

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ СБОРНЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ПЛИТ В СОСТАВЕ ДИСКОВ ПЕРЕКРЫТИЙ

В статті розглядається варіант компоновки перекрытия, дозволяючий замість традиційної балочної конструктивної схеми роботи окремої плити у складі перекрытия прийняти конструктивну схему роботи декількох плит у складі диску перекрытия.

Ключові слова: диск перекрытия, чарунка перекрытия, вигинаючий момент, крутний момент.

The article discusses the option of layout overlap, that allowing instead of the traditional beam structural scheme of one of the slabs in the overlapping part to take a structural scheme of the several slabs in the composition of the overlapping disc.

Keywords: overlapping disk, overlapping cell, bending moment, torque.

Экономическая эффективность применения того или иного типа железобетонной конструкции напрямую связана с расходом материалов, в особенности, если речь идет о дорогостоящей высокопрочной арматуре.

Так, для сборных предварительно напряженных плит безопалубочного стендового формования с канатной рабочей арматурой вопрос экономии арматуры является одним из основных при проектировании. За счет применения бетонов повышенной прочности (С30/35 и выше) удалось избежать применения рабочей поперечной арматуры и всех видов конструктивной арматуры [1]. Возможность экономии рабочей канатной арматуры дает несравненно больший эффект, однако, при этом, не должны нарушаться требования прочности, трещиностойкости и деформативности элемента [2,3].

Нами предлагается вариант компоновки перекрытия, позволяющий вместо традиционной балочной конструктивной схемы работы отдельной плиты в составе перекрытия принять конструктивную схему работы нескольких плит в составе диска перекрытия . Преимущества работы сборных плит в составе

диска перекрытия рассматривались и ранее [4,5,8,]. В предлагаемом варианте диск формируется из балочных плит , соединенных друг с другом по боковым поверхностям с помощью специального шва, исключающего взаимные сдвиги плит в вертикальной плоскости (рис. 1).

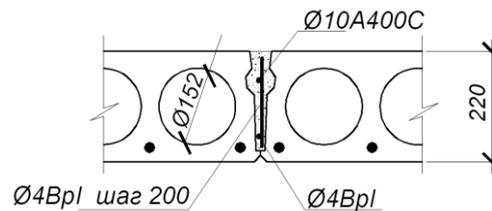


Рис. 1. Конструкция шва между плитами

При этом, крайние плиты ячейки перекрытия обязательно опираются боковой кромкой на несущие стены или ригели.

При такой конструктивной схеме ячейка перекрытия работает в двух направлениях, за счет чего в продольном направлении каждой плиты в определенной степени уменьшаются изгибающие моменты.

Таким образом, мы получаем квазиконтурную схему работы плиты-диска перекрытия. Такая составная плита, состоящая из нескольких балочных плит, в пределах рассматриваемой ячейки перекрытия, в продольном направлении имеет конечную изгибную жесткость, зависящую от геометрических и физико-механических параметров, а также от армирования каждой отдельной плиты. В поперечном направлении составной диск имеет практически нулевую изгибную жесткость, а нагрузку воспринимает за счет сдвиговой жесткости шва и сопротивления каждой плиты кручению.

Характер передачи нагрузки и соответствующая схема работы диска в поперечном направлении зависит от количества плит в ячейке.

Так, например, для ячейки перекрытия из двух плит (рис. 2), каждая из них в произвольном сечении испытывает погонный крутящий момент

$$T = T_{(2)} = qb^2 / 2 \text{ (кНм/м)}. \quad (1)$$

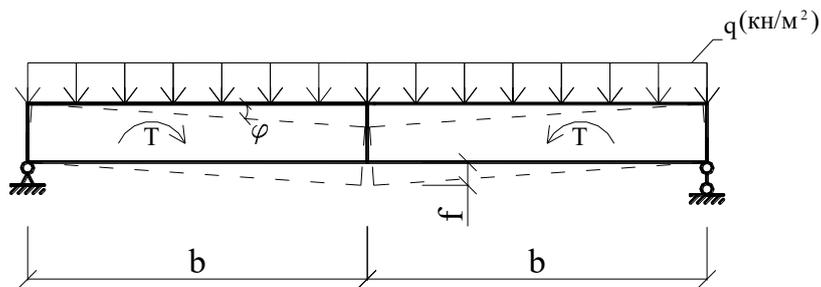


Рис. 2. Схема работы диска из двух плит

От крутящего момента в поперечном сечении плита поворачивается на угол φ , определяемый по формуле

$$\varphi = \frac{T}{GI_k} f(x) \quad , \quad (2)$$

где $f(x)$ – функция изменения угла поворота по длине плиты;

G – модуль сдвига бетона, принимаемый как $G = 0.4E_{cm}$;

I_k – крутильный момент инерции сечения плиты.

