



УДК 624.078.012



**БЕСПАЕВ А.А.**

Д-р технічних наук, зав. лаб.,  
АТ «КазНДІБА», м. Алмати,  
Республіка Казахстан,  
e-mail: aliy40@mail.ru,  
тел.: +10 (727)392-76-36



**КУРАЛОВ У.С.**

Зав. сектором, АТ «КазНДІБА»,  
м. Алмати, Республіка  
Казахстан,  
e-mail: ulan\_kuralov@mail.ru,  
тел.: +10 (727) 392-74-40



**АЛТИГЕНОВ У.Б.**

Науковий співробітник,  
АТ «КазНДІБА», м. Алмати,  
Республіка Казахстан,  
e-mail: ulan\_kaz@mail.ru,  
тел.: +10 (727) 392-75-59



**ДОСАЕВ Н.Г.**

Заст. директора центру,  
АТ «КазНДІБА», м. Алмати,  
Республіка Казахстан,  
e-mail: dosayev.nurzhan@mail.ru,  
тел.: +10 (727) 392-75-50

## ВІДНОВЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ПРИДАТНОСТІ ЗГИНАНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИМИ ФІБРОАРМОВАНИМИ ПЛАСТИКАМИ

### АНОТАЦІЯ

Пропонується спосіб відновлення експлуатаційної придатності згинаних залізобетонних конструкцій, що мають підвищені прогини і надмірне розкриття тріщин. Сучасні методи підсилення шляхом поверхневого наклеювання композитних фіброармованих пластиків на розтягнуту зону експлуатованих залізобетонних конструкцій підвищують міцність і жорсткість підсилюваних елементів, але не зменшують прогини і ширину розкриття тріщин. Для відновлення експлуатаційної придатності пошкоджених залізобетонних конструкцій пропонується попереднє напруження, що застосовують для підсилення фіброармованих пластиків, яке забезпечується створенням в пошкоджених елементах тимчасового будівельного підйому. Фіброармовані пластики наклеюються на розтягнуту зону наклеюваних елементів і після набору міцності клейових складів залізобетонна конструкція опускається і прагне прийняти вихідне положення, створюючи попереднє напруження фіброармированих пластиків. Це призводить до зниження прогинів посиленої залізобетонної конструкції і зменшення ширини розкриття існуючих тріщин.

У Казахстані більше десятка великих об'єктів посилено за допомогою посилення попередньо напруженими композитними матеріалами, що підвищило не тільки їх міцність і жорсткість, а

й відповідно їх експлуатаційну придатність. У статті наведені заходи посилення цим способом різних будівель в місті Алмати і відомості щодо залізобетонних конструкцій на всіх етапах посилення.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** згинальні залізобетонні конструкції, відновлення експлуатаційної придатності, попереднє напруження, фіброармовані композитні пластики.

### ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫМИ ФИБРОАРИМОВАННЫМИ ПЛАСТИКАМИ

**БЕСПАЕВ А.А.** Д-р технических наук, зав. лаб., АО «КазНИИСА», г. Алматы, Республика Казахстан, e-mail: aliy40@mail.ru, тел.: +10 (727)392-76-36

**КУРАЛОВ У.С.** Зав. сектором, АО «КазНИИСА», г. Алматы, Республика Казахстан, e-mail: ulan\_kuralov@mail.ru, тел.: +10 (727) 392-74-40

**АЛТИГЕНОВ У.Б.** Научный сотрудник, АО «КазНИИСА», г. Алматы, Республика Казахстан,



e-mail: ulan\_kaz@mail.ru,  
тел.: +10 (727) 392-75-59  
**ДОСАЕВ Н.Г.** Зам. директора центра  
АО «КазНИИССА»,  
г. Алматы, Республика Казахстан,  
e-mail: dosaev.nurzhan@mail.ru,  
тел.: +10 (727) 392-75-50

#### АННОТАЦИЯ

Предлагается способ восстановления эксплуатационной пригодности изгибаемых железобетонных конструкций, имеющих повышенные прогибы и чрезмерное раскрытие трещин. Современные методы усиления путем поверхностного наклеивания композитных фиброармированных пластиков на растянутую зону эксплуатируемых железобетонных конструкций повышают прочность и жесткость усиливаемых элементов, но не уменьшают существующие прогибы и ширину раскрытия трещин. Для восстановления эксплуатационной пригодности поврежденных железобетонных конструкций предлагается предварительное напряжение применяемых для усиления фиброармированных пластиков, которое обеспечивается созданием в поврежденных элементах временного строительного подъема. Фиброармированные пластики наклеиваются на растянутую зону усиливаемых элементов и после набора прочности клеевых составов железобетонная конструкция опускается и стремится принять исходное положение, создавая предварительное напряжение фиброармированных пластиков. Это приводит к снижению прогибов усиленной железобетонной конструкции и уменьшению ширины раскрытия имеющихся трещин.

В Казахстане больше десятка крупных объектов усилено с помощью предварительно напряженных композитных материалов, что повысило не только их прочность и жесткость, но и восстановило их эксплуатационную пригодность. В статье приведены примеры усиления этим способом различных зданий в городе Алматы и сведения по состоянию железобетонных конструкций на всех этапах усиления.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** изгибаемые железобетонные конструкции, восстановление эксплуатационной пригодности, предварительное напряжение, фиброармированные композитные пластики.

