**УСИЛЕНИЕ ПОВРЕЖДЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

 **ФИБРОАРМИРОВАННЫМИ ПЛАСТИКАМИ**

**STRENGTHENING DAMAGED REINFORCED CJNCRETE CONSTRUCTIONS BY FIBER REINFORCED POLIMERS**

**Беспаев А.А.**

доктор технических наук, зав. лабораторией «КазНИИСА». Алматы, Республика Казахстан

**Bespayev A.A.**

Doctor of Technical Sciences, Heat of Laboratory “KAZNIISA”. Almaty, Republiс of Kazakhstan

**Аннотация.** Рассмотрена эффективность усиления и восстановления эксплуатационной пригодности поврежденных при землетрясениях железобетонных конструкций предварительно напряженными фиброамированными пластиками.

**Abstract.** The consider of strengthening and restoring the operational suitability of damager to be earthquakes reinforced concrete structures by prestressed fiber reinforced plastics is considered*.*

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-159-166**

При возведении и в процессе эксплуатации зданий нередки повреждения несущих конструкций. Основные причины повреждения железобетонных конструкций связаны с ошибками при расчете и конструировании; низким качеством бетона и арматуры; нарушением технологии изготовления конструкций; недостаточной антикоррозионной защитой; чрезмерными нагрузками и чрезвычайными стихийными бедствиями. Наиболее часто повреждаются изгибаемые несущие железобетонные конструкции (перекрытия, балки, фермы). Особое место занимают поврежденные железобетонные конструкции зданий при землетрясениях. Помимо негативного эстетического восприятия таких конструкций, нарушается эксплуатационная пригодность этих конструкций.

Традиционные методы усиления железобетонных конструкций ориентированы на применение для усиления металлической арматуры или прокатной стали. Усиление обеспечивается наращиванием размеров, устройством обойм или рубашек, применением шпренгельных систем и т.п. Основные трудности такого усиления связаны с необходимостью обеспечения совместной работы дополнительных элементов усиления с существующей конструкцией, что требует выполнения вскрышных работ, приварки к существующей арматуре, обетонирования элементов. Для усиления требуется дополнительное оборудование, выполнение сварных, опалубочных и бетонных работ. Необходимо значительное время для набора прочности бетона омоноличивания. При этом увеличиваются размеры сечения и вес конструкций, затруднен контроль качества усиления. Эти работы обладают высокой трудоемкостью, длительностью выполнения, низкой эффективностью, высокой стоимостью.

В последние два десятилетия во многих развитых странах мира усиление железобетонных конструкций производится с использованием композитных фиброармированных пластиков. В конце прошлого века в Японии впервые композитные материалы использовали при усилении колонн обоймами [1]. Позже предложена более совершенная зависимость прочности бетона в фибропластиковой обойме [2], [3]. Затем были проведены исследования работы изгибаемых железобетонных конструкций, усиленных наклеиванием полос композиционного материала на бетонные поверхности [4]. В работе [5] рассмотрены вопросы усиления фибропластиковыми материалами строительных конструкций из разных материалов. В работе [6] предлагается методика расчета нормальных сечений железобетонных конструкций, усиленных лентами ламината.

В Казахстане выполнен комплекс экспериментальных исследований работы сжатых бетонных элементов, усиленных обоймами, также изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в растянутой зоне углеродными фибропластиковыми материалами при статических и динамических нагрузках [7] и [8]. На основании выполненных исследований разработаны методы расчета железобетонных конструкций, усиленных композитными фибропластиковыми материалами для обычных и сейсмических воздействиях.

Современные методы усиления строительных конструкций ориентированы на применение для усиления фиброармированных пластиков, представляющих собой композит из фиброармированных искусственных волокон в пластиковой основе. Композитные материалы усиления отличаются повышенной прочностью, упругим характером деформирования, высокой коррозионной стойкостью, малым весом. Фиброармированные пластики поставляются в виде композитных лент, тканей или сеток, которые содержат армирующие волокна из углерода, базальта, арамида или стекла в полимерной матрице из различных смол (эпоксидных, фенольных, винилэфирных или других видов органических смол). Применение поверхностного усиления железобетонных конструкций путем непосредственного наклеивания на бетонную поверхность композитных лент или сеток может повышать прочность растянутой зоны в несколько раз, увеличить несущую способность по поперечной силе до двух раз, радикально повысить прочность сжатого бетона. На очищенную бетонную поверхность наносится грунтовка и затем наклеиваются пластиковые материалы. Этот метод отличается простотой и повышенной скоростью выполнения, высокой эффективностью, низкой трудоемкостью, снижением стоимости работ, он обеспечивает возможность дополнительного нагружения усиленных конструкций уже через несколько часов после наклеивания усиления. Поверхностное усиление наклеиванием фиброармированных пластиков на поврежденные железобетонные конструкции увеличивает жесткость усиливаемых элементов, уменьшает скорость увеличения прогибов и ширины раскрытия трещин.

Однако, поверхностное усиление наклеиванием фиброармированных пластиков на поврежденные железобетонные конструкции не уменьшает ширину раскрытия имеющихся трещин и существующие прогибы изгибаемых элементов. Фиброармированные пластики включаются в работу усиливаемых конструкций только при дальнейшем увеличении нагрузки, хотя при этом они уменьшают скорость раскрытия трещин и роста вертикальных прогибов, т.е. поверхностное усиление поврежденных изгибаемых железобетонных конструкций не восстанавливает их эксплуатационную пригодность

Для восстановления эксплуатационной пригодности поврежденных изгибаемых железобетонных конструкций предлагается применение предварительного напряжения усиливающих фиброармированных пластиков.

 Разработан метод создания предварительного напряжения путем создания временного строительного подъема поврежденных конструкций. Это приводит к зажатию трещин и уменьшению прогибов в поврежденных элементах, затем выполняется поверхностное усиление подверженных участков перекрытия и после схватывания клеевых составов приподнятые конструкции опускаются и в процессе опускания происходит совместное деформирование усиленной конструкции наклеенных на нее фиброармированных пластиков. В процессе опускания усиленного элемента фиброармирующие материалы включаются в совместную работу с восстанавливаемым элементом, что создает их предварительное напряжение, обеспечивает уменьшение деформаций растянутой металлической арматуры, приводит к уменьшению ширины раскрытия трещин, ликвидации чрезмерных прогибов конструкции и восстановлению эксплуатационной пригодности железобетонного перекрытия.

Временный строительный подъем поврежденных изгибаемых элементов может обеспечиваться телескопическими стойками, домкратами, шпренгельными системами из канатов или другими способами. Ориентировочная величина усилий подъема, достаточных для ликвидации существующего прогиба и зажатия трещин, может определяться по следующей формуле:

  (1)

где

N- требуемая величина усилия в середине пролета усиливаемого элемента, необходимая для ликвидации существующего прогиба,

1. грузовая площадь, с которой собирается вертикальная нагрузка, обеспечивающая ликвидацию прогиба;

g – собственный вес единицы площади усиливаемой конструкции;

q – вес имеющихся на действующих на единице этой площади временных нагрузок.

 А=bL/2 (2)

b – ширина грузовой площади, с которой производится разгрузка усиливаемого элемента;

L – пролет усиливаемого элемента.

Дополнительное усилие, которое необходимо для создания строительного подъема поврежденного элемента, определяется методами строительной механики с учетом начальной жесткости усиливаемого элемента,

В Казахстане более десятка крупных многоэтажных зданий получили усиление и восстановление поврежденных железобетонных перекрытий. В процесс создания предварительного напряжения осуществлялся замером вертикальных перемещений и ширины раскрытия трещин в критических сечениях поврежденных элементов на всех стадиях усиления.

Ниже приведены некоторые примеры выполненного восстановления эксплуатационной пригодности и повышения прочности поврежденных железобетонных перекрытий.

