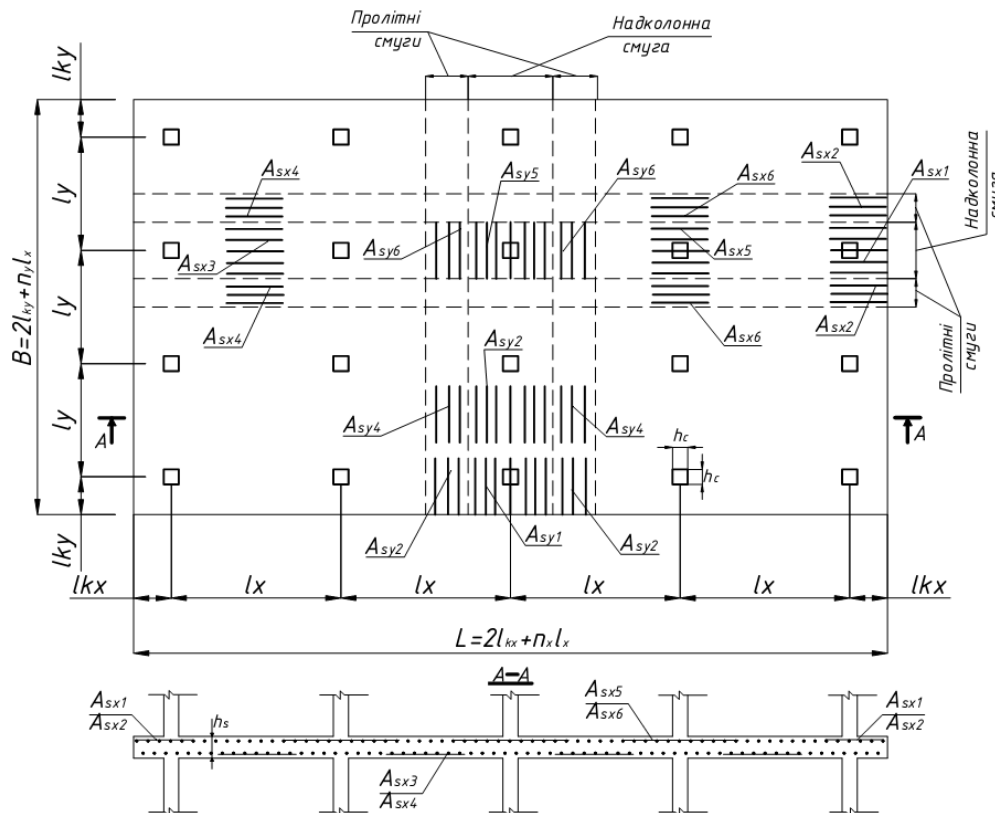


Рис. 3. Змінні параметри проектування монолітного безкапітельно-безбалкового каркасу

Пропонується в якості параметрів оптимізації прийняти розміри прольотів перекриття l_x та l_y , а інші складові цільової функції будуть функціонально залежати від них. Кількість прольотів у напрямку L та B визначаються залежностями

$$n_x = \left\lfloor \frac{L}{l_x} \right\rfloor, \quad n_y = \left\lfloor \frac{B}{l_y} \right\rfloor, \quad (13)$$

де вираз в $\lfloor \rfloor$ дужках являє собою цілу частину дробу.

Кількість колон визначається формулою

$$n_c = (n_x + 1)(n_y + 1). \quad (14)$$

В процесі розрахунку необхідно перевіряти дотримання умов тріщиностійкості та деформативності плит

$$\left. \begin{aligned} a_{erc} &\leq [a_{erc}] \\ f &\leq [f] \end{aligned} \right\}. \quad (15)$$

Умова (16) є обмеженням в алгоритмі умовної оптимізації цільової функції (1).

Для розв'язування оптимізаційної задачі була застосована вбудована в табличний процесор MS Excel програма Solver. Процедура умовної оптимізації в Excel 2007 викликається командою «Данные/Анализ/Поиск решения». Результатом розв'язування оптимізаційної задачі є значення параметрів A_{si} , l_x , l_y , n_x та n_y , при яких цільова функція (1) буде мінімальною.

Висновки

1. На основі методів умовної оптимізації розроблено алгоритми раціонального проектування безкапітельно-безбалкових залізобетонних каркасів будівель.

2. Розроблений алгоритм дає можливість визначити раціональні параметри елементів, які входять до складу каркасу, методами структурно-параметричної оптимізації.

