УДК 624.012.35 **DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.151.2015.68829**

РОЗРАХУНОК НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІЗАЛІЗОБЕТОННИХ МІЖКОЛОННИХ ПЛИТ БЕЗКАПІТЕЛЬНО-БЕЗБАЛКОВИХ ПЕРЕКРИТТІВ МЕТОДОМ ГРАНИЧНОЇ РІВНОВАГИ

К-т техн. наук С.М. Микитенко

РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МЕЖКОЛОННЫХ ПЛИТ БЕЗКАПИТЕЛЬНО-БЕЗБАЛОЧНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ МЕТОДОМ ПРЕДЕЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ

К-т техн. наук С.Н. Микитенко

THE BEARING CAPACITY CALCULATION REINFORCEDCONCRETE INTERCOLUMNAR SLABS OF THE FLAT SLAB CONSTRUCTION BY MEANS OF THE MAXIMUM EQUILIBRIUM METHOD

Ph.D., Associate Professor S.N. Mykytenko

Перспективним напрямом застосовування збірних конструкцій є індустріальний безкапітельно-безбалковий каркас (система типу «КУБ»). Внутрішні зусилля у плитах перекриття такого каркасу розподіляються нерівномірно, тому доцільно армувати плити відповідно до методики побудови епюри матеріалів. Така методика передбачає улаштування обривів поздовжньої арматури. В основу розрахунку покладено кінематичний спосіб методу граничної рівноваги. Запропонований підхід дозволяє враховувати схему обпирання плит, характер прикладання до них навантаження та зменшення витрати арматурної сталі на 15 відсотків.

Ключові слова: *залізобетон, несуча здатність, теорія граничної рівноваги,міжколонна плита, обрив поздовжньої арматури.*

Перспективным направлением применения сборных конструкций является индустриальный безкапительно-безбалковый каркас (система "КУБ"). Внутренние усилия в плитах перекрытия

такого каркаса распределяются неравномерно, потому целесообразно армировать плиты в соответствии с методикой построения эпюры материалов. Такая методика предусматривает выполнение обрывов продольной арматуры. В основу расчета положен кинематический способ метода предельного равновесия. Предложенный подход позволяет учитывать схему загружения плит, характер прикладывания к ним нагрузки и уменьшить расходы арматурной стали на 15 процентов.

Ключевые слова:*железобетон, несущая способность, теория предельного равновесия, межколонная плита, обрыв продольной арматуры.*

Thepromisingfield of efficient precast structures application is industrial flat plate framework (of "CUBE" system type).For today, this framework has undergone many improvements, and therefore it can be recommended for solving the tasks of the program for providing citizens with affordable housing.Columns, inflexibility elements and floor slabs are included into the framework composition.Internal forces in slabs are distributed unevenly, that is why it is reasonable to reinforce slabs according to the methodology of the materials curve construction.This methodology envisages arranging of longitudinal concrete reinforcement breakages.

The kinematic variant of the maximum equilibrium method is the basis of calculation in the present study. Therefore, the aim of the present study was development of the methodology for calculation of precast floor slabs of the flat plate framework structural system's bearing strength on the basis of kinematic variant of maximum equilibrium method using the optimization methods.

The suggested approach allows taking into consideration the floor slab-wall junction scheme and the character of the load application to them.Floor slabs with the precipices of longitudinal concrete reinforcement more answer the terms of internal forces distribution, which permits to reduce the framework steel costs. Savingscanmakefrom 15 to 25%.

Keywords: *Reinforced concrete, bearing, theory of maximum equilibrium, intercolumnar floor slab, longitudinal concrete reinforcement breakages.*

Вступ. Сучасне будівництво потребує вирішення проблем зниження вартості будівель і споруд за рахунок зменшення трудомісткості їх зведення, економії затрат матеріалів, застосування енергозаощаджувальних огороджувальних конструкцій. Одним із шляхів розв'язання задач, пов'язаних з цими проблемами, є застосування індустріальних залізобетонних конструкцій, які успішно застосовуються як при новому будівництві, так і в процесі реконструкції будівель і споруд. Серед таких конструкцій особливо виділяється безкапітельно-безбалковий каркас (рис.1) конструктивної системи «КУБ» [1, 2], котрий почав застосовуватися майже сорок років тому, зазнав багатьох змін і на сьогодні пропонується для виконання програми забезпечення доступним житлом в Україні [3, 4].

