

## Армирование композитными материалами для защиты от продавливания узла «железобетонная плита–колонна»

*Альзурфи Мохаммед Кадхим Аллави, А.Н. Леонова, А.А. Хорошев*

*Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия*

**Аннотация:** Железобетонные плоские плиты перекрытий продолжают оставаться одними из самых популярных систем перекрытий из-за скорости строительства и присущей им гибкости в планировке помещений. Тем не менее, плоские безригельные перекрытия подвержены хрупкому разрушению на стыке плиты и колонны, которое может распространяться и приводить к прогрессирующему обрушению большего сегмента конструктивной системы. Недостаток прочности на сдвиг в двух направлениях может быть связан с ошибками проектирования конструкции, недостаточной прочностью материала или перегрузкой.

**Ключевые слова:** железобетонная плита, продавливание, поперечное армирование, стеклопластик, углепластик.

Железобетонные плиты перекрытий, опирающиеся на колонны, могут нуждаться в усилении из-за недостаточной прочности на продавливание. Некоторые исследования армирования соединения колонны с плитой различными способами были проведены с середины 1970 годов [1].

Ряд работ посвящен развитию расчетных и экспериментальных методов определения прочности плит на продавливание. Д.А. Пекин [2] рассмотрел отечественные и зарубежные методики расчета железобетонных плит на продавливание и на основе проведённых экспериментов предложил новую методику, основанную на учете влияния изгиба на сложное напряженное состояние в конструкции.

Экспериментальные и численные исследования прочности плит на продавливание приведены в работе [3] (Трофимова), где авторы провели численное моделирование конструкции и вычисления по методикам СП 63.13330-2018 и EN 1992 Eurocode 2: «Design of concrete structures. Part 1: General rules and rules for buildings». Даны рекомендации по расчету на прочность при центральном нагружении.

В работе [4] (Блинкова) рассмотрено влияние геометрических параметров плоских безбалочных перекрытий на величину и соотношение силовых факторов, возникающих при работе железобетонной плиты на совместное действие продавливающей силы и изгибающего момента. Используются результаты численного исследования на конечно-элементных моделях.

Влияние прочностных и деформационных свойств различных видов бетонов и фибробетонов на несущую способность плиты при продавливании исследовано в работе [5] (Хвастунов). Результаты экспериментов показали, что добавление фибры в количестве 1,2 % по объему увеличивает несущую способность плит из тяжелых бетонов при продавливании на 37 %

В статье [6] (Исупов) продемонстрирован один из способов BIM-моделирования на примере автоматизации расчета на продавливание в монолитных железобетонных плитах перекрытия в программном комплексе Autodesk Revit 2022 и платформе визуального программирования Dynamo. В рамках исследования составлены программы определения контуры продавливания и расстановки каркасов на продавливание.

В работе [7] (Трекин) проанализированы методики расчёта плит безбалочных перекрытий на продавливание по Российским и зарубежным нормам проектирования. В рассмотренных методиках расчёта на продавливание использованы схожие расчётные модели и учтены одинаковые силовые факторы. Учёт влияния моментов осуществляется либо путём введения в расчётную модель касательных напряжений, либо введением эмпирического коэффициента. Установлено, что работа узла сопряжения безбалочной плиты с колонной изучена пока не в полной мере и требуются дополнительные исследования по обобщению методик расчёта.

Влияние прочности бетона, расположения продольной и поперечной арматуры, коэффициента армирования, формы и размеров колонны

---

проанализированы в работе [8] (Альзурфи). Описаны различные типы усиления железобетонных плит в зоне продавливания

Все приведенные исследования открывали пути замедления или предотвращения процесса продавливания плиты, усиленной стальной арматурой. В этой работе представлен обзор одной из технологий усиления железобетонных плит с помощью композитного материала – армированного волокном пластика (FRP). Эта технология предусматривает два основных подхода: прямое поперечное армирование и изгибное поперечное армирование.