3. Для реалізації алгоритму було застосовано доступну програму Solver в складі табличного процесора MS Excel.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Батищев, Д. И. Методы оптимального проектирования: учеб. пособие для вузов. [Текст] / Д. И. Батищев. – Москва : Радио и связь, 1984. – 248 с.
2. Микитенко, С. М. Застосування оптимізаційних методів до розрахунку міцності залізобетонних елементів [Текст] / С. М. Микитенко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика: зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 3. – С. 124-126.
3. Особливості конструктивної системи збірно-монолітних каркасних багатопверхових будівель під соціальне житло [Текст] / А. М. Павліков, В. А. Пашинський, С. М. Микитенко, М. М. Губій, Є. М. Бабич, Б. М. Петтер // Ресурсоekonomні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Вип. 20. – Рівне : НУВГП, 2009. – С. 390-395.
4. Рекомендации по проектированию железобетонных монолитных каркасов с плоскими перекрытиями [Текст] / Москва : НИИЖБ Госстроя России, 1993. – 45 с.
5. Семченков, А. С. Обоснование регионально-адаптируемой индустриальной универсальной строительной системы "РАДИУСС" // Бетон и железобетон. – 2008. – № 4. – С. 2-6.
6. Di Stasio, J. Flat Plate Rigid Frame Design Of Low Cost Housing Projects In Newark And Atlantic City / J. Di Stasio // N. J. Proc. American Concrete Institute. Vol. 37, 1941. – P. 309-324.
7. Blakey, F. A. Towards an Australian structural form – the flat plate./ F. A. Blakey // Architecture in Australia. – Vol. 54, 1965. P. 115-127.
8. Hadi, M. N A new formulation for the geometric layout optimisation of flat slab floor systems [Electronic resource] / M. N. Hadi, P. Sharafi, L. H. Teh // Australasian Structural Engineering Conference (ASEC 2012) p. 1-8. Australia: Engineers Australia. Access Mode : URL :http://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=3014&context=eispapers. – Date of Access: 22 August 2014.
9. Patil, K .S. Minimum Cost Design of Reinforced Concrete Flat Slab [Текст]/ K. S. Patil, N. G. Gore, P .J. Salunke // International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), Volume-2, Issue-6, January 2014? pp 78-80.
10. Sahab, M. G. Sensitivity of the optimum design of reinforced concrete flat slab buildings to the unit cost components and characteristic material strengths [Текст] / M. G. Sahab // Asian Journal Of Civil Engineering (Building And Housing) Vol. 9, №. 5 (2008) P. 487-503.
11. Zandi, Y. Effect of Layout and Size Optimization Conditions in Architectural Design of Reinforced Concrete Flat Slab Buildings [Текст] /Y. Zandi, R. Naziri, R Hamedani // Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences, Vol 2 (5) April 2013: p. 62-68.

С. Н. МИКИТЕНКО*

* Каф. Железобетонных и каменных конструкций и сопротивления материалов, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Первомайский проспект, 24, Полтава, Украина, 36011, тел. +38 (099) 658 33 28, эл. почта mukuta@rambler.ru

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕЗКАПИТЕЛЬНО-БЕЗБАЛОЧНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КАРКАСОВ ЗДАНИЙ

Цель. Применение методов оптимизации к проектированию монолитных безкапитально-безбалочных железобетонных каркасов с целью уменьшения расходов арматурной стали и бетона при их строительстве. **Методика.** Применение безкапитально-безбалочных железобетонных каркасов является перспективным направлением для обеспечения граждан доступным жильем. Рациональное проектирование безкапитально-безбалочных железобетонных каркасов зданий предлагается осуществлять методами структурно-параметрической оптимизации и дискретно-непрерывного математического программирования. Для решения поставленной задачи применяются методы условной оптимизации. **Результаты.** Разработано алгоритм расчета каркаса многоэтажного здания. Алгоритм реализуется доступными средствами и не нуждается в создании специальных компьютерных программ. **Научная новизна.** Сочетание методов дискретной и непрерывной оптимизации для расчета железобетонных конструкций. **Практическая значимость.** Применение метода дает возможность проектировать эффективные безкапитально-безбалочные железобетонные каркасы для строительства доступного жилья.

Ключевые слова: безкапитально-безбалочное перекрытие; железобетонный каркас здания; доступное жилье; структурно-параметрическая оптимизация

SERGEY MYKYTENKO*

* Dept. of Reinforce-concrete and lithoidal constructions and resistance of materials, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, 24 Pershotravneva Avenue Poltava, Ukraine, 36011, tel.+38 (099) 658 33 28, e-mail mukuta@rambler.ru

RATIONAL PLANNING OF FLAT PLATE REINFORCE-CONCRETE FRAMEWORKS OF BUILDING

Purpose. Application of methods of optimization to planning of monolithic flat plate reinforced concrete frameworks with the purpose of reduction of charges of armature steel and concrete at their building. **Methodology.** Application of flat plate reinforced concrete frameworks is perspective direction for providing of citizens an accessible accommodation. The rational planning of flat plate reinforced concrete frameworks of building it is suggested to carry out the methods of structurally self-reactance optimization and discretely continuous mathematical programming. For a decision the set problem the methods of the constrained optimization are used. **Findings.** . The algorithm of calculation of framework of much-storied building is worked out. An algorithm will be realized by accessible facilities and does not need creation of the special computer programs. **Originality.** Combination of methods of discrete and continuous optimization for the calculation of reinforced concrete constructions. **Practical value.** Application of method gives an opportunity to design effective flat plate reinforced concrete frameworks for building of accessible accommodation.

Keywords: flat plate ceiling; reinforced concrete framework building; low cost housing; structurally self-reactance optimization

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Є. В. Клименком (Україна), д.т.н., проф. Д. О. Банников (Україна).

Надійшла до редколегії 28.08.2014.

Прийнята до друку 26.09.2014.