Аналіз останніх досліджень. Теорія розрахунку плит розроблялася багатьма науковцями. Загальним у ній було те, що розрахунки базувалися на експериментальних даних про характер і форми руйнування таких плит. Дослідження виявили особливості руйнування плит уздовж окремих ліній у вигляді шарнірів пластичності. Така особливість роботи даних плит спонукала дослідників застосовувати нові підходи та принципи при розробленні методів розрахунку їх міцності. При цьому можна стверджувати, що вони ґрунтуються на методах теорії граничної рівноваги [5], особливостях роботи плоскої системи [1], представленні моделей просторової роботи [6], скінченних елементах із фізичною нелінійністю [7] тощо. Але, незважаючи на значну кількість досліджень і пропозицій із розрахунків, на сьогодні залишається актуальною задачею розрахунок несучої здатності плоских плит у складі безкапітельно-безбалкових залізобетонних каркасів, котрі є найбільш конкурентноздатними при будівництві будівель доступного житла [3].

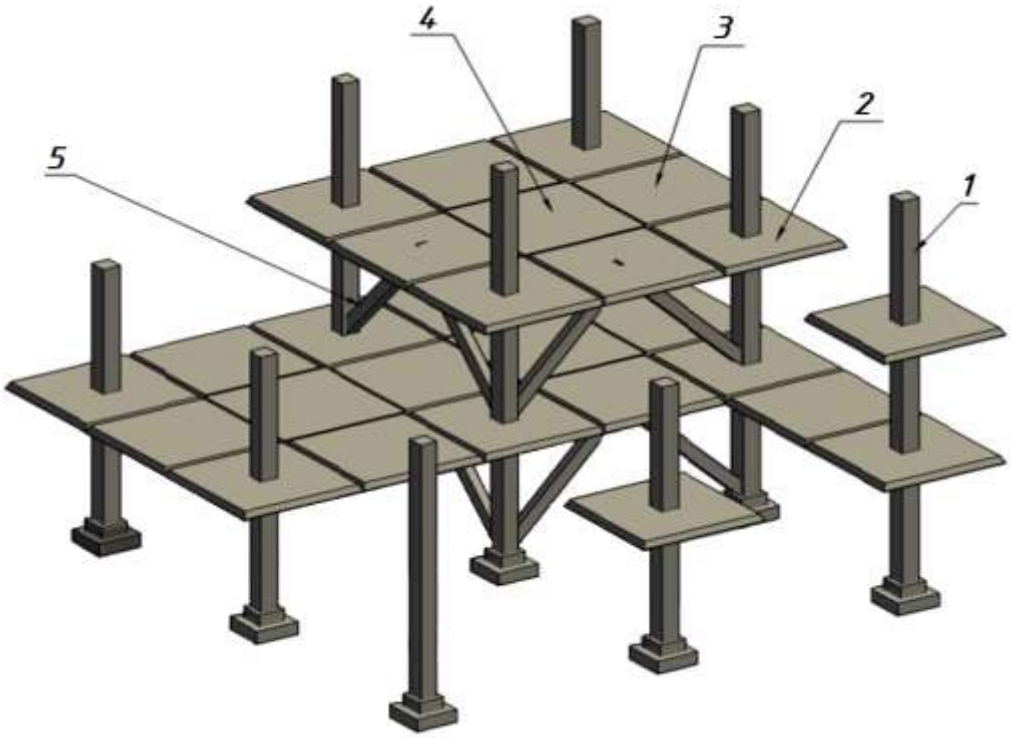

Рис. 1. Конструкція залізобетонного безкапітельно-безбалкового збірного каркаса будівлі: 1 – колона; 2 – надколонна плита; 3 – міжколонна плита; 4 – середня плита; 5 – вертикальна в'язь

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Безкапітельно-безбалковий каркас поки що недостатньо вивчений і застосовується у будівлях як експериментальний, тому потребує ретельного дослідження його роботи і розроблення рекомендацій із розрахунку міцності окремих елементів. Про недостатність вивчення роботи цієї системи свідчить те, що, наприклад, у роботі [2] статичний розрахунокбезкапітельно-безбалкового каркасу пропонується виконувати як для системи взаємно перпендикулярних рам. Але такий підхід не відображає дійсної роботи елементів каркасу в складі будівлі, і тому приводить до неефективного використання арматури. За результатами експериментально-теоретичних досліджень [8], у конструкціях плит безкапітельно-безбалкового перекриття виявлені запаси міцності, що є резервом для удосконалення таких конструкцій.

