

УДК 624.94

**РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ СЕРЕДНЬОЇ ПЛИТИ ПЕРЕКРИТТЯ
БЕЗКАПІТЕЛЬНО-БЕЗБАЛКОВОЇ КОНСТРУКТИВНОЇ
СИСТЕМИ БУДІВЕЛЬ**

**THE STRENGTH CALCULATION OF MID-SPAN SLAB OF
UNCAPITAL-UNGRIDER FRAME STRUCTURE**

Гарькава О.В., к.т.н., ст. викладач (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава)

Garkava O.V., candidate of technical sciences, senior lecturer (Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava)

На основі кінематичного способу методу граничної рівноваги виведені розрахункові залежності для розв'язання задач міцності середньої плити з обривом робочої арматури безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель.

The design equations for problem solving of strength of mid-span slab of uncapital-ungrider frame structure is received on the basis of kinematic method.

Вступ. Розвиток житлового фонду є однією із нагальних проблем будівництва України. В м. Полтава вирішення згаданої проблеми здійснюється шляхом введення в експлуатацію житлових будівель з безкапітельно-безбалковою конструктивною системою [1], котра забезпечує швидкі темпи зведення та мінімальні затрати праці будівельників.

Зростаючий інтерес до безкапітельно-безбалкового каркасу обумовлюється рядом його переваг при використанні в житловому будівництві: свободою архітектурно-планувальних рішень та широкими можливостями для препланування приміщень, можливістю застосування енергоефективних матеріалів для зовнішнього заповнення фасадів й швидкого індустріального освоєння та ін.

Каркас складається з мінімальної кількості типорозмірів збірних елементів, а саме: з вертикальних багатоярусних колон без виступаючих частин і плит перекриття, що виконують роль ригелів [2 – 3]. За конструкцією плити поділяються на надколонні, міжколонні та середні плити. Специфіка роботи кожної плити залежить від її розміщення в плані перекриття та способу з'єднання з іншими плитами і колонами.

Аналіз останніх досліджень. Розрахунок і конструювання елементів безкапітельно-безбалкового каркасу, зокрема плит перекриття, розглядається

в роботах [4 – 9] та ін. Незважаючи на велику кількість проведених досліджень, багато задач залишаються нерозв'язаними.

Так, плити безкапітельно-безбалкової конструктивної системи через відсутність балок та знижену висоту перерізу (160 мм) потребують інтенсивного армування та відрізняються значними витратами арматури на 1 м³ бетону. Зменшити витрати сталі можливо шляхом обриву частини робочої арматури, можливість здійснення якого має підтверджуватись розрахунком.

Як свідчать роботи [7 – 9], для розрахунку міцності плит, опертих по контуру, досить зручним є використання кінематичного способу методу граничної рівноваги, котрий дозволяє враховувати фактичні умови закріплення, армування та характер руйнування елементів. При цьому в роботах [7 – 8] можливий обрив частини робочої арматури не враховується. Між тим, як показує практика [9], виконати такий розрахунок з урахуванням обриву арматури можливо. При цьому слід врахувати передумови розрахунку за нелінійною деформаційною моделлю [10], що регламентуються діючими нормативними документами у сфері проектування залізобетонних конструкцій.

Постановка мети та задач досліджень. На основі кінематичного способу методу граничної рівноваги з використанням нелінійної деформаційної моделі з екстремальним критерієм отримати розрахункові залежності для розв'язання задач міцності середніх плит з обривом частини робочої арматури безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель.

Методика і результати досліджень. При розрахунку приймаються такі передумови:

- передбачається, що плита розламується на плоскі ланки, що з'єднані між собою по лініям зламу пластичними шарнірами;
- задається довільно найменше можливе при заданій схемі зламу і схемі завантаження плити переміщення;
- складається рівняння, що виражає рівність робіт зовнішніх та внутрішніх сил на вказаному переміщенні;
- значення зовнішнього навантаження, що задовольняє отримане рівняння, є несучою здатністю плити.

Схема зламу плити повинна відповідати умовам її спирання та схемі завантаження, а також забезпечувати однократну кінематичну змінність системи.

Особливості роботи стику Передерія [2], за допомогою влаштування котрого середня плита з'єднується з міжколонними у складі безкапітельно-безбалкового перекриття, дозволяють при теоретичних дослідженнях у граничному стані розглядати таку плиту як шарнірно оперту по контуру. Вибір схеми зламу для шарнірно опертої по контуру середньої плити, завантаженої рівномірно розподіленим навантаженням, достатньо очевидний (рис. 1).

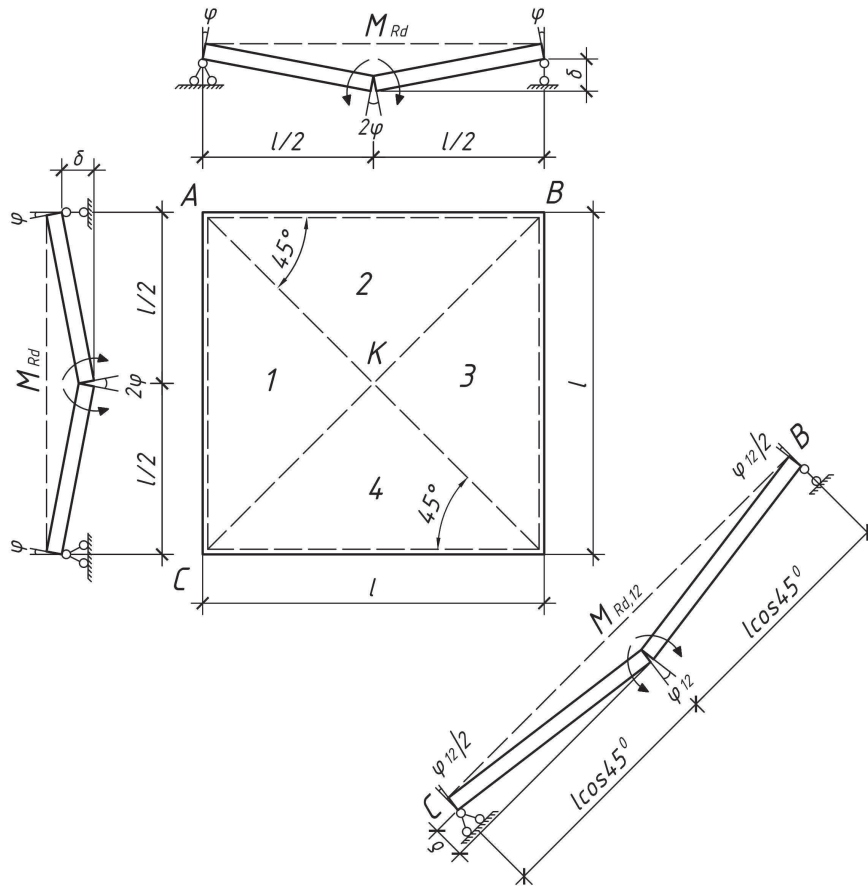


Рис. 1. Можлива схема зламу середньої плити

Рівняння віртуальних робіт для середньої плити, завантаженої тільки рівномірно розподіленим навантаженням, має вигляд

$$qV = \sum M_{Rd} \varphi \cos \theta, \quad (1)$$

де q – розрахункове граничне значення рівномірно розподіленого навантаження; V – об'єм, описаний при віртуальному переміщенні тієї частини плити, де діє навантаження; M_{Rd} – граничне значення внутрішнього згинального моменту, що сприймається кожним із пластичних шарнірів; φ – взаємний кут повороту ланок в кожному із пластичних шарнірів; θ – кут між площиною, в якій діє момент M_{Rd} , і нормаллю до лінії зламу (кут між векторами обертання та моменту).

В розглядуваному випадку (рис. 1)

$$V = \frac{\delta l^2}{3}. \quad (2)$$

Отримаємо вираз для визначення роботи внутрішніх сил при взаємному повороті ланок 1 і 2, 2 і 3, 3 і 4 та 4 і 1. Очевидно, що $A_{12} = A_{23} = A_{34} = A_{41}$.

Взаємний кут повороту ланок 1 і 2, оскільки лінія KB перпендикулярна осі обертання AK , буде виражений наступним чином

$$\varphi_{12} \approx \operatorname{tg} \varphi_{12} = \frac{2\delta}{l \cos 45^\circ} = \frac{\varphi}{\cos 45^\circ}. \quad (3)$$

Розглянемо ділянку перерізу, проведеного вздовж осі обертання AK шириною $b = 1$ м. Оскільки цей переріз проведений під кутом 45° до осей стержнів, площа перерізу арматури тут $\Delta A_{s1} = A_{s1} / (l \cos 45^\circ)$ та $\Delta A_{s2} = A_{s2} / (l \cos 45^\circ)$, де A_{s1} – загальна площа перерізу стержнів, що перетинають прольотний шарнір AK і паралельні сторони плити AB ; A_{s2} – загальна площа перерізу стержнів, що перетинають прольотний шарнір AK , і паралельні сторони плити AC . Оскільки середня плита рівноармована, тобто $A_{s1} = A_{s2} = A_s$, тоді в перерізі діють згинальні моменти

$$\Delta M_{Rd,1} = \Delta M_{Rd,2} = \frac{f_{yd} A_s z_s}{l \cos 45^\circ} = \frac{M_{Rd}}{l \cos 45^\circ}, \quad (4)$$

де f_{yd} – розрахункове значення міцності арматури на межі текучості;

z_s – плече внутрішньої пари сил.

Сума проєкцій моментів на вектор обертання

$$\Delta M_{Rd,12} \cos \theta_{12} = \frac{M_{Rd}}{l} + \frac{M_{Rd}}{l} = \frac{2M_{Rd}}{l}. \quad (5)$$

Враховуючи, що довжина пластичного шарніра $l_{12} = l \cos 45^\circ$, отримаємо

$$A_{12} = l_{12} \Delta M_{Rd,12} \varphi_{12} \cos \theta_{12} = M_{Rd} \varphi = \frac{2M_{Rd} \delta}{l}. \quad (6)$$

Записавши рівняння (1) у вигляді

$$qV = 4A_{12} \quad (7)$$

та підставивши вирази (2) і (6), після елементарних перетворень переходимо до виразу

$$M_{Rd} = \frac{ql^3}{24}. \quad (8)$$

Граничне навантаження, що може сприйняти плита із заданим армуванням, може бути визначене з використанням рівняння (8) за формулою

$$q = \frac{24M_{Rd}}{l^3}, \quad (9)$$

де за [10]

$$M_{Rd} = f_{yd}A_s \left(d - \chi \frac{f_{yd}A_s}{f_{cd}l} \right) \quad (10)$$

A_s – площа перерізу робочої арматури в одному з напрямів плити;

f_{cd} – розрахункове значення міцності бетону на стиск;

d – робоча висота перерізу плити;

$\chi = 0,52 \dots 0,59$ – параметр, котрий залежить від класу бетону [10].

Задача з підбору площі перерізу робочої арматури при заданому навантаженні розв'язується на основі умови рівності внутрішнього M_{Rd} і зовнішнього M_{Ed} згинальних моментів та рівності (8) за формулою

$$A_s = \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(\frac{1 - \sqrt{1 - 4\chi\bar{\alpha}_m}}{2\chi} \right) ld \quad (11)$$

де $\bar{\alpha}_m = \frac{ql^2}{24f_{cd}d^2}$ – відносний згинальний момент.

Якщо 1/2 робочих арматурних стержнів плити не доводиться до опори на відстань 1/4l, площа робочої арматури, що перетинається лінійним пластичним шарніром в крайній полосі, буде вдвічі меншою і формула (8) набуває вигляду

$$M_{Rd} = \frac{ql^3}{18}. \quad (12)$$

Граничне навантаження, що може сприйняти плита із обривом 1/2 площі робочої арматури на відстані 1/4l від опор, може бути визначене з використанням рівняння (12) за формулою

$$q = \frac{18M_{Rd}}{l^3}. \quad (13)$$

Задача з підбору площі перерізу робочої арматури при заданому навантаженні з обривом $1/2A_s$ на відстані $1/4l$ від опор розв'язується за формулою (11), в якій $\bar{\alpha}_m = \frac{ql^2}{18f_{cd}d^2}$.

Якщо арматуру обривають на відстані a від граней плити, необхідно додатково перевірити її несучу здатність при зламі за схемою, наведеною на рис. 2.