**Пример №1**

Блок 1 Павильона 1 «Торгового центра Алмалы» в городе Алматы представляет собой двухэтажное подземное здание прямоугольной формы в плане размерами 49,0х54,0 м с сеткой колонн 9,0х9,0 м. По конструктивному решению здание является каркасно-связевой системой с жесткими узлами соединения ригелей с колоннами и вертикальными диафрагмами жесткости. При обследовании несущих конструкций здания выявлено наличие повышенных прогибов и чрезмерной ширины раскрытия трещин в монолитных железобетонных перекрытиях. Рекомендации по усилению предусматривали восстановление эксплуатационной пригодности перекрытий производить поверхностным наклеиванием предварительно напряженных фиброармированных пластиков. В процессе усиления производились замеры вертикальных перемещений элементов перекрытий с помощью лазерного тахеометра «Leica Flexline TS02plus» с точностью 0,5 мм, а ширина раскрытия трещин замерялась микроскопом МПБ-3 с точностью 0,02 мм. Рекомендации по усилению конструкций перекрытия включали:

 - усиление главных и второстепенных ригелей ригели перекрытий, имеющих чрезмерное раскрытие трещин, производилось поверхностным наклеиванием на нижнюю грань лент ламеля FibArm 12/50;

 - усиление плит перекрытий, имеющих чрезмерное раскрытие трещин, осуществлялось наклеиванием на нижнюю поверхность поврежденных плит поло однонаправленных сеток FibArm Tape 530/300 (Рисунок.1).

 

Рисунок 1 - Схема расположения полос сеток усиления плиты перекрытия

Приподнимание ячеек перекрытия производилось телескопическими стойками (Рисунок 2).

 

 Рисунок 2 - Вид телескопических стоек для подъема перекрытия

Выполненное усиление конструкций перекрытия над нижним этажом привело к снижению прогибов и уменьшению ширины раскрытия трещин в ригелях и плитах перекрытий:

 - прочность главных ригелей увеличилась на 30%, прочность второстепенных ригелей

 увеличилась на 45%, прочность плит перекрытий увеличилась на 75%;

 - ширина раскрытия трещин в плите перекрытия уменьшилась на 32%, в главных

 ригелях – на 15%, а второстепенных ригелях – на 10%; прогиб перекрытия уменьшился на 37%.

Рекомендации по усилению железобетонного покрытия здания включали не только поверхностное усиление элементов перекрытия, но и наращивание толщины плиты:

 - усиление главных и второстепенных ригелей ригели перекрытий, имеющих чрезмерное раскрытие трещин, производилось поверхностным наклеиванием на нижнюю грань лент ламеля FibArm 12/50;

- усиление плит перекрытий, имеющих чрезмерное раскрытие трещин, осуществлялось наклеиванием на нижнюю поверхность поврежденных плит поло однонаправленных се-ток FibArm Tape 530/300;

- на плите перекрытия уложен слой железобетона толщиной 200 мм, армированного сеткой.

Выполненное усиление конструкций покрытия привело к снижению прогибов и уменьшению ширины раскрытия трещин в ригелях и плитах покрытия:

 - прочность главных ригелей увеличилась на 70%, прочность второстепенных ригелей увеличилась более, чем в 2 раза, прочность плит плкрытия увеличилась более, чем в 3 раза;

 - ширина раскрытия трещин в плите перекрытия уменьшилась на 33%, в главных ригелях – на 36%, во второстепенных ригелях – на 5%; а прогиб покрытия уменьшился - на 37%.

 Таким образом, выполненное усиление здания «Торгового центра Алмалы» не только усилило перекрытия, но и восстановило их эксплуатационную пригодность.

**Пример №2**

Многофункциональный жилой комплекс с паркингом расположен в южной части г. Алматы в Медеуском районе на ул. Горной. Он состоит из трех Блоков почти прямоугольных в плане зданий размерами 18х35 м, имеющих по четыре жилых этажа, подвальный и мансардный этажи. Здания Блоков имеют каркасно-стеновую конструктивную систему в виде ригельного каркаса и несущих стен, в которой большую часть вертикальных нагрузок и горизонтальные нагрузки воспринимают и передают основанию несущие железобетонные стены.