### **1. Прямое поперечное армирование**

В последнее время ткани из стекловолокна (FRP) используются в качестве поперечного армирующего материала. В этом методе композиты FRP «пррезают» толщину плиты. Это похоже на принцип применения срезных шпилек (хомутов) в качестве поперечной арматуры для восприятия напряжений в диагональном направлении. Бурят отверстия, затем FRP-ткани вплетают через эти отверстия в качестве поперечного армирования вокруг колонны.

Сиссакис и Шейх [9] (Сиссакис) в 2000 г. были первыми, кто применил эту технику. Они провели программный эксперимент по продавливанию усиленного поперечным армированием железобетонного узла плита-колонна с использованием ламелей из углепластика (CFRP). Они изучали эффективность установленных в отверстия с внешней стороны колонны хомутов из углепластика, выполняющих функцию поперечной арматуры. Они проверили 32 плиты размером 1500x1500x150 мм, разделенных на четыре группы в зависимости от процента армирования (1,49 % и 2,23 %) и использованных, как шаблоны армирования. Четыре прошитых образца использовались для исследования различных вариантов усиления (см. рис. 1, a-d).

---

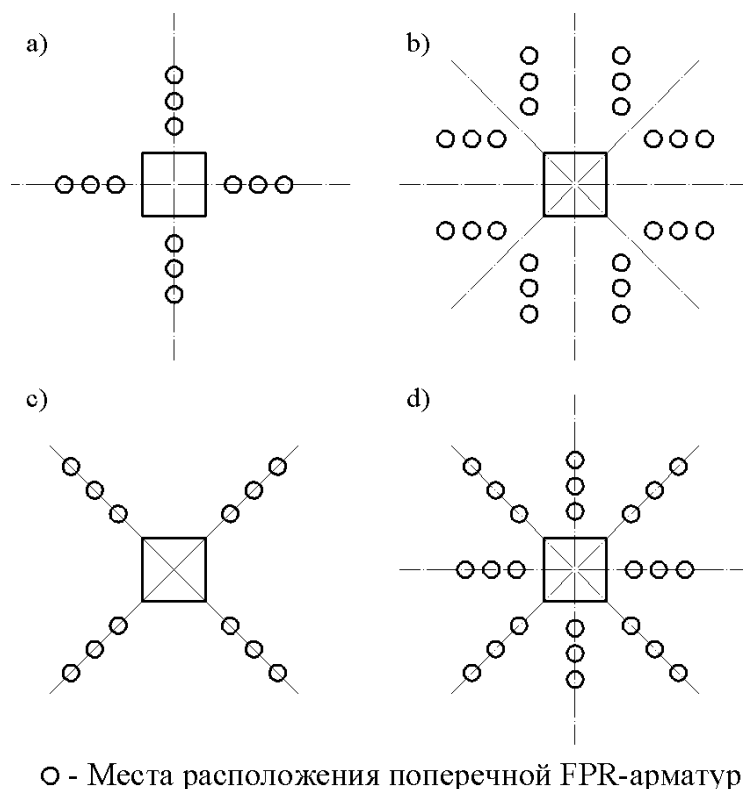


Рис. 1. Варианты схем поперечного армирования плиты вокруг колонн [9]

Усиленные таким образом плиты показали значительное увеличение прочности на сдвиг, пластичность и способность рассеивать энергию. Увеличение прочности на сдвиг было выше на 80%, и наблюдалось повышение пластичности более чем на 700 %, как показано на рис. 2).

Биничи и Байрак [10, 11], придерживаясь той же идеи использования углепластика (CFRP) в качестве поперечных хомутов, исследовали эффективность различных схем армирования.

На этом этапе экспериментальной программы были испытаны девять плит и два контрольных образца. Размер образца составлял 2135 x 2135 x 152 мм. Процент армирования составил 1,76 % для всех плит.

Для исследования различных вариантов усиления использовались два шаблона расположения углепластиковых полос (ламелей) и отверстий, как показано на рисунке 3.