#### RETROFITTING OF OPERATIONAL FITNESS OF FLEXIBLE REINFORCED CONCRETE STRUCTURES BY MEANS OF PRELIMINARY STRESSED FIBER REINFORCED PLASTICS

**BESPAIEV A.A.** Dr., Head of Laboratory,  
“KazSRICA” JSC,  
Almaty, Republic of Kazakhstan,  
e-mail: aliy40@mail.ru,

tel.: +10 (727) 392-76-36  
**KURALOV U.S.** Divisional Manager,  
“KazSRICA” JSC,  
Almaty, Republic of Kazakhstan,  
e-mail: ulan\_kuralov@mail.ru,  
tel.: +10 (727) 392-74-40  
**ALTIGENOV U.B.** Research Scientist,  
“KazSRICA” JSC,  
Almaty, Republic of Kazakhstan,  
e-mail: ulan\_kaz@mail.ru,  
tel.: +10 (727) 392-75-59  
**DOSAIEV N.G.** Deputy Director of Centre,  
“KazSRICA” JSC, Almaty, Republic of Kazakhstan  
e-mail: dosaev.nurzhan@mail.ru,  
tel.: +10 (727) 392-75-50

#### ABSTRACT

A method is proposed for restoring the operational suitability of flexural reinforced concrete structures having increased deflection and excessive crack openings. Modern methods of reinforcement by superficial gluing of composite fiber reinforced plastics onto the stretched zones of operating reinforced concrete structures increase the strength and rigidity of the reinforced elements, but do not reduce the existing deflections and the width of crack openings. To restore operational suitability of damaged reinforced concrete structures, it is proposed to prestress the fiber reinforced plastics used for reinforcement, which is ensured by the creation of temporary construction lifting in the damaged elements. Fiber reinforced plastics are glued to the stretched zones of the reinforced elements and when the adhesive compositions gain strength, the reinforced concrete structure is lowered and tends to take an initial position causing the fiber reinforced plastics prestressing. This leads to the reduction of the strengthened reinforced concrete structure deflections and the decrease of the existing cracks openings width.

In Kazakhstan more than a dozen of large objects were strengthened by means of reinforcing with prestressed composite materials, which increased not only their strength and rigidity, but also restored their serviceability. The article provides the examples of the various buildings reinforcement in the city of Almaty and information on the reinforced concrete structures state at all stages of reinforcement.

**KEY WORDS:** flexible reinforced concrete structures, restoration of operational suitability, prestressing, fiber reinforced composite plastics.

#### АКТУАЛЬНОСТЬ И ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

При возведении и в процессе эксплуатации железобетонных конструкций бывают нередко повреждения. 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 перекрытий и покрытий с повышенными прогибами и недопустимой шириной раскрытия трещин. Помимо негативного эстетического восприятия таких конструкций, нарушается эксплуатационная пригодность этих конструкций. Основными причинами повреждения изгибаемых железобетонных конструкций являются ошибки при проектировании, преждевременное разопалубливание монолитных конструкций, воздействие кратковременных повышенных нагрузок. 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. Основные трудности такого усиления связаны с необходимостью обеспечения совместной работы элементов усиления с существующей конструкцией, что требует выполнения вскрышных работ, приварки к существующей арматуре, обетонирования элементов. Выполнение таких работ нуждается в использовании дополнительного оборудования, выполнении опалубочных, сварных и бетонных работ, требует значительного времени для набора прочности бетона омоноличивания, обладает низкой эффективностью, высокой стоимостью и трудоёмкостью.

Новые методы усиления строительных конструкций ориентированы на применение для усиления фиброармированных пластиков, представляющих собой композит из фиброармированных искусственных волокон в пластиковой основе. Применение поверхностного усиления железобетонных конструкций наклеиванием фиброармированных пластиков на бетонную поверхность отличается простотой выполнения, короткими сроками выполнения, высокой эффективностью, низкой трудоёмкостью, снижением стоимости работ. На очищенную бетонную поверхность наносится грунтовка и затем наклеиваются пластиковые материалы. Для восстановления эксплуатационной пригодности поврежденных изгибаемых железобетонных конструкций предлагается применение предварительного напряжения усиливающих фиброармированных пластиков.

Процесс поверхностного усиления фиброармированными пластиками занимает несколько часов, а уже через сутки усиленная конструкция способна воспринимать требуемые дополнительные усилия. Усиление не приводит к увеличению размеров конструкций и их веса.

## АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

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]. Затем были проведены исследования работы изгибаемых железобетонных конструкций, усиленных наклеиванием полос композиционного материала на бетонные поверхности [3].

В работе [4] рассмотрены вопросы усиления фибропластиковыми материалами строительных конструкций из разных материалов. В работе [5] предлагается методика расчета нормальных сечений железобетонных конструкций, усиленных лентами ламината.

В Казахстане выполнен комплекс экспериментальных исследований работы сжатых бетонных элементов, усиленных обоймами и изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в растянутой зоне углеродными фибропластиковыми материалами при статических и динамических нагрузках [6, 7].

На основании выполненных исследований разработаны методы расчета железобетонных конструкций, усиленных композитными фибропластиковыми материалами при обычных и сейсмических воздействиях.

Фибропластиковые композитные материалы отличаются повышенной прочностью, упругим характером деформирования и высокой коррозионной стойкостью. Они 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). Поверхностное усиление наклеиванием фиброармированных пластиