

Использование способа усиления железобетонных плит перекрытия добавлением поперечной арматуры

А.В. Ищенко, Н.А. Бесшапкина

Национально- исследовательский московский государственный строительный университет

Аннотация: В строительстве гражданских зданий получили особую популярность безбалочные перекрытия. Однако, зачастую возникает необходимость в их реконструкции, а именно - в усилении узла сочленения плиты с колонной. Вопросами продавливания занимаются как отечественные исследователи, так и зарубежные. Данная научная статья посвящена изучению метода усиления железобетонных плит перекрытия путём добавления поперечной арматуры.

Ключевые слова: Плита перекрытия, продавливание, поперечная арматура, усиление.

Введение

В современном строительстве получили популярность бескапитальные безбалочные плиты перекрытия. Нередко возникает необходимость в усилении подобных перекрытий. К возможным причинам износа конструкции относят: возраст самой конструкции, ошибки в проектировании, некорректный монтаж, увеличение рабочей нагрузки, несоблюдение условий безопасности.

В течение последних несколько лет произошла серия аварий по причине обрушений плит перекрытий. Инциденты имели серьезные последствия, в том числе, человеческие жертвы:

- 1995 г., полное обрушение торгового центра в г. Сеул, Республика Корея;
- 2004 г., обрушение плиты перекрытия во время пожара в г. Гретценбах, Швейцария;
- 2013 г., прорыв нового плавательного бассейна в г. Краснодар, Россия;
- 2009 г., обрушение подземного паркинга в г. Москва, Россия.

Эти происшествия доказывают актуальность вопроса изучения усиления плит перекрытия.

Продавливание – механизм разрушения плиты перекрытия от приложения сосредоточенной нагрузки, происходящий в виде выкалывания площади вокруг опорной зоны, имеющей форму усеченной пирамиды с гранями, наклоненными под углом к горизонту, приближенным к 45° .

В ходе исследований было выявлено, что продавливание плит происходит в узле сопряжения плиты перекрытия с колонной. Причиной данного явления служит сосредоточенная сила от внешней нагрузки, приходящей в стык примыкания плиты к колонне, превышающая предельное усиление, которое может воспринимать бетон. Такое поведение характеризуется отсутствием предупреждающих об опасности признаков. Вследствие этого происходит ограниченное распределение внутренних усилий и рост чувствительности всей конструкции, что, в конечном итоге, приводит к её разрушению [1].

В данный момент существуют три типовых технологий усиления плит от продавливания, «рис. 1»:

- 1. Усиление посредством увеличения рабочей толщины плиты.**
- 2. Усиление посредством увеличения площади опирания.**

Недостатками усиления первого и второго типов являются трудности при устройстве опалубки и процессе бетонирования, образование бетонных выступов, уменьшение полезного объема помещения, увеличение веса конструкции и необходимость в использовании мокрых технологий. Также, если требуется увеличить толщину плиты перекрытия, может возникнуть проблема с доступом к стилобатной части здания, если она засыпана грунтом. Необходимо усилить фундамент вследствие увеличения приходящейся на него нагрузки.

3. Усиление посредством добавления поперечной арматуры. К недостаткам относят ограничения по максимальной величине усиления, необходимость в косметической отделке, дополнительной гидроизоляции и устройство пожарной огнестойкости выступающих частей болтовых соединений.

В рамках данной работы были рассмотрены последние два способа усиления плит перекрытий.

