

Оптимизация конструкций усиления многопустотных плит перекрытия

П.А. Сербиновский¹, Д.Р.Маилян²

¹ОАО - институт "Ростовский Промстройинипроект"

²Ростовский государственный строительный университет

Аннотация: Данная статья посвящена разработке оптимальных конструкций усиления многопустотных плит для обеспечения надежного восстановления или увеличения несущей способности, безопасной эксплуатации многопустотных плит, минимизации стоимости и трудоемкости.

Ключевые слова: Многопустотная плита, конструкция усиления, оптимизация, безопасная эксплуатация, армирование, эпюра моментов, эпюра материалов, арматурный стержень, центр тяжести арматуры.

Усиление железобетонных многопустотных плит перекрытия - одна из часто встречающихся задач при реконструкции или капитальном ремонте зданий и сооружений. Данная статья посвящена разработке оптимальных конструкций усиления для обеспечения надежного восстановления или увеличение несущей способности, безопасной эксплуатации многопустотных плит, минимизации стоимости и трудоемкости [1, 2].

Выбор оптимального расположения арматуры усиления по высоте сечения плиты

Наиболее часто применяемое решение для усиления многопустотных плит - установка арматурных каркасов в пустоты плиты сверху [3, 4]. При этом растянутый арматурный стержень усиления находится выше существующей арматуры плиты. Плечо внутренней пары сил усиленной конструкции уменьшается по сравнению с плечом внутренней пары сил плиты до усиления. Это приводит к перерасходу арматуры усиления.

Данную конструкцию можно оптимизировать, сместив центр тяжести арматуры плиты и арматуры усиления ниже. Это можно осуществить с помощью установки арматуры усиления (или углепластика) ниже существующей арматуры плиты, использовав для этого как существующие

конструктивные решения [5- 7], так и новые конструктивные решения (см. рис. 1) [8 - 11]. Таким образом, увеличивается момент внутренней пары сил, что позволяет экономить арматуру усиления.

В случае разрушения усиливаемой плиты по арматуре, чтобы определить необходимую площадь арматуры усиления воспользуемся выражением для определения момента, воспринимаемого изгибаемым железобетонным элементом:

$$M^r = R_b b x (h_0^r - 0,5x), \quad (1)$$

где R_b - расчетное сопротивление бетона, b - ширина плиты, h_0^r - расстояние от верхней грани плиты до центра тяжести арматуры плиты и арматуры усиления,

$$x = \frac{R_s A_s + R_s^r A_s^r}{R_b b}, \quad (2)$$

где R_s - расчетное сопротивление существующей арматуры, A_s - площадь существующей арматуры, R_s^r - расчетное сопротивление арматуры усиления, A_s^r - площадь арматуры усиления.