Постановка мети і задач досліджень. Метою даного дослідження поставлено задачу розроблення розрахунку міцності міжколонної плити на основі кінематичного способу методу граничної рівноваги. Особливість розрахунку полягає в тому, щоб зекономити робочу арматуру за рахунок її обривання у приопорній зоні для різних схем руйнування.

В основу серії "КУБ" покладено залізобетонний каркас для багатоповерхових будівель із безбалковими перекриттями [9]. Особливістю конструктивної системи є відсутність традиційних балкових ригелів і використання багатоповерхових колон без виступаючих частин. Плити між собою з'єднуються за допомогою петльового стику (стик Передерія Г.П.), зображеного на рисунку 2, *а*. Збірні плити локально спираються безпосередньо на колони через бетонні шпонки (рис. 2, *б*). Просторова жорсткість і стійкість каркасу, який працює за рамною або рамно-в'язевою схемами, повинні забезпечуватися надійною роботою монолітних стиків між елементами [3].

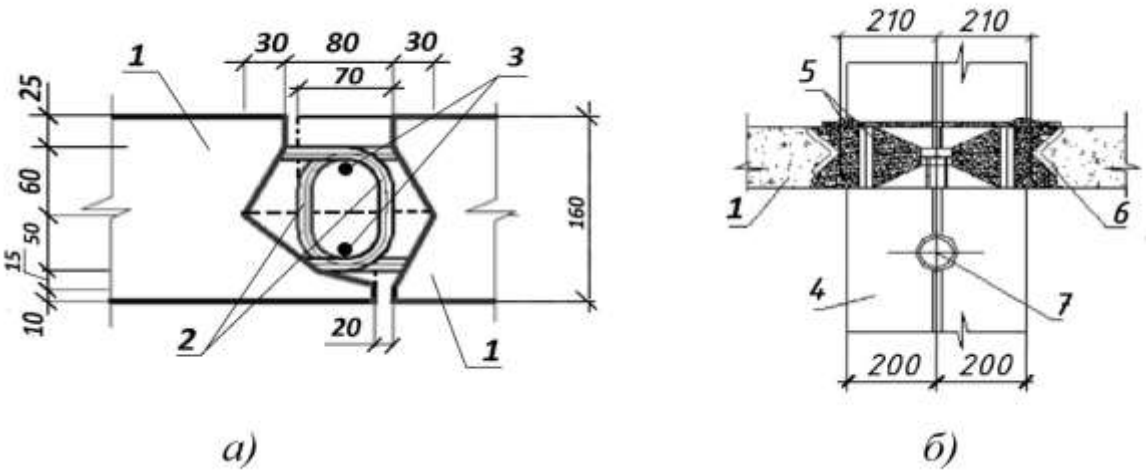

Рис.2. Конструкції вузлів з'єднання: *а)* – плит перекриття між собою; *б)* – надколонної плити з колоною; 1 – плита; 2 – петльові випуски арматури; 3 – монтажна арматура; 4 – колона; 5 – бетонна шпонка; 6 – сталеве обрамлення отвору в плиті; 7 – отвір для установлення пристосування для монтажу плити

Номенклатура виробів каркаса включає в себе одно- двох- та триповерхові колони, надколонні, міжколонні та середні плити розміром 3х3 м і товщиною 160 мм, залізобетонні хрестоподібні в'язі, що встановлюються в площини рами, і діафрагми жорсткості, котрі встановлюються не в площині рами, а в швах стикування плит перекриттів. Окрім цього, до складу номенклатури входять сходові марші та інші конструкції. Повна номенклатура виробів для рамно-в'язевої системи освоєна на заводі залізобетонних виробів ПАТ "Комбінат виробничих підприємств" у м. Полтаві.

При детальному аналізі роботи диска перекриття як системи з'єднаних між собою збірних плит виявляється, що навантаження на колони передається у такій послідовності (рис. 3): середня плита передає навантаження на чотири сусідні міжколонні плити; міжколонні плити передають навантаження на надколонні плити; надколонні плити на – колони. Тому армування плит раціонально виконувати за розрахунками, які реалізують наведену на рисунку 3 схему передавання навантаження з плити на плиту в збірному безкапітельно-безбалковому каркасі. Також при такій схемі передавання навантаження кожна плита матиме свою схему руйнування, на основі якої реалізується її розрахунок. Зокрема для міжколонної плити розглядається схема навантаження, зображена на рисунку 4.