При определении крутильного момента инерции, фактическое сечение многопустотной плиты приводится к пустотелому коробчатому сечению с условной эффективной толщиной стенок t_{ef} [6].

При равномерно распределенной нагрузке на всей площади рассматриваемой ячейки перекрытия функцию $f(x)$ логично принять идентичной функции изменения изгибающего момента по длине плиты. При этом, максимальный угол поворота в центре ячейки перекрытия

$$\varphi_0 = \frac{T}{GI_k} \int_0^L \left(x - \frac{x^2}{L} \right) dx = \frac{TL^2}{6GI_k} \quad . \quad (3)$$

При угле поворота сечения в центре продольного шва между плитами, равном φ_0 , прогиб в центре диска составляет

$$f = b \cdot \text{tg} \varphi_0 = b \cdot \varphi_0. \quad (4)$$

Погонный максимальный изгибающий момент в продольном направлении в шве между плитами при равномерно распределенной нагрузке

$$M_x = 48E_{cm}I_z f / 5l^2 \quad . \quad (5)$$

Для ячейки перекрытия, состоящей из трех плит, расчетная схема может быть представлена как показано на рис.3, где распределенная нагрузка от средней плиты частично распределяется на изгиб плиты как балочной (q_1), а частично $(q - q_1)$ передается на крайнюю плиту в виде погонной линейной силы $P_1 = (q - q_1) \cdot b/2$, вызывающей дополнительный прогиб крайней плиты от поворота сечения. При этом, крутящий момент в крайней плите

$$T_{(3)} = T_{(2)} + P_1 b = qb^2 - q_1 b^2/2, \quad (6)$$

угол поворота крайней плиты

$$\varphi_0 = \frac{b^2 L_2}{6GI_k} (q - q_1/2), \quad (7)$$

прогиб крайней плиты

$$f_{кр} = b\varphi_0 = \frac{b^2 L^2}{6GI_k} \left(q - \frac{q_1}{2} \right). \quad (8)$$

Прогиб средней плиты от ее изгиба по балочной схеме

$$f_{ср} = \frac{5}{384} \frac{q_1 b L^4}{E_{cm} I_z}. \quad (9)$$

Приравнявая $f_{кр} = f_{ср}$, получим

$$q_1 = \frac{\frac{qb^2}{6GI_k}}{\left(\frac{5L^2}{384E_{cm}I_z} + \frac{b^2}{12GI_k} \right)}. \quad (10)$$