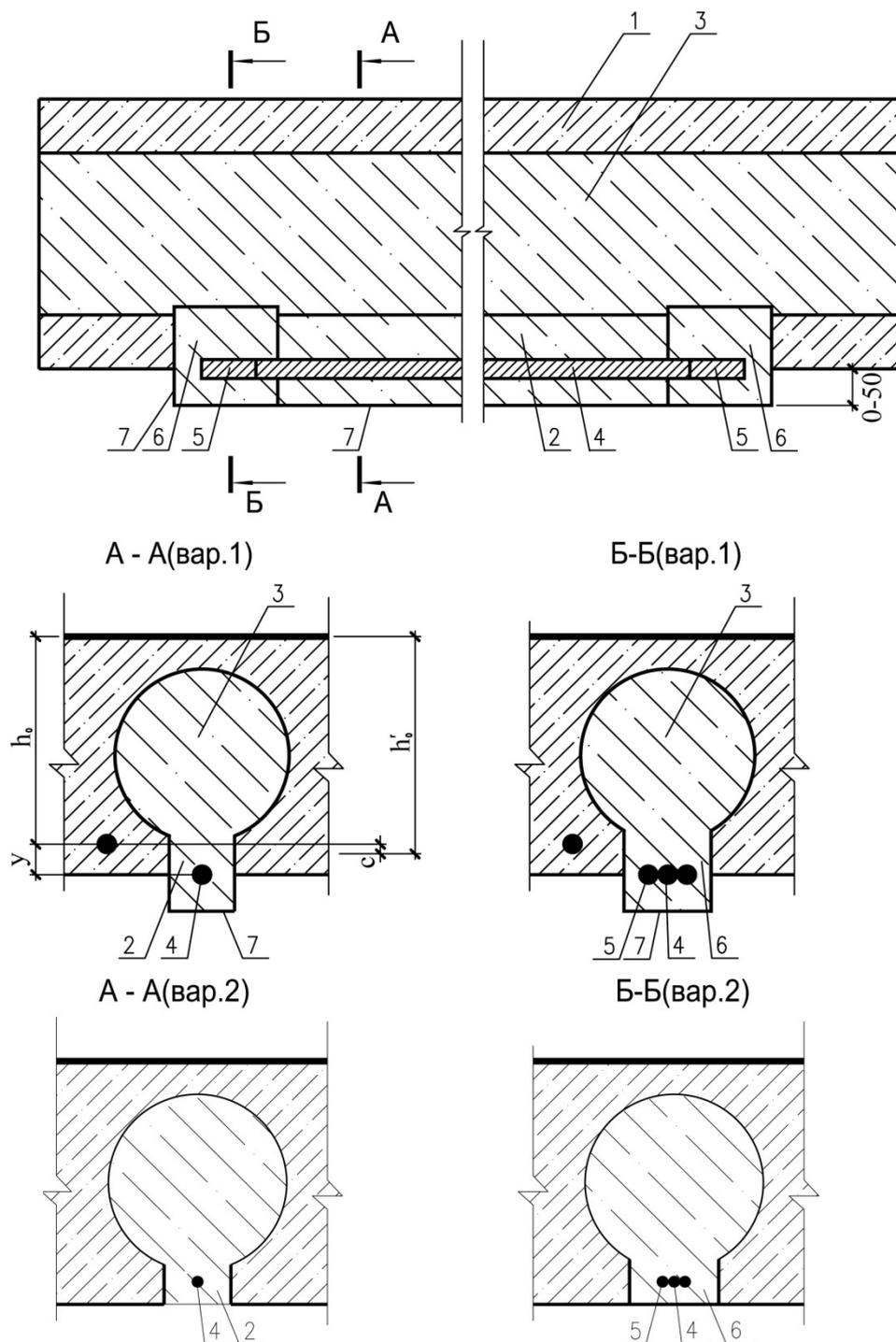
Подставляя выражение (2) в (1) и решая полученное уравнение относительно $R_s^r A_s^r$, получаем искомую зависимость:

$$R_s^r A_s^r = R_b b h_0^r - \sqrt{(R_b b h_0^r)^2 - 2R_b b M^r - R_s A_s}, \quad (3)$$

При этом:

$$h_0^r = h_0 + c, \quad (4)$$

где h_0 - расстояние от верхней грани плиты до центра тяжести арматуры плиты, c - расстояние между центром тяжести арматуры плиты и центром тяжести арматуры плиты и усиления.



1 - усиливаемая плита; 2 - пазы; 3 - пустоты; 4 - арматура усиления;
5 - анкер; 6 - отверстие для размещения анкеров; 7 - выступ

Рис. 1 - Установка стержня в пазы ниже пустоты со смещением стержня к нижней грани плиты

$$c = \frac{yR_s^r A_s^r}{R_s A_s + R_s^r A_s^r}, \quad (5)$$

где y - расстояние между арматурой усиления и существующей арматурой плиты.

Решая совместно выражения (3) и (4), получаем итоговое значение $R_s^r A_s^r$. Выбрав класс арматуры усиления, определяем необходимую площадь арматуры.

Выбор оптимальной длины конструкций усиления

Чтобы выбрать оптимальную длину конструкции усиления, необходимо определить участок плиты, нуждающийся в усилении. Для этого необходимо сравнить эпюру моментов от нагрузки, которую должна воспринимать плита после усиления, с эпюрой материалов плиты перекрытия до усиления.

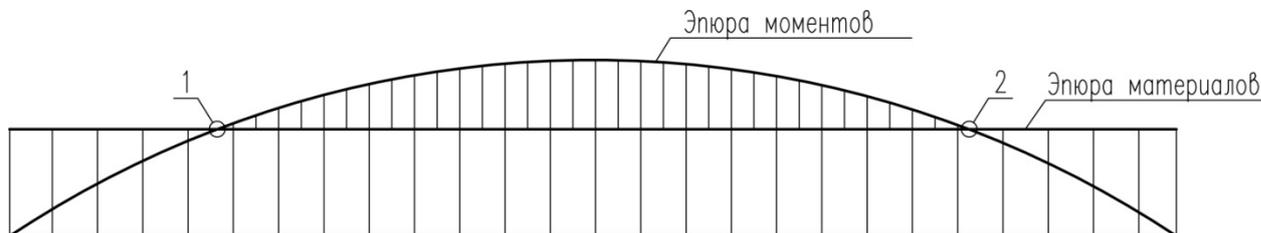


Рис. 2. – Сравнение эпюры моментов и эпюры материалов.

Очевидно, что в усилении нуждается участок между точками 1 и 2.

Рассмотрим наиболее часто встречающийся случай загрузки - равномерно распределенной нагрузкой. Момент от внешней нагрузки, которую должна воспринять плита после усиления определяется по формуле:

$$M^r = \frac{kqlx}{2} - \frac{kqx^2}{2}, \quad (6)$$

где k - коэффициент изменения нагрузки ($k = q^r / q$), q^r - значение равномерно распределенной нагрузки, которую должна воспринять плита после усиления, q - значение равномерно распределенной нагрузки,

воспринимаемой плитой до усиления, l - пролет плиты, x – текущая координата.

Эпюра материалов плиты до усиления описывается уравнением:

$$M = \frac{ql^2}{8}, \quad (7)$$

Чтобы определить положение точек пересечения эпюр M и M^r , приравняем выражения (1) и (2)

$$\frac{ql^2}{8} = \frac{kqlx}{2} - \frac{kqx^2}{2}, \quad (8)$$

Решая уравнение (8) относительно x , получаем выражение для определения положения точек 1 и 2.

$$x = \frac{l}{2} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{1}{k}} \right), \quad (9)$$

Аналогично можно определить положение точек 1 и 2 для других случаев загрузки, заменяя выражение (6) на соответствующее уравнение моментов.

Длина стержня усиления равна:

$$l_r = l - \frac{l}{2} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{1}{k}} \right), \quad (10)$$

Отметим, что l_r - расчетная длина стержней усиления. При практическом применении длина стержня усиления может варьироваться в зависимости от выбранной конструкции усиления, для обеспечения анкеровки данных стержней.

Пример использования представленных зависимостей

Рассмотрим плиту ПК8-58-12 по серии ИИ-04-4 в.2.

Ее характеристики: ширина сжатой зоны плиты $b=116$ см, пролет плиты $l=570$ см, рабочая арматура $4\phi 14$ А-IV ($A_s=6,16$ см², $R_s=5100$ кгс/см²), $h_0=19$ см,

бетон класса В15 (М200) $R_b=86,7\text{кгс/см}^2$, расчетная нагрузка, действующая на плиту по серии $q=1120\text{кгс/м}^2$. Необходимо увеличить нагрузку в 1,5 раза, по сравнению с нагрузкой указанной в серии. Расчет плиты показал, что практически плита несет нагрузку, указанную в серии. Тогда $k=1,5$. Усиление производим арматурой класса А400, $R_s^r = 3570\text{кгс/см}^2$

Определим расстояние от опоры плиты (шарнира) до конструкции усиления по формуле (9): $x=126\text{см}$, тогда длина стержней усиления по формуле (10) равна: $l_r=317\text{см}$ (без учета длины анкеровки).

Определим необходимую площадь арматуры усиления при установке в пустоту плиты, по формулам (3 и 4). Она равна $A_s^r=3,68\text{ см}^2$, при этом $h_0^r=18,69\text{ см}$. Согласно сортаменту необходимо установить 2Ø16 А400.

Установив арматуру усиления на 3см ниже арматуры плиты, центр тяжести арматуры плиты и усиления сместиться на $c=0,45\text{см}$ (рассчитывается по формуле (5), тогда $h_0^r=19,45\text{см}$. Пересчитывая необходимую площадь арматуры усиления по формуле (3) получаем $A_s^r=3,06\text{см}^2$. Согласно сортаменту необходимо установить 2Ø14 А400.

Следовательно, экономия материалов за счет установки конструкции усиления оптимальной длины составляет до 44% по сравнению с установкой стержней усиления по всей длине плиты. Еще 17% можно сэкономить, опустив стержень усиления на 3 см ниже существующего армирования плиты.

Литература

1. Карлина И.Н., Новоженин В.П. Особенности проведения комплексных натурных обследований объектов, подлежащих реконструкции // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (2) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1235.

2. Гроздов В.Т. Усиление строительных конструкций при реставрации зданий и сооружений. СПб.: 2005. 114с.

3. Рекомендации по усилению и ремонту строительных конструкций инженерных сооружений. М.: ЦНИИпромзданий. 1997. 167 с.

4. Мальганов А.И., Плевков В.С., Полищук А.И. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий (Атлас схем и чертежей). Томск: Томский межотраслевой ЦНТИ, 1990. 316с.

5. United States Patent 5,894,003. Lockwood April 13, 1999. Method of strengthening an existing reinforced concrete member. Current International Class: E04G 23/02 (20060101). Inventors: Lockwood; William D. (Dayton, OH).

6. United States Patent 6,811,861. Bank, et al. November 2, 2004. Structural reinforcement using composite strips. Current International Class: E04G 23/02 (20060101). Inventors: Bank; Lawrence C. (Madison, WI), Lamanna; Anthony J. (Madison, WI).