Основна частина дослідження. Розрахунок за методом граничної рівноваги дає можливість знаходити граничну несучу здатність системи, при якій усі елементи залишаються цілими, але система вже не може сприймати подальший приріст навантаження. В основу розрахунку за методом граничної рівноваги покладено діаграми ідеального пружно-пластичного тіла або діаграми Прандтля (рис. 5). О.О. Гвоздєв запропонував і застосував жорстко-пластичний метод розрахунку залізобетонних конструкцій у їх пластичній стадії роботи [10]. У цій моделі повністю нехтують пружними деформаціями, оскільки конструкція вважається такою, що не деформується, поки зусилля в будь-якому перерізі не стануть рівними граничному значенню та не виникне можливість появи пластичних деформацій, після чого розпочинається переміщення конструкції.

В основу розрахунку міжколонної плити покладено кінематичний спосіб методу граничної рівноваги. Суть цього методу полягає в наступному: якщо на плиту діє рівномірно розподілене навантаження інтенсивністю q і зосереджене навантаження P, то у загальному

випадку гранична рівновага плити у момент її руйнування описується рівнянням рівності віртуальних робіт $W_{q,P}$ та W_M від зовнішніх і внутрішніх зусиль на можливих відповідних переміщеннях:

$$W_{q,P} = W_M \,. \qquad (1)$$

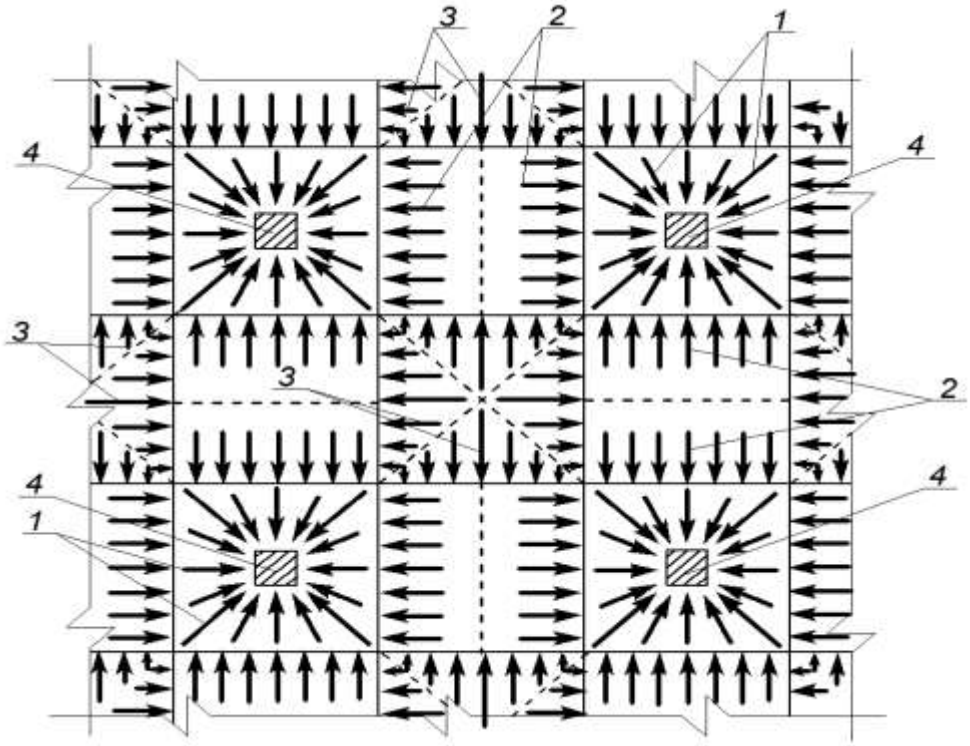

Рис. 3. Розрахункова схема передавання навантаження в збірному безкапітельно-безбалковому каркасі: 1 – із надколонних плит на колону;
2 – із міжколонних плит на надколонні плити; 3 – із середніх плит на міжколонні плити; 4 – колони