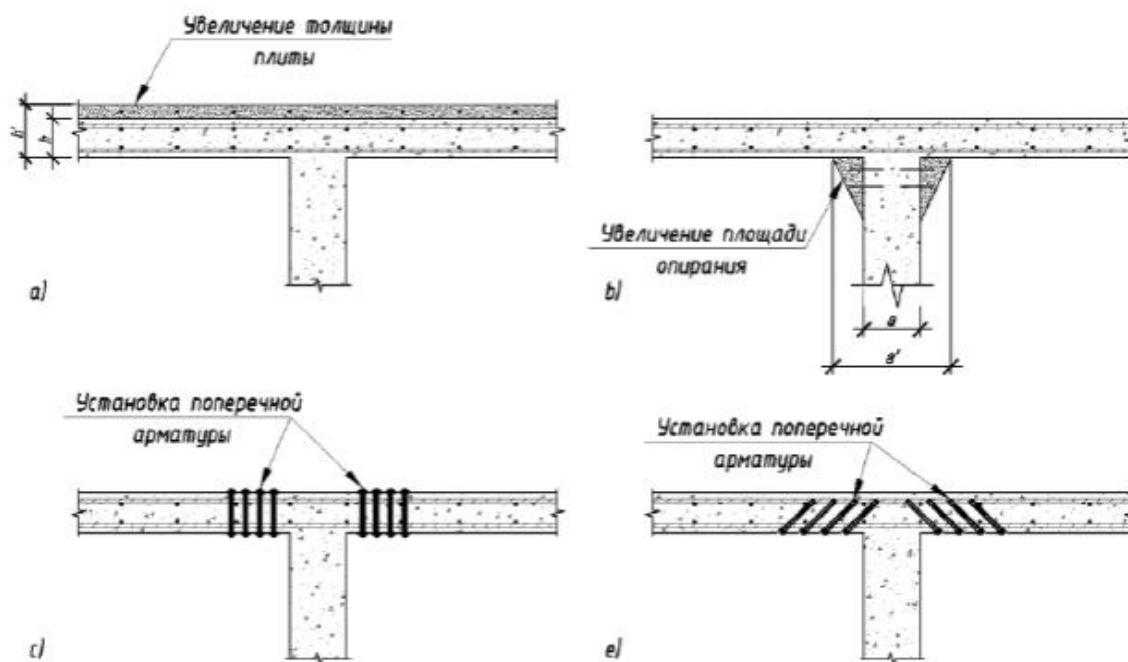


Рис. 1. – Четыре основные технологии усиления зоны продавливания: а) посредством увеличения рабочей толщины плиты, б) посредством увеличения площади опирания плиты, устройство капителей, с и е) посредством добавления поперечной арматуры.

Основная часть

Вопреки многолетним исследованиям в нашей стране и за рубежом, вопрос усиления железобетонных плит перекрытия путем вклеивания арматуры от продавливания в настоящий момент остается открытым.

Впервые изучением данного вопроса начал интересоваться А.Н. Тальбот. Экспериментальные результаты показали, что основными

факторами, влияющими на продавливание, являются прочность бетона, толщина плиты перекрытия и размеры площади нагружения [2, 3].

По СНиП II-21-75 расчет на продавливание плитных конструкций производился при условии действия силы без учета моментов. Формула была предложена А.А. Гвоздевым и выглядит следующим образом:

$$P \leq 0.75 \cdot R_p \cdot h_0 \cdot b_{cp},$$

где P – расчетная сила, возникающая от продавливания; h_0 – рабочая высота сечения плиты на данном участке; b_{cp} – среднее арифметическое периметров верхнего и нижнего основания пирамиды продавливания в пределах рабочей высоты сечения.

В СНиП 52-01-2003 понижающий коэффициент 0,75 был изменен на коэффициент α , численно равный 0,80 – для легкого бетона; 0,85 – для мелкозернистого; 1,00 – для тяжелого. Основным же принцип расчета остался прежним [4, 5].

Методика проведения расчета плиты перекрытия на продавливание была предложена Гвоздевым А.А. [6]. В последующем она была усовершенствована другими учеными – Фишеровой М.Ф. [7], Качановским С.Г. [8], Коровиным Н.Н. [9] и др.

Результаты испытаний нескольких образцов с предварительно установленной поперечной арматурой показали следующие особенности [10, 11]:

- замкнутые трещины вблизи поверхности усеченной пирамиды развиваются под углом 45 градусов;
 - в теле плиты трещины формируются в тангенциальном направлении от оси колонны, невидимые снаружи;
 - разрушение плит с арматурой в поперечном направлении обладает хрупким, пластичным характером;
-

- при достижении предела текучести в поперечных стержнях арматуры, пересекающих критическую трещину, происходит разрушение бетона, приводящее к исчерпанию несущей способности конструкции;
- увеличение несущей способности происходит вследствие повышения армирования в поперечном направлении.

Зарубежные ученые, проводя сравнительный анализ работы арматуры в различных вариантах (каркасов, хомутов, отогнутых стержней и др.), сделали заключение, что:

- для ограничения развития пластических деформаций и уменьшение ширины раскрытия трещин растянутую арматуру следует располагать над колонной;
- форма плиты, включающая продольные стержни в углах и замкнутые хомуты с крюками под углом 135 градусов, и её толщина, не превышающая 250 мм, обеспечивают наиболее эффективную работу хомутов;
- высокое сопротивление продавливанию показали наклонные стержни. Однако, большинство образцов разрушилось за зоной расположения поперечного армирования;
- результативно для повышения прочности плиты на продавливание показали себя одиночные вертикальные стержни с крюками под 180 градусов, которые с обоих концов обхватывают продольные стержни. При этом шпильки с крюками под 90 градусов оказались значительно менее эффективными. Однако следует учитывать, что установка шпилек загибами крюков не всегда обеспечивает достижение предела текучести в поперечной арматуре, особенно при усилении тонких плит.