7. Матвеев Е.П., Мешечек В.В. Технические решения по усилению и теплозащите конструкций жилых и общественных зданий. М.: Старая Басманная, 1998. 209 с.

8. Пат. 147226 Российская Федерация, МПК E04G 23/02. Конструкция усиления железобетонной многопустотной плиты перекрытия / Маилян Д.Р., Дедух Д.А., Сербиновский П.А.; заявитель и патентообладатель Маилян Д.Р., Дедух Д.А., Сербиновский П.А, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

"Ростовский государственный строительный университет, РГСУ. № 201425755 заявл. 25.06.2014 ; опубл. 29.09.2014, Бюл. № 30.

9. Пат. 153650 Российская Федерация, МПК E04G 23/02. Конструкция усиления многопустотной плиты / Маилян Д.Р., Сербиновский П.А.; заявитель и патентообладатель Маилян Д.Р., Сербиновский П.А, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ростовский государственный строительный университет, РГСУ. № 2015106150 заявл. 12.01.2015 ; опубл. 27.07.2015, Бюл. № 21.

10. Пат. 154148 Российская Федерация, МПК E04G 23/02. Конструкция усиления железобетонной многопустотной плиты перекрытия / Маилян Д.Р., Сербиновский П.А.; заявитель и патентообладатель Маилян Д.Р., Сербиновский П.А, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ростовский государственный строительный университет, РГСУ. № 2015100987 заявл. 20.07.2015; опубл. 20.08.2015, Бюл. № 23.

11. Сербиновский П.А., Сербиновский А.В., Маилян Д.Р. Новые конструкции усиления многопустотных железобетонных плит. // Инженерный вестник Дона, 2015, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3313.

References

1. Karlina I. N., Novozhenin V.P. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4 (2) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1235.

2. Grozdov V.T. Usilenie stroitel'nykh konstruktsiy pri restavratsii zdaniy i sooruzheniy [Strengthening of building structures in the restoration of buildings and structures]. SPb. 2005. 114 p.

3. Rekomendatsii po usileniyu i remontu stroitel'nykh konstruktsiy inzhenernykh sooruzheniy [Recommendations for strengthening and repair of building structures engineering structures]. M.: TsNIIpromzdaniy. 1997. 167 p.

4. Mal'ganov A.I., Plevkov V.S., Polishchuk A.I. Vosstanovlenie i usilenie stroitel'nykh konstruktsiy avariynykh i rekonstruiruemykh zdaniy (Atlas skhem i chertezhey) [Restoration and strengthening of building structures damaged and reconstructed buildings (Atlas diagrams and drawings)]. Tomsk: Tomskiy mezhotraslevoy TsNTI, 1990. 316p.

5. United States Patent 5,894,003. Lockwood April 13, 1999. Method of strengthening an existing reinforced concrete member. Current International Class: E04G 23/02 (20060101). Inventors: Lockwood; William D. (Dayton, OH).

6. United States Patent 6,811,861. Bank, et al. November 2, 2004. Structural reinforcement using composite strips. Current International Class: E04G 23/02 (20060101). Inventors: Bank; Lawrence C. (Madison, WI), Lamanna; Anthony J. (Madison, WI).

7. Matveev E.P., Meshechek V.V. Tekhnicheskie resheniya po usileniyu i teplozashchite konstruktsiy zhilykh i obshchestvennykh zdaniy [Technical solutions for strengthening and heat shield design of residential and public buildings]. M.: Staraya Basmannaya, 1998. 209 p.

8. Patent (RU) 147226, Current International Class: E04G 23/02. Design of strengthening reinforced concrete hollow core slabs Mailyan D.R., Deduh D.A., Serbinovskiy P.A.; applicant and patentee Mailyan D.R., Deduh D.A., Serbinovskiy P.A., Rostov civil engineering university, RGSU. Appl. No 201425755, 25.06.2014; Publ. 29.09.2014, Bul. № 30.

9. Patent (RU) 153650, Current International Class: E04G 23/02. Design of strengthening of hollow core slabs. Mailyan D.R., Serbinovskiy P.A.; applicant and patentee Mailyan D.R., Serbinovskiy P.A., Rostov civil engineering university, RGSU. Appl. No 2015106150, 12.01.2015; Publ. 27.07.2015, Bul. № 21.



10. Patent (RU) 154148, Current International Class: E04G 23/02. Design of strengthening reinforced concrete hollow core slabs. Mailyan D.R., Serbinovskiy P.A.; applicant and patentee Mailyan D.R., Serbinovskiy P.A., Rostov civil engineering university, RGSU. Appl. No 2015100987, 20.07.2015; Publ. 20.08.2015, Bul. № 23

11. Serbinovskiy P.A., Serbinovskiy A.V., Mailyan D.R. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3313.