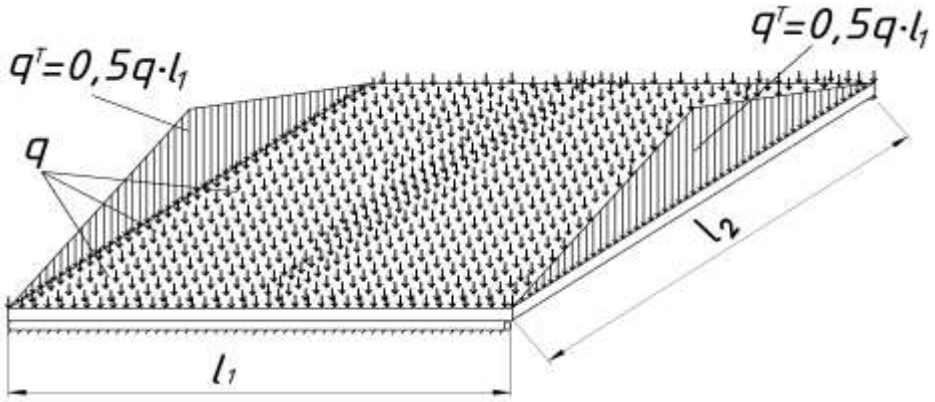

Рис. 4. Схема навантаження міжколонної плити

Для випадку міжколонних залізобетонних плит (рис. 4) умова (1) набуває вигляду: $\int_A y_q \cdot q \cdot dA + \sum_{j=1}^{k} P_j y_j = \sum_{i=1}^{n} m_i \cdot \varphi_i \cdot l_i$, (2)

де y_q – переміщення плити у напрямку дії навантаження q;

y_j – переміщення плити у напрямку дії навантаження P_j;

m_i – момент в *i*-му лінійному пластичному шарнірі на одиницю його довжини;

φ_i – кут повороту диска в *i*-му лінійному пластичному шарнірі;

l_i – довжина *i*-го пластичного шарніра;

n – кількість розглядуваних ділянок лінійних пластичних шарнірів;

k – кількість прикладених сил P.

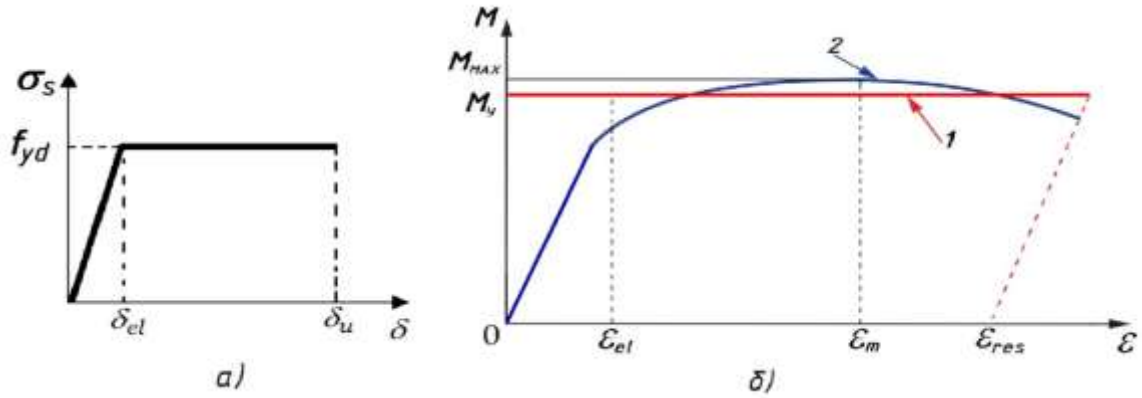

Рис. 5. Діаграми Прандтля: *а*) – для розтягнутої арматури; *б*) – для залізобетонного елемента; 1 – ідеалізована жорстко-пластична; 2 – реальна

Внутрішні зусилля у плитах розподіляються нерівномірно, тому доцільно армувати плиту відповідно до методики побудови епюри матеріалів, тобто з обривами поздовжньої арматури.

В основу методики розрахунку покладено такі передумови:

– у граничному стані плити можуть руйнуватися за двома кінематичними схемами (рис. 6);

– плити мають обриви робочих арматурних стержнів на довжину a (рис. 7) уздовж сторін, котрі спираються на надколонні плити, при цьому виконується умова рівноміцності плит за першою та другою кінематичними схемами руйнування (рис. 6);

– у момент досягнення конструкцією стану граничної рівноваги напруження в арматурі досягають значень, що відповідають межі текучості сталі f_{yd};

– у момент руйнування плити розділяються шарнірами пластичності на окремі абсолютно жорсткі диски;

– місця обривів і кількість арматури визначаються за умови мінімальної площі арматури, необхідної для армування плити.