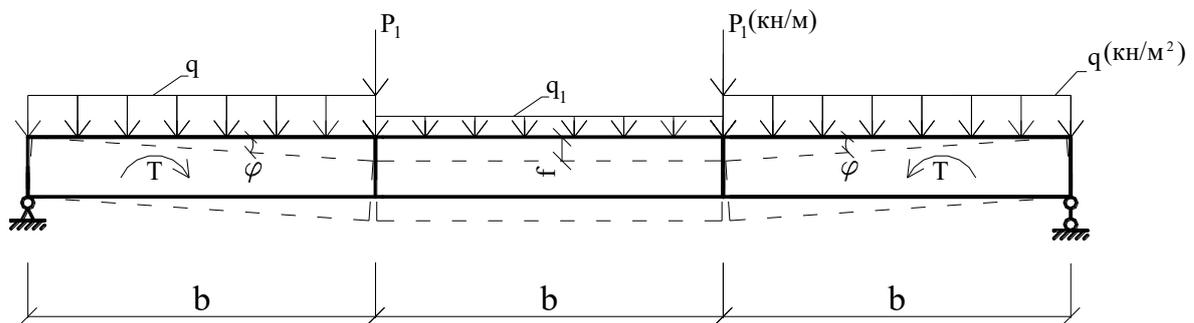


Рис. 3. Расчетная схема работы диска из трех плит

Максимальный прогиб средней плиты при трех плитах в ячейке диска

$$f_{(3)} = \frac{5q_1 b L^4}{384E_{cm} I_z}, \quad (11)$$

При этой схеме $T_{(5)} = T_{(4)} + P_2 b$,

$$\text{где} \quad P_2 = P_1 + (q - q_2)b / 2, \quad (13)$$

прогиб от кручения

$$f_{(5)} = f_{(4)} + \frac{P_2 b L^2}{6 G I_k}. \quad (14)$$

Приравнявая $f_{(5)}$ с прогибом средней плиты от изгиба по балочной схеме

$$f_{\text{ср}} = \frac{5 q_2 b L^4}{384 E_{\text{см}} I_z}, \quad (15)$$

получаем часть нагрузки q_2 , вызывающую изгиб средней плиты при ее работе по балочной схеме. Далее по алгоритму расчета диска из трех плит определяем M_δ в средней плите.

При любом четном количестве плит в ячейке перекрытия расчетные схемы аналогичны представленной на рис.5, при любом нечетном количестве плит – аналогичны представленной на рис. 4.

В качестве примера рассматривается ячейка перекрытия, состоящая из трех сборных плит длиной 7.2 м, шириной 1200 мм, высотой 220 мм. Плиты имеют по шесть пустот диаметром 152 мм. Плиты изготовлены из бетона класса С32/40 ($E_{\text{см}} = 36000$ мПа). Момент инерции приведенного сечения плиты равен $I_z = 91000$ см⁴.

Плиты запроектированы под расчетную нагрузку (сверх собственного веса) 8.0 кН/м². Суммарная расчетная нагрузка принята $q = 12$ кН/м².

Расчетная длина плиты $L = 7.04$ м. Расчетный изгибающий момент для плиты, работающей по балочной схеме $M_1 = 89.2$ кНм.

Условная эффективная толщина стенок при расчете на кручение

$$t_{ef} = \frac{118 \cdot 22}{2(118+22)} = 9.27 \text{ см.}$$

Крутильный момент инерции приведенного сечения плиты

$$I_k = \frac{(b-t_{ef})^2 (h-t_{ef})^2 t_{ef}}{b+h-2t_{ef}} = \frac{(118-9.27)^2 (22-9.27)^2 \cdot 9.27}{118+22-2 \cdot 9.27} = 292436 \text{ см}^4.$$

Модуль сдвига $G = 0.4 \cdot 36000 = 14400$ мПа.

Из (10) получаем:

$$q_1 = \frac{\frac{12 \cdot 120^3}{6 \cdot 1440 \cdot 292436}}{\frac{5 \cdot 704^2}{384 \cdot 3600 \cdot 91000} + \frac{120^2}{12 \cdot 1440 \cdot 292436}} = 3.03 \text{ кН/м}^2 = 0.0303 \text{ кН/см};$$

$$f_{(3)} = \frac{5 \cdot 1.2 \cdot 0.0303 \cdot 704^4}{384 \cdot 3600 \cdot 91000} = 0.35 \text{ см, что соответствует моменту}$$

$M_\delta = 22.49$ кНм и коэффициенту эффективности работы диска

$$n = M_1/M_\delta = 89.2/22.49 = 3.97.$$

Степень уменьшения максимальных изгибающих моментов в плите, работающей в составе диска перекрытия M_δ , по сравнению с величиной максимального изгибающего момента для отдельной балочной плиты M_1 , зависит от размеров ячейки диска перекрытия (рис. 6).

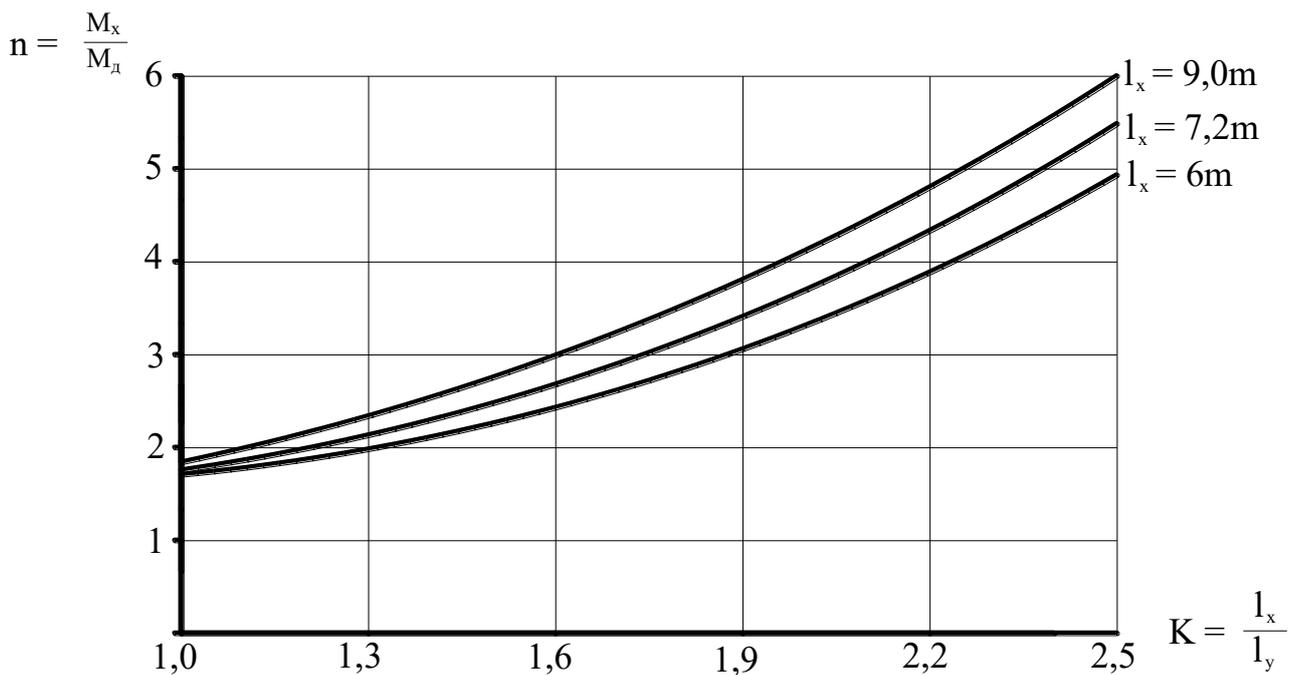


Рис.6. График изменения изгибающих моментов в составном диске

l_x – длина диска (плиты); l_y – ширина диска (Σb).

Согласно конструктивным требованиям, рассматриваемые многопустотные предварительно напряженные плиты безопалубочного

стендового формования должны иметь минимальное армирование 4Ø9K1400(K7). Поэтому устройство диска перекрытия по предлагаемому варианту имеет смысл для плит длиной не менее 5.7 м при расчетных переменных нагрузках 8...21 кН/м².

Литература

1. Шмуклер В.С., Е.Г. Стоянов и др. Особенности внедрения железобетонных многопустотных предварительно напряженных плит перекрытий безопалубочного стендового формования. – Х. Комунальне господарство міст, №114, 2014. – С 22 – 30.
2. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.
3. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010.
4. Шмуклер В.С. Каркасные системы облегченного типа /В.С. Шмуклер, Ю.А.Климов, Н.П. Буряк. –Х.: Золотые страницы, 2008.
5. Шмуклер И.В. Сборные железобетонные диски перекрытий с рациональными поперечными связями. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Х.: ХГТУСА, 1995. 324 с.
6. Бабаев В.М., Бамбура А.М., Пустовойтова О.М., Резнік П.А., Стоянов Є.Г., Шмуклер В.С. Практичний розрахунок елементів залізобетонних конструкцій за ДБН В 2.6-98:2009 у порівнянні з розрахунками за СНиП 2.03.01-84* і EN 1992-1-1(Eurocode 2). – Х.: «Золоті сторінки», 2015. 206 с.
7. Стоянов Е.Г., Набока А.В. Экспериментальное исследование работы сборных железобетонных предварительно напряженных плит в составе диска перекрытия. – Х.: Науковий вісник будівництва, №1(83), ХНТУБА, 2016. с. 107-111.
8. Байков В.Н., Хампе Э., Рауэ Э. Проектирование железобетонных тонкостенных пространственных конструкций. – М.: Стройиздат, 1990. 232 с.