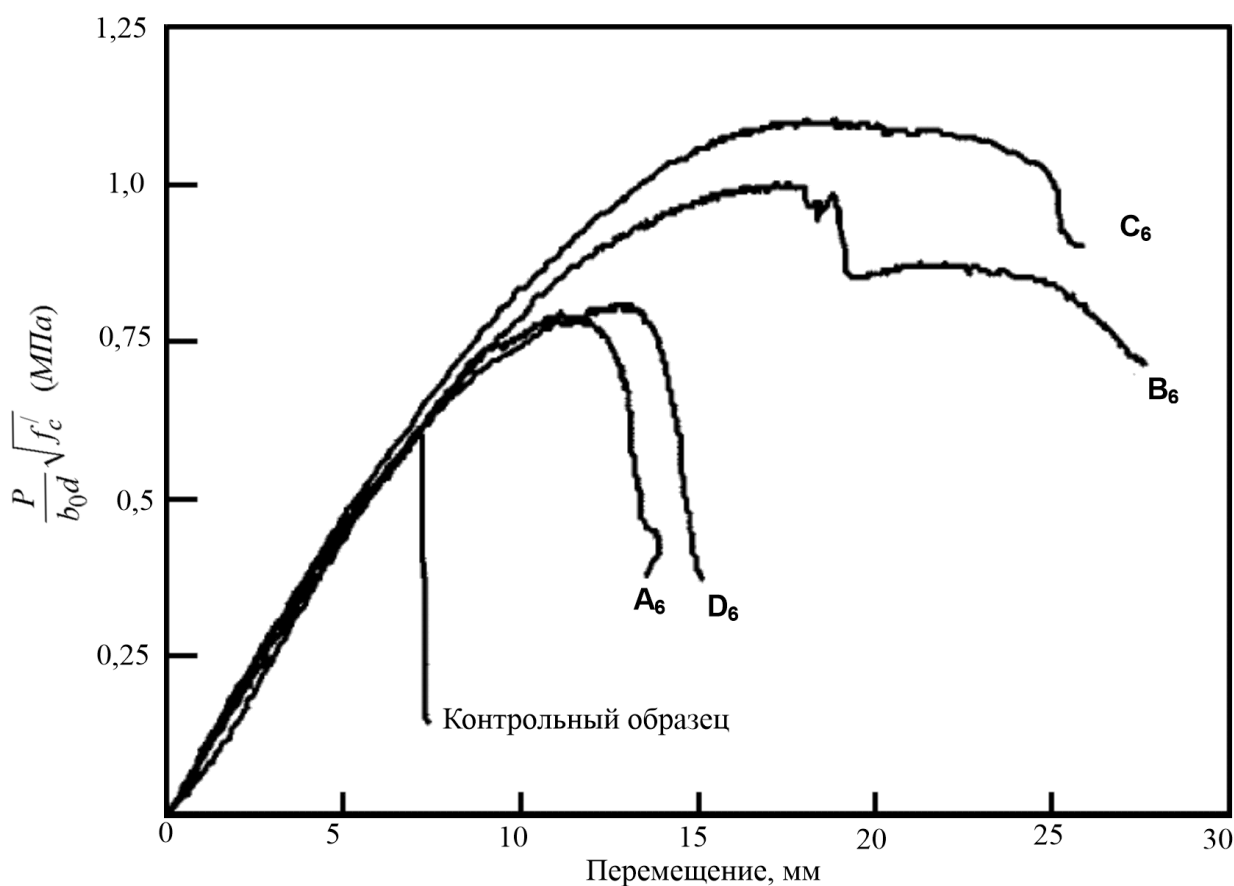


Рис. 2. Кривые нагрузка-деформация армированных плит в соответствии с вариантами a-d (рис. 1)

Обнаружено, что использование ламелей углепластика в качестве замкнутых хомутов увеличило прочность и пластичность испытуемых образцов. Увеличение максимальной несущей способности составило от 20% до 59% в зависимости от рисунка и количества используемых слоев. Другим замечательным улучшением стало смещение зоны разрушения при продавливании за пределы области поперечной арматуры. Это может быть связано с использованием ламелей углепластика в качестве замкнутых хомутов, увеличивающих прочность и пластичность испытанных образцов. Когда углепластиковые ламели были закреплены внахлест на сжатой стороне плиты, поперечно армированная область осталась относительно неповрежденной поперечными трещинами.