У плиті в її граничному стані діють граничні рівномірно розподілені згинальні моменти m_y (рис. 8). Значення моменту m_y на одиницю довжини можна обчислити за таким виразом:

$$m_y = \frac{A_{sx} f_{yd} z_{sx}}{S_y}, \qquad (3)$$

де A_{sy} – площа одного арматурного стержня, розташованого уздовж осі X;

z_{sx} – значення плеча внутрішньої пари сил;

S_y – крок стержнів у арматурній сітці уздовж осі X.

Для випадку, коли плита руйнується за першою кінематичною схемою (рис. 6, *а*), рівняння віртуальних робіт (2) матиме вигляд

$$\frac{q l_1 l_2 f_1}{2} + \frac{q^T l_2 f_1}{3} = 2 M_1 \varphi_1. \qquad (4)$$

Граничний згинальний момент, який може сприймати пластичний шарнір визначається залежністю

$$M_1 = m_y l_1. \qquad (5)$$

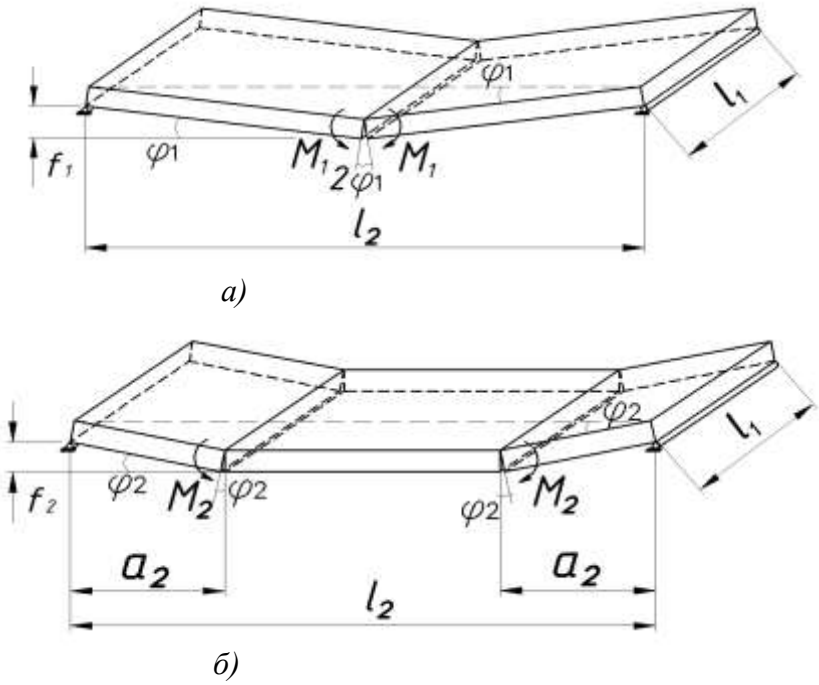

Рис. 6. Утворення лінійних пластичних шарнірів у міжколонній плиті за першою *а)* та другою *б)* кінематичними схемами

Якщо врахувати те, що міжколонна плита має квадратну форму $(l_1 = l_2)$, переміщення посередині прольоту $f_1 = 0{,}5 l_2 \varphi_1$ при умові $\varphi_1 \approx tg\varphi_1$, а навантаження $q^T = 0{,}5 q l_1$, тоді рівняння віртуальних робіт (4) набуде вигляду

$$\frac{q l_1^3}{4} + \frac{q l_1^3}{6} = 2 m_y l_1. \qquad (6)$$

Граничне навантаження на міжколонну плиту буде дорівнювати

$$q = \frac{24 m_y}{5 l_1^2}. \qquad (7)$$

Для випадку, коли пластичні шарніри утворюються в місцях обривів арматури (рис. 6, *б*), граничний згинальний момент, який можуть сприймати пластичні шарніри, дорівнює:

$$M_2 = m_y k_m l_1; \qquad (8)$$

де $k_m = M_2 / M_1$.