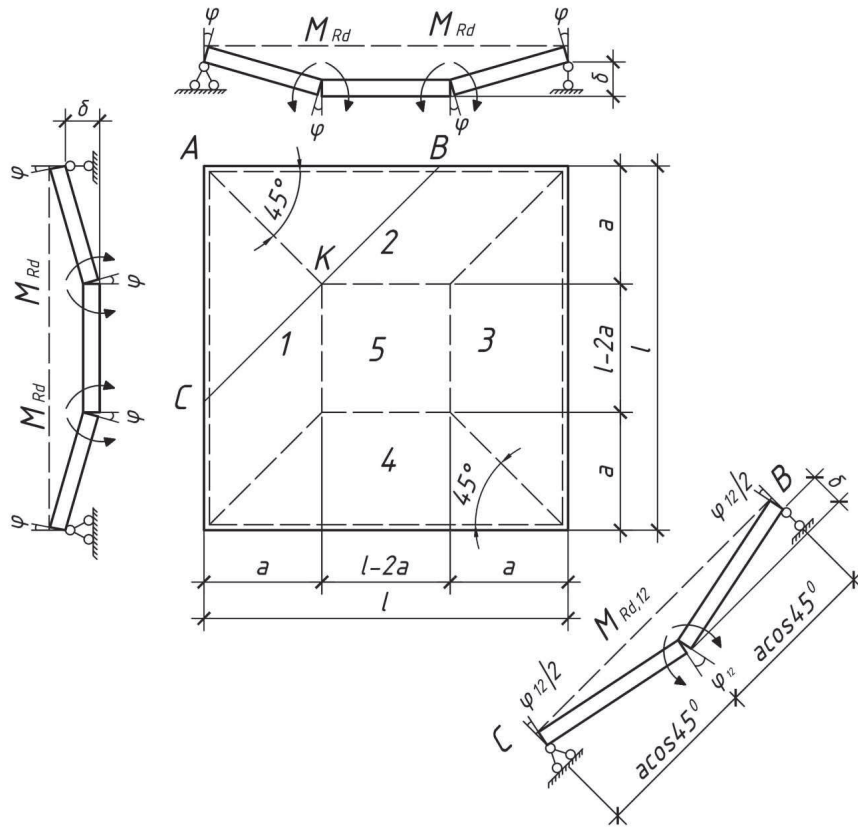


Рис. 2. Можлива схема зламу середньої плити при обриві арматури

В розглядуваному випадку (рис. 2)

$$V = \delta \left(l^2 - 2la + \frac{4}{3}a^2 \right). \quad (14)$$

Отримаємо вираз для визначення роботи внутрішніх сил при взаємному повороті ланок 1 і 5, 2 і 5, 3 і 5 та 4 і 5. Очевидно, що $A_{15} = A_{25} = A_{35} = A_{45}$.

Взаємний кут повороту ланок 1 і 5 буде виражений наступним чином

$$\varphi_{15} \approx \operatorname{tg} \varphi_{15} = \frac{\delta}{a} = \varphi. \quad (15)$$

Робота внутрішніх сил при взаємному повороті ланок 1 і 5:

$$A_{15} = l_{15} \Delta M_{Rd,15} \varphi_{15} \cos \theta_{15} = \frac{M_{Rd} \delta (l - 2a)}{la} \quad (16)$$

Отримаємо вираз для визначення роботи внутрішніх сил при взаємному повороті ланок 1 і 2, 2 і 3, 3 і 4 та 4 і 1. Очевидно, що $A_{12} = A_{23} = A_{34} = A_{41}$.

Взаємний кут повороту ланок 1 і 2, оскільки лінія KB перпендикулярна осі обертання AK (рис. 2), буде виражений наступним чином

$$\varphi_{12} \approx \operatorname{tg} \varphi_{12} = \frac{2\delta}{a \cos 45^0} = \frac{2\varphi}{\cos 45^0} \quad (17)$$

Розглянемо ділянку перерізу, проведеного вздовж осі обертання AK шириною $b = 1$ м (рис. 2), в перерізі діють згинальні моменти $\Delta M_{Rd,1} = \Delta M_{Rd,2}$, що визначаються за залежністю (4), а сума проєкцій моментів на вектор обертання $\Delta M_{Rd,12} \cos \theta_{12}$ – за (5).