К началу XXI века в европейских странах в качестве альтернативной поперечной арматуры все чаще стали использоваться инновационные двуголовчатые анкера, соединённые с помощью перфорированной стальной

планки, работающие на срез. Такой вид усиления показывает себя эффективным как при статических, так и при динамических нагрузках, а несущая способность плиты перекрытия за счет их использования возрастает в 1,9 раза. Расположение арматуры в данном случае всегда следует производить в направлении возникающих поперечных сил, вертикальные анкеры устанавливаются относительно колонны в форме звезды.

В России применение данной методики ограничивается недостатком экспериментальных данных и теоретических исследований. В настоящее время активно осуществляется внедрение способа усиления плит от продавливания с применением химических анкеров HILTI HZA-P и химического эпоксидного анкера HIT RE 500, метод также носит название HILTI PUNCHING. Впоследствии он был подтвержден натурными испытаниями в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева в 2011 году. Эта методика усиления плит перекрытия эффективно увеличивает стойкость к продавливанию и деформациям. Это позволяет равномерно распределить нагрузку, уменьшить расход стали, исключить вариант разрушения конструкции, а также сократить временные рамки работ по усилению относительно традиционных методов.

Было проведено сравнение исследований влияния установки поперечных сквозных шпилек с жесткой анкерровкой и установки наклонной арматуры с применением клеевого состава на поведение железобетонных плит перекрытий при продавливании, см. т. 1. [1, 4, 11].

При сравнении двух методов было выявлено, что технология усиления сквозными шпильками достигает наилучших результатов с точки зрения конструктивной эффективности и рационального использования материальных ресурсов и времени. Однако, в случае усиления фундаментной плиты или необходимости сохранения архитектурного вида – необходимо усиление наклонными стержнями на клеевых анкерах. Конечный выбор

такого или иного метода должен осуществляться для каждого проекта индивидуально, в зависимости от конструктивных требований.

Таблица 1

Характеристики	Способ усиления	
	Усиление сквозными шпильками	Усиление клеейкой наклонных шпилек
Класс бетона	B15-B45	B25-B40
Шаг стержней	не более $1/2 h_0$ и не более 300 мм	не менее $1/2 h_0$, но не более $0,75 h_0$ и не более 300 мм
Расстояние до колонны	не менее $1/3 h_0$ и не более $1/2 h_0$	$1/2 h_0$
Ширина зоны постановки	не менее $1,5 h_0$	минимальное кол-во стержней в луче - 2 шт.
Ограничение предела текучести стали поперечного армирования	до 640МПа	до 400Мпа
Особенности	Использование предварительно напряженной поперечной арматуры	Бурение под углом $45^\circ(\pm 5^\circ)$
	Наличие выступающих частей болтов сверху и снизу плиты перекрытия	Отсутствие выступающих частей после усиления, сохранение архитектурного вида

	Необходимость доступа к верхней части плиты	Возможность усиления фундаментной плиты
--	--	--

Заключение

Анализ научной отечественной и зарубежной литературы показал, что существуют несколько видов усиления железобетонных плит от продавливания. В ходе сравнения методов усиления путем добавления поперечной арматуры, наиболее целесообразным оказался способ сквозных шпилек. Но и в наши дни не существует единой методики ведения расчета, которая отображала бы физику процесса. Как в нашей, так и в зарубежных странах, задача усиления железобетонных плит перекрытия от продавливания до сих пор остается актуальной и требует доработки.

Литература

1. Ершов М.Н., Мушкин А.В. Технология усиления плит перекрытия от продавливания с использованием клейки поперечных арматурных стержней НІЛТІ НЗА-Р. Москва: Технология и организация строительного производства, 2013, 7 с.
2. Филатов В.Б., Галютдинов З.Ш., Коваленко М.В. Экспериментальное исследование работы железобетонной плиты перекрытия при продавливании колонной // Инженерный вестник Дона, 2020, №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N6y2020/6518.
3. Шогенов О.М., Беппаев А.М. Оценка прочности железобетонной плиты на продавливание // Инженерный вестник Дона, 2016, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3671.
4. Muttoni A. Punching Shear Strength of Reinforced Concrete Slabs without Transverse Reinforcement. ACI Structural Journal. 2008. Vol. 105. № 4. Pp. 440–450.