Рівняння віртуальних робіт для цього випадку матиме вигляд

$$q\left(l_1^2 a_2 - l_1 a_2^2\right)\varphi_2 + q\frac{3 l_1^2 a_2 - 4 a_2^3}{6}\varphi_2 = 2 m_y k_m l_1 \varphi_2. \qquad (9)$$

Граничне навантаження на плиту буде дорівнювати

$$q = \frac{12 m_y k_m l_1}{a_2(9 l_1^2 - 6 l_1 a_2 - 4 a_2^2)} \qquad (10)$$

Якщо прирівняти вираз (7) до виразу (10) і виконати належні перетворення при $k_l = a_2 / l_1$, то отримаємо рівняння відносно k_l

$$-8 l^3 k_l^3 - 12 l^3 k_l + 18 l^3 k_l - 5 l_l^3 k_m = 0 \qquad (11)$$

Чисельне рішення такого рівняння при $k_m = 0{,}5$ дає результат $k_l = 0{,}157$.

Площа робочої арматури в плиті визначається за формулою

$$A_{sx} = \frac{5ql_1^2 S_y}{24 f_{yd} Z_{sx}}. \quad (12)$$

Висновки. Застосування кінематичного способу теорії граничної рівноваги дає можливість розрахувати оптимальне армування. Запропонований підхід дозволяє враховувати схему обпирання плит і характер прикладання до них навантаження. Плити з обривами поздовжньої арматури краще відповідають умовам розподілу внутрішніх зусиль, що дозволяє зменшити витрати арматурної сталі на 15%.

Список використаних джерел

1. Дорфман, А.Э. Проектирование безбалочных бескапительных перекрытий [Текст] / А.Э. Дорфман, Л.Н. Левонтин. – М.: Стройиздат, 1975, –124 с.
2. Унифицированная система сборно-монолитного безригельного каркаса. Основные положения по расчету, монтажу и компоновке зданий: Рабочий проект у 9-ти выпусках. Серия КУБ-2,5. Выпуск 1-1. [Текст] / ЦНИИПИ “МОНОЛИТ”, Фирма “КУБ”. – М.: Госкомархитектуры СССР, 1990. – 49 с.
3. Павліков, А.М. Особливості конструктивної системи збірно-монолітних каркасних багатоповерхових будівель під соціальне житло [Текст] / А.М., Павліков, В.А. Пашинський, С.М. Микитенко, М.М. Губій, Є.М.Бабич, Б.М Петтер // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Вип.20. – Рівне: НУВГП, 2009. – С. 390-395.
4. Павліков, А.М. Безкапітельно-безбалкова каркасно-конструктивна система будівлі: особливості та досвід використання під доступне житло [Текст] / А.М. Павліков, Є.М. Бабич, Б.М. Петер // Будівельні конструкції: міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво) / ДП ДНД ІБК. – Вип. 78: в 2-х кн. Книга 1. – Київ: ДП НДІБК, 2013. – С. 28 – 46.
5. Дубинский, А. М. Расчет несущей способности железобетонных плит [Текст] / А.М. Дубинский. – К.: Гос. издат. по строит. и арх. УССР, 1961. – 184 с.
6. Азізов, Т. Н. Просторова робота залізобетонних перекриттів. Теорія та методи розрахунку: [Текст] дис. докт. техн наук: 05.23.01. / Т. Н. Азізов – Полтава: ПолтНТУ, 2006. – 406 с.
7. Клованич, С. Ф. Продавливание железобетонных плит. Натурный и численный эксперименты [Текст] / С. Ф. Клованич, В. И. Шеховцов. – Одесса: ОНМУ, 2011. – 119 с.
8. Павліков, А.М. Конструювання та розрахунок плит збірно-монолітних конструктивних систем житлових будівель [Текст] / А. М. Павліков, С. С. Жарий // Зб. наук. пр. (галузеве машинобудування, будівництво). Вип. 24. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – С. 8 – 13.
9. Конструкции каркаса железобетонные для многоэтажных зданий с безбалочными перекрытиями. Технические условия: ГОСТ 27108-86. [Текст][Дата введения 1987-07-01] – М.: ЦНИИпромзданий Госстроя СССР, 1988. – 20 с.
10. Гвоздев, А.А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия [Текст] / А.А. Гвоздев – М.: Госстройиздат, 1949. – 280 с.

Рецензент д-р техн. наук Д.А. Єрмоленко

Микитенко Сергій Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних і кам’яних конструкцій та опору матеріалів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Тел.:+38(099)–658–33–28. E-mail: mukuta@rambler.ru

Mykytenko Sergey N. Ph.D., Associate Professor, Dept. of Reinforced Concrete and Masonry Constructions and Resistance of Materials, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine. Phone:+38(099)658–33–28, E-mail: mukuta@rambler.ru