Враховуючи, що довжина пластичного шарніра $l_{12} = a \cos 45^0$, отримаємо

$$A_{12} = l_{12} \Delta M_{Rd,12} \varphi_{12} \cos \theta_{12} = \frac{2M_{Rd} \delta}{l}. \quad (18)$$

Записавши рівняння (1) у вигляді

$$qV = 4A_{15} + 4A_{12} \quad (19)$$

та підставивши вирази (14), (16) і (18), після елементарних перетворень переходимо до виразу

$$M_{Rd} = \frac{qa}{4} \left(l^2 - 2la + \frac{4}{3} a^2 \right). \quad (20)$$

Граничне навантаження, що може сприйняти плита із заданим армуванням, може бути визначене з використанням рівняння (20) за формулою

$$q = \frac{4M_{Rd}}{a \left(l^2 - 2la + \frac{4}{3} a^2 \right)}, \quad (21)$$

де значення M_{Rd} визначається за формулою (10).

Задача з підбору площі перерізу робочої арматури при заданому навантаженні розв'язується за формулою (11), в якій відносний згинальний момент

$$\bar{\alpha}_m = \frac{qa}{4f_{cd}ld^2} \left(l^2 - 2la + \frac{4}{3}a^2 \right). \quad (22)$$

Висновки. На основі кінематичного способу методу граничної рівноваги з використанням нелінійної деформаційної моделі з екстремальним критерієм отримані розрахункові залежності для розв'язання задач міцності середніх плит безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель. Формули зручні для інженерного застосування і виведені з урахуванням обриву частини робочої арматури, що дозволяє досягти економії арматурної сталі та зменшити витрати арматури на 1 м³ бетону при проектуванні середніх плит.

1. Павліков А.М. Запровадження безкапітельно-безбалкової конструктивної системи у зведенні будівель доступного житла в місті Полтава / А.М. Павліков, А.В. Батіг, С.І. Пасішнюк // Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. праць. – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – Вип. 4(39). – Т.1 – С. 190 – 195. 2. Унифицированная система сборно-монолитного безригельного каркаса. Основные положения по расчету, монтажу и компоновке зданий: рабочий проект / Фирма «КУБ», СП «ИНЭКС», Научно-проектно-строительное объединение монолитного домостроения. – М.: НСПО «МОНОЛИТ», 1990. – 152 с. – (Серия КУБ–2,5). 3. Особливості конструктивної системи збірно-монолітних каркасних багатоповерхових будівель під соціальне житло / А.М. Павліков, В.А. Пашинський, С.М. Микитенко, М.М. Губій, Є.М. Бабич, Б.М. Петтер // Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2009. – Вип. 20. – С. 390 – 395. 4. Дорфман А.Э. Проектирование бескапитальных перекрытий / А.Э. Дорфман, Л.Н. Левонтин. – М.: Стройиздат, 1975. – 124 с. 5. Штаерман М.Я. Безбалочные перекрытия / М.Я. Штаерман, А.М. Ивянский. – М.: Госстройиздат, 1953. – 333 с. 6. Азізов Т.Н. Просторова робота залізобетонних перекриттів. Теорія та методи розрахунку: дис... докт. техн. наук: 05.23.01 / Т.Н. Азізов – Полтава: ПолтНТУ, 2006. – 406 с. 7. Дубинский А.М. Расчет несущей способности железобетонных плит / А.М. Дубинский. – К.: Гос. издат. по строит. и арх. УССР, 1961. – 184 с. 8. Павліков А.М. Кінематичний метод розрахунку міцності середньої плити перекриття безкапітельно-безбалкової конструктивної системи / А.М. Павліков, Д.Ф. Федоров, А.В. Батіг // Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. праць. – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – Вип. 4(39). – Т.1 – С. 196 – 203. 9. Проектирование железобетонных конструкций : Справочное пособие / [А.Б. Голышев, В.Я. Бачинский, В.П. Полищук, А.В. Харченко, И.В. Руденко] ; под ред. А.Б. Голышева. – [2-е изд., перераб. и доп.] – К.: Будивельник, 1990. – 544 с. 10. Павліков А.М. Розрахунок міцності нормальних перерізів балкових елементів за нелінійною деформаційною моделлю (на основі ДБН В.2.6-98:2009) : навчальний посібник / А.М. Павліков, О.В. Бойко. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – 85 с.