Обследование жилых зданий выявило наличие чрезмерных трещин в плитах перекрытий. Усиление плит перекрытий производись поверхностным усилением растянутой стороны с помощью фиброармированных лент ламината MBRACE LAM CF 165/3000.50x1,2.100m. Для восстановления эксплуатационной пригодности поврежденных участком перекрытия производилось предварительное напряжение фибропластиковой арматуры путем подъема поврежденных участков плит перекрытий телескопическими стойками с созданием вертикальны усилий не менее 10-15 тс до ликвидации прогибов и «зажатия» имеющихся трещин до величины 0,10-0,15 мм (Рисунок. 3)



Рисунок 3 - Схема усиления плиты на отм. +22,000 Блока «С» на ул. Горной

 Таким образом, после усиления плит перекрытий и демонтажа телескопических опор остаточная ширина раскрытия трещин в бетоне железобетонных плит перекрытий не превышала 0,10-0,25 мм, а прогибы перекрытий не превышали 18-30 мм.

**Пример №3**.

Жилой дом расположен в Медеуском районе г. Алматы на проспекте Достык и представляет собой трехэтажное здание общими габаритами в плане 18,5х26,7 м и высотой около 10 м и состоит из трех блоков прямоугольной формы в плане размерами 9х15 м.

По конструктивному решению жилой дом относится к стеновым системам с несущими стенами комплексной конструкции и монолитными перекрытиями. Несущие стены выполнены из кирпичной кладки, усиленной железобетонными включениями. Плиты перекрытия и покрытия выполнены толщиной 200 мм и армированы двойными сетками из стержней ∅12-АIII, ∅8А-III с ячейками 200х200 мм.

В плитах перекрытия над вторым этажом обнаружены горизонтальные трещины на нижней стороне в пролетах плит шириной раскрытия 0,35-0,50 мм. Поврежденные участки плит перекрытий усилены по растянутой стороне фиброармированными пластиками в виде ленты ламината MBRACE LAM CF 165/3000.100x1,2.100m.

Таким образом, после усиления плит и демонтажа телескопических опор остаточная ширина раскрытия трещин в бетоне железобетонных плит перекрытий не превышала 0,10-0,20 мм

**Пример №4**

Здание на проспекте Сейфуллина в г. Алматы представляет собой трехэтажное здание общими габаритами в плане 18,5х26,7 м, высотой около 10 м и состоит из трех блоков прямо-угольной формы в плане размерами 9х15 м. По конструктивному решению здание является рамно-связевой системой в виде рамного каркаса и вертикальных диафрагм жесткости, в которой вертикальные нагрузки, главным образом, воспринимает и предает основанию рамный каркас, а горизонтальные нагрузки воспринимают совместно вертикальные диафрагмы жесткости и рамный каркас.

Основным недостатком возведенных несущих железобетонных конструкций здания является наличие диагональных трещин железобетонных перекрытиях шириной раскрытия до 0,4-0,5 мм. Рекомендации по усилению здания предусматривали усиление пролетных зон отдельных ячеек безбалочных перекрытий, имеющих трещины недопустимой величины, двунаправленными сетками MBRACE FIB CF Sheet 50/50. Усиление плит перекрытий, имеющих недопустимое раскрытие трещин, выполнено наклеиванием в шахматном порядке однонаправленных углеродных лент шириной 600 мм марки FibArm Tape 230x300.

При выполнении работ по усилению перекрытий здания выполнялся подъем участков железобетонных перекрытий с помощью гидравлического домкрата и сварной металлической стойки (Рисунок 4). Затем устанавливались временные металлические стойки и выполнялись работы по наклеиванию усиливающих лент. После набора прочности клея, которым приклеивались сетки к бетону, временные стойки демонтировались.

Анализ результатов обследования перекрытий после усиления показал, что прогибы и ширина раскрытия трещин в усиленных плитах перекрытий соответствуют требованиям норм по проектированию железобетонных конструкций.

  

 Рисунок 4- Общий вид домкрата со стойкой и временных опор

**ВЫВОДЫ**

1. Рассмотрены особенности поверхностного усиления поврежденных при землетрясениях изгибаемых железобетонных конструкций композитными фиброармированными пластиками. Показано эффективное влияние такого усиления на прочность, жесткость и трещиностойкость конструкций.

2. Для восстановления эксплуатационной пригодности поврежденных железобетонных конструкций рекомендуется создавать предварительное напряжение фиброармированных пластиков.

3. Разработан практический метод предварительного напряжения фиброармированных пластиков путем создания временного строительного подъема, при котором увеличивается совместность работы фиброамированных пластиков с усиливаемой конструкцией.

4. Приведены примеры усиления различных зданий предварительно напряженными фиброамированными пластиками, позволившие восстановить эксплуатационную пригодность поврежденных железобетонных конструкций.

**Литература**

1. Сяо Ю., Ма Р. Сейсмическое усиление круглых колонн с использованием композитных обоймы/Журнал «Конструктивная инженерия». ФСКE. 1997. В.5. №10.

2. Teнг Д.Г., Чен В.Ф., Смит С.T., Lam L. Усиление ФАП железобетонных конструкций.2002.Джон и Сыновья, ООО.

3. Хаютин Ю.Г., Чернявский В.Л., Аксельрод Е.З. Применение углепластиков для усиления строительных конструкций // «Бетон и железобетон» М. №6. 2002.

4. Усиление железобетонных конструкций обоймами из фиброармированных пластиков для сейсмических воздействий/ Технический отчет ФИБ, Бюллетень №. 35. April 2006.

5. Патитини M., Ачита М., Бургой Крис. Д. Прочность, жесткость и энергоемкость балок, усиленных фибропластиковой арматурой //АКИ Конструктивный журнал. 2009. Февраль.

6. Мухамедиев Т.А., Кузеванов Д.В. Расчет внецентренно сжатых железобетонных конструкций, усиленных обоймами из композитных материалов // Бетон и железобетон. М. Изд. Ладья, 2014. №2.

7. Беспаев А.А., Куралов У.С., Алтигенов У.Б. Прочность сжатых бетонных элементов, усиленных фиброармированными сетками// Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2014. №2.

8. Беспаев А.А., Куралов У.С., Алтигенов У.Б. Исследование работы изгибаемых железобетонных конструкций, усиленных фиброармированными пластиками, при динамических нагрузках // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений». 2015. №3.

**References**

1. Xiao Y., Ma R. Seismic Retrofit of RC Circular Columns using Prefabricated Composite Jaketing/ Journal of Structural Engineering. FSCE. 1997. V5. No10.

2. Teng J.G., Chen J.F., Smith S.T., Lam L. FRP Strengthened RC Structures.2002.John Wiley&Sons, Ltd.

3. Rhautin U.G., Chernaivskiy V.L., Akselrod Е.Z. Using FRP by superficial gluing of buildings constructions.Concrete and reinforced concrete. 2002. No. 6.

4. Retrofitting of Concrete Structures by Externally Bonded FRPs with Emphasis on Seismic Applications/ Techical Report. Fib Bulletin No. 35. April, 2006.

5. Pathithini M., Achita М., Burgoyne Chris. J. Monent, Curvature and Strain Energy of Beams with External Fiber-Reinforcement Polymer Reinforcement. ACI Structural Jornal. 2009. February.

6. Muchamediev Т.А., Кuzevanov Д.V. Calculation of eccentrically compressed reinforced concrete structures reinforced with holders made of composite materials.Concrete agd reinforced concrete. М.: Ladya. 2014.No2.

7. Bespayev А.А., Kuralov U.S., Аltigenov У.B. Strength of compressed concrete elements reinforced with fiber reinforced nets. Earthquake Engineering. Constructions Safety. 2014, no 2.

8. Bespayev А.А., Kuralov U.S., Аltigenov У.B. Study of the work flexible bonded with fiber reinforced plastics under dynamic loads. Earthquake Engineering. Constructions Safety 2015, no 3.