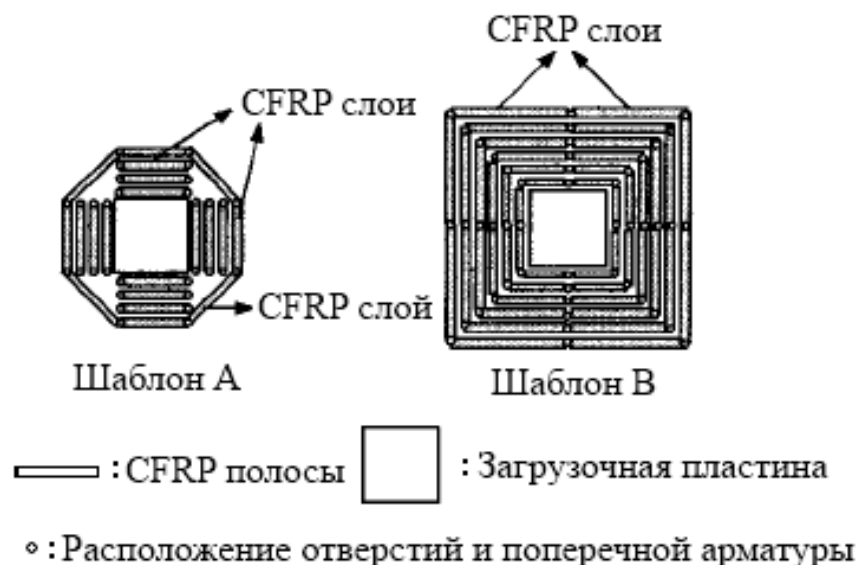


Рис. 3. Схемы армирования плиты вокруг колонны (вид в плане) [8]

Важность анкеровки поперечной арматуры была экспериментально подтверждена Джоном и Дэвидом [12] в 1990 г. и Бромсом [13] в 1990 г. Таким образом, трудность достижения эффективной анкеровки в тонких плитах, если они армированы поперечными шпильками, делает использование тканей FRP в качестве альтернативного материала для поперечного армирования весьма привлекательным в плитах с общей толщиной менее 200 мм. Однако этот подход может иметь некоторые недостатки при его применении в полевых условиях. Сверление такого большого количества отверстий с малым расстоянием между ними по толщине плиты может привести к разрезанию стержней внутренней стальной арматуры, если нет достаточной информации об их расположении.

## 2. Косвенное (изгибное) поперечное армирование

Усиление плит наклеенными стеклопластиковыми (FRP) ламелями имеет больше преимуществ по сравнению со стальным армированием плиты и при этом не изменяет её внешний вид. Это заставило исследователей направить свои опыты в пользу FRP, используемого, как материал для внешнего поперечного армирования.

Эрки и Хеффернан [14] в 1995 г. одними из первых исследовали повышение прочности бетонных конструкций путем применения FRP как на балках, так и на плитах [14, 15]. Они загружали восемь железобетонных плит (1000×1000×50 мм) до разрушения. Шесть плит имели армирование в двух направлениях из обычной стали, а две оставшихся – в одном направлении. Все плиты были испытаны в свободно опертом состоянии; армированные в двух направлениях плиты поддерживались по всем четырем краям, а армированные в одном направлении – только по их короткому направлению.

Одна плита, армированная в двух направлениях и две армированные в двух направлениях были испытаны как контрольные, а остальные пять были армированы снаружи на их напряженных поверхностях однонаправленными листами стеклопластика и углепластика. Следует упомянуть, что конфигурация образца не имела стержня колонны, выступающего из напряженной поверхности плиты, где применялось армирование FRP. Вместо этого штамп нагрузки был приложен на верхней грани плиты для достижения разрушения от двунаправленного сдвига или продавливания.