5. Susanto T., Cheong H.K., Kuang K.L., Geng J.Z. Punching Shear Strength of Slabs with Openings and Supported on Rectangular Columns. ACI Structural Journal. 2004. Vol. 101. № 5. Pp. 678–687.

6. Гвоздев А. А. Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций. Москва: Стройиздат, 1978, 204 с.

7. Фишерова М.Ф. Исследование безбалочных бескапителных перекрытий, возводимых методом подъема, для многоэтажных промышленных зданий. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук, Москва, 1971, 200 с.

8. Качановский С.Г. Сопротивление сплошных плит с поперечной арматурой действию концентрированной нагрузки. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук, Москва, 1982, 21 с.

9. Коровин Н.Н., Ступкин А.В. Продавливание фундаментов колоннами. Москва, Труды НИИЖБ, 1974. Вып. 10. С. 4-24.

10. Клованич С.Ф., Шеховцов В.И. Продавливание железобетонных плит. Натурный и численный эксперименты – Одесса: ОНМУ, 2011г, 119 с.

11. Сокуров А.З. Продавливание плоских железобетонных плит, усиленных поперечной арматурой. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук, Москва, 2015, 22 с.

References

1. Ershov M.N., Mushkin A.V. Tekhnologiya usileniya plit perekry`tiya ot prodavlivaniya s ispol`zovaniem vklejki poperechny`x armaturny`x sterzhnej HILTI HZA-P [Technology of reinforcement of floor slabs from punching using gluing of transverse reinforcing bars HILTI HZA-P]. Moskva: 2013, 7 p.

2. Filatov V.B., Galyautdinov Z.Sh., Kovalenko M.V. Inzhenerny`j vestnik Dona, 2020, №6, 11 s. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N6y2020/6518.

3. Shogenov O.M., Beppaev A.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №2, 9 s. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3671.

4. Muttoni A. Punching Shear Strength of Reinforced Concrete Slabs without Transverse Reinforcement. ACI Structural Journal. 2008. Vol. 105. No 4. Pp. 440–450.

5. Susanto T., Cheong H.K., Kuang K.L., Geng J.Z. Punching Shear Strength of Slabs with Openings and Supported on Rectangular Columns. ACI Structural Journal. 2004. Vol. 101. № 5. Pp. 678–687.

6. Gvozdev A. A. Novoe v proektirovanii betonny`x i zhelezobetonny`x konstrukcij [New in the design of concrete and reinforced concrete structures]. Moskva: Strojizdat, 1978, 204 p.

7. Fisherova M.F. Issledovanie bezbalochny`x beskapitelny`x perekry`tij, vozvodimy`x metodom pod``ema, dlya mnogoe`tazhny`x promy`shlenny`x zdaniy [Investigation of girderless, capeless floors erected by lifting method for multi-storey industrial buildings]. Diss. na soisk. uch. st. kand. texn. nauk, Moskva, 1971, 200 p.

8. Kachanovskij S.G. Soprotivlenie sploshny`x plit s poperechnoj armaturoj dejstviyu koncentrirovannoj nagruzki [Resistance of solid slabs with transverse reinforcement to the action of concentrated load]. Diss. na soisk. uch. st. kand. texn. nauk, Moskva, 1982, 21 p.

9. Korovin N.N., Stupkin A.V. Prodavlivanie fundamentov kolonnami [Pushing through the foundations with columns]. Moskva, Trudy` NIIZhB, 1974. Vy`p. 10. P. 4-24.

10. Klovanich S.F., Shexovczov V.I. Prodavlivanie zhelezobetonny`x plit [Punching of reinforced concrete slabs]. Naturny`j i chislenny`j e`ksperimenty` – Odessa: ONMU, 2011, 119 p.

11. Sokurov A.Z. Prodavlivanie ploskix zhelezobetonny`x plit, usilenny`x poperechnoj armaturoj [Punching of flat reinforced concrete slabs reinforced with transverse reinforcement]. Diss. na soisk. uch. st. kand. texn. nauk, Moskva, 2015, 22 p.



Дата поступления: 7.11.2023

Дата публикации: 8.12.2023