Записанные данные включают отклонение нагрузки для ключевых мест на плитах и деформации как в арматурной стали, так и в листах стеклопластика. Эти разрушения были инициированы изгибными трещинами которые при увеличении нагрузки превратились в сдвиговые трещины и в итоге привели к сдвиговому разрушению. Дополнительное армирование, обеспечиваемое листами FRP, увеличило изгибную жесткость плиты, продлило наступление изгибного растрескивания до более высоких нагрузок, и тем самым повысило прочность на продавливание.

Хараджли и Судки [16] в 2003 году провели экспериментальное исследование по оценке прочности на продавливание внутри соединения плита – колонна, усиленного гибкими листами углепластика. Они протестировали шестнадцать квадратных соединений «плита–колонна» с

---

размером 670 мм в длину и сечением стержня колонны  $100 \times 100$  мм, как показано на рис. 4. Плиты имели две различные толщины, 55 мм и 75 мм, и коэффициенты армирования. 1 и 1,5 % соответственно. Двенадцать образцов были усилены гибкими листами углепластика и оставшиеся четыре образца были сохранены, как контрольные.

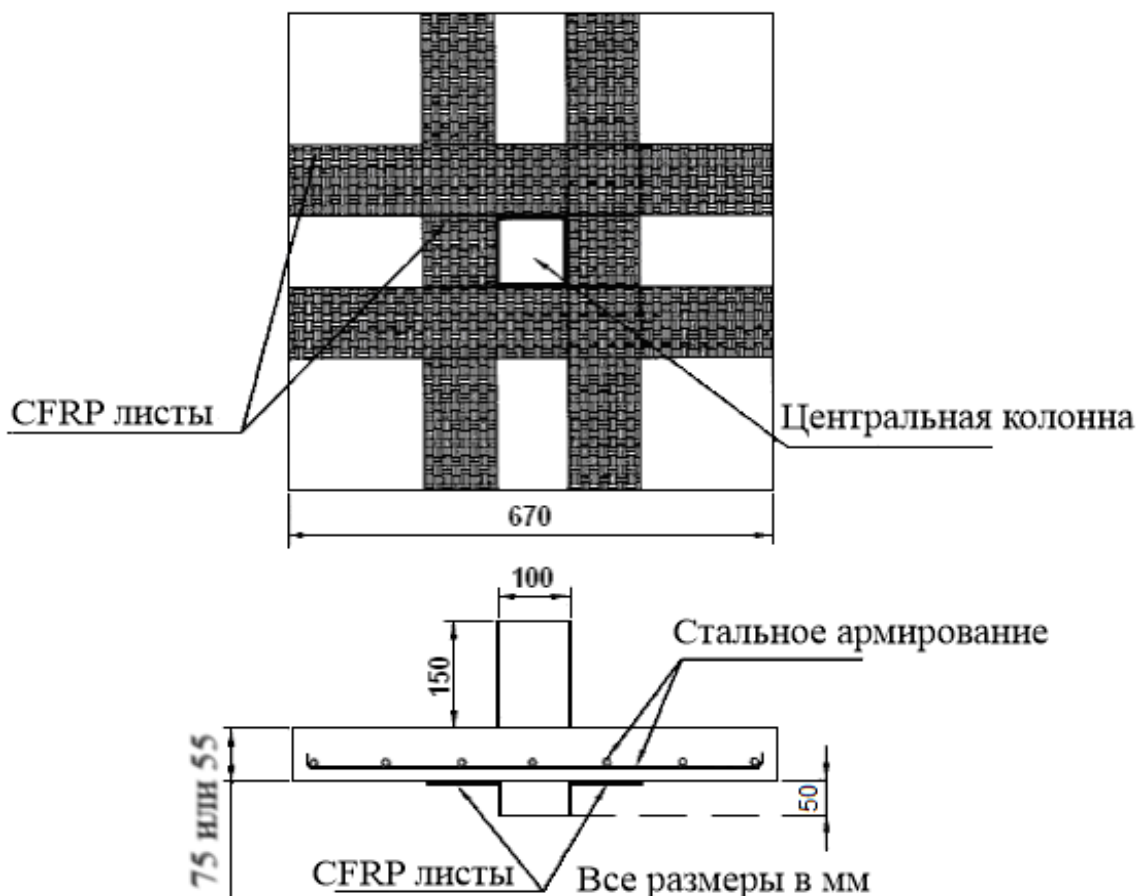


Рис. 4. Армированный углепластиковыми листами образец [16].

Результаты показывают, что использование листов углепластика изменило характер разрушения с изгибного разрушения к сдвигу при изгибе или чистому продавливанию, тем самым уменьшая пластичность разрушения.

Также применение углепластикового армирования повысило трещиностойкость, изгибную жесткость образцов и привело к значительному повышению предела прочности. Это можно объяснить усилением



углепластиком, повышающим прочность на сдвиг соединений плита–колонна за счет ограничения роста трещин при растяжении или увеличения прочности соединений на изгиб.

Увеличение нормализованной прочности на сдвиг составило от 17 % до 45 %, а увеличение нормализованной прочности на изгиб - от 26 % до 73 %. Соответствующее увеличение зависело от площади углепластика по отношению к площади внутреннего обычного армирования и способа разрушения образцов и листов углепластика, но имело тенденцию достигать плато при любом увеличении количества предоставляемых листов углепластика.

Они также сообщили, что использование однонаправленной системы FRP для усиления плиты перекрытия незначительно увеличивает сопротивление сдвигу при продавливании, а двунаправленная система FRP с клеевым соединением увеличивает прочность на сдвиг при продавливании в соответствии с индексом армирования (площадь углепластика относительно площади внутренней обычной арматуры) и режимом разрушения плиты, образцами и листами углепластика. Кроме того, использование углепластиковых листов дало самую высокую прочность на сдвиг при продавливании при том же коэффициенте усиления, в то время, как использование углепластиковых пластин дало наименьшую.

### **Вывод**

Таким образом, в монолитных безбалочных каркасах существует проблема обеспечения прочности плит перекрытий на продавливание. Представляется перспективным применение композитных материалов (стеклопластик, углепластик) для армирования узлов «плита–колонна».

## Литература

1. Abdullah Ahmad Mahmoud. Analysis of Repaired/Strengthened R.C. Structures Using Composite Materials: Punching Shear. A thesis submitted to The University of Manchester for the degree of Doctor of Philosophy in the Faculty of Engineering and Physical Sciences. 2010. 272 p.
  2. Пекин Д.А. Влияние изгиба на механизм продавливания опорной зоны железобетонной плиты // Промышленное и гражданское строительство. М: Изд-во «ПГС». 2019. № 10. С. 20-28.
  3. Трофимова В.М., Бурмистрова А.А., Аксёнов Н.Б. Анализ методов расчёта безбалочных перекрытий на продавливание // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5469](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5469).
  4. Блинкова Е.В., Филатов В.Б., Галяутдинов З.Ш., Коваленко М.В. Численное исследование силовых факторов на работу плоских железобетонных плит при внецентренном // 77 Всероссийская научно-техническая конференция «Традиции и инновации в строительстве и архитектуре». Самара: СГТУ, С. 55-61.
  5. Хвастунов В.Л., Скачков Ю.П., Хвастунов А.В. Связь прочностных и деформационных свойств бетонов и фибробетонов с параметрами продавливания железобетонных плит // Региональная архитектура и строительство. 2015. № 1. С. 94-100.
  6. Исупов И.С., Карманова М.М., Сальников В.Б., Придвижкин С.В. Автоматизация расчета на продавливание и проектирование поперечной арматуры плит перекрытия // Перспективы науки. 2022. № 6(153). С. 69-74.
  7. Трекин Н.Н., Саркисов Д.Ю, Трофимов С.В. Экспериментально-теоретическое исследование прочности плит на продавливание // Вестник МГСУ. М. 2021. т. 16, № 8. С. 1006-1014.
-

8. Альзурфи Мохаммед Кадхим Аллави, Леонова А.Н., Хорошев А.А. Работа железобетонных плит при продавливании // Инженерный вестник Дона. 2024. № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9062](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9062)
9. Sissakis, K. and Sheikh S.A. Strengthening concrete slabs for punching shear with carbon fiber-reinforced polymer laminates. *ACI Structural Journal*, 2007. 104(1): p. 49-59.
10. Binici, B. and Bayrak O. Use of fiber-reinforced polymers in slab-column connection upgrades. *ACI Structural Journal*, 2005. 102(1): p. 93-102.
11. Binici, B. and Bayrak O. Punching shear strengthening of reinforced concrete flat plates using carbon fiber reinforced polymers. *Journal of Structural Engineering*, 2003. 129(9): p. 1173-1182.
12. John S.L. and David I.L. Punching shear behavior of slabs With varying span-depth ratios. *ACI Structural Journal*, 1990. 87(5): p. 507-511.
13. Broms C.E., Punching of flat plates-A question of concrete properties in biaxial compression and size effect. *ACI Structural Journal*, 1990. 87(3): p. 292-304.
14. Erki M.A. and Heffernan P.J. Reinforced concrete slabs externally strengthened with fibre-reinforced plastic materials. In 2nd Symp. on Non-Metallic FRP Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-2). 1995. Ghent, Belg.
15. Wight R.G., Green M.F. and Erki M.A. Prestressed FRP sheets for poststrengthening reinforced concrete beams. *Journal of Composites for Construction*, 2001. 5(4): p. 214-220.
16. Harajli M.H. and Soudki K.A. Shear strengthening of Interior slab-column connections using carbon fiber-reinforced polymer sheets. *Journal of Composites for Construction*, 2003. 7(2): p. 145-153.

## References

1. Abdullah Ahmad Mahmoud. Analysis of Repaired/Strengthened R.C. Structures Using Composite Materials: Punching Shear. A thesis submitted to The University of Manchester for the degree of Doctor of Philosophy in the Faculty of Engineering and Physical Sciences. 2010. 272 p.
  2. Pekin D.A. Promy`shlennoe i grazhdanskoe stroitel`stvo. M: Izd-vo «PGS». 2019. № 10. pp. 20-28.
  3. Trofimova V.M., Burmistrova A.A., Aksyonov N.B. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5469](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5469).
  4. Blinkova E.V., Filatov V.B., Galyautdinov Z.Sh., Kovalenko M.V. 77 Vserossijskaya nauchno-texnicheskaya konferenciya «Tradicii i innovacii v stroitel`stve i arxitekture». Samara: SGTU, pp. 55-61.
  5. Xvastunov V.L., Skachkov Yu.P., Xvastunov A.V. Regional`naya arxitektura i stroitel`stvo. 2015. № 1. pp. 94-100.
  6. Isupov I.S., Karmanova M.M., Sal`nikov V.B., Pridvizhkin S.V. Perspektivy` nauki. 2022. № 6(153). pp. 69-74.
  7. Trekin N.N., Sarkisov D.Yu, Trofimov S.V. Vestnik MGSU. M. 2021. t. 16, № 8. pp. 1006-1014.
  8. Al`zurfi Moxammed Kadxim Allavi, Leonova A.N., Xoroshev A.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2024. № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9062](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9062)
  9. Sissakis, K. and Sheikh S.A. ACI Structural Journal, 2007. 104(1): pp. 49-59.
  10. Binici, B. and Bayrak O. ACI Structural Journal, 2005. 102(1): pp. 93-102.
  11. Binici, B. and Bayrak O. Journal of Structural Engineering, 2003. 129(9): pp. 1173-1182.
  12. John S.L. and David I.L. 1990. 87(5): pp. 507-511.
-



13. Broms C.E. ACI Structural Journal, 1990. 87(3): pp. 292-304.
14. Erki M.A. and Heffernan P.J. In 2nd Symp. on Non-Metallic FRP Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-2). 1995. Ghent, Belg.
15. Wight R.G., Green M.F. and Erki M.A. Journal of Composites for Construction, 2001. 5(4): pp. 214-220.
16. Harajli M.H. and Soudki K.A. Journal of Composites for Construction, 2003. 7(2): pp. 145-153.

**Дата поступления: 24.02.2024**

**Дата публикации: 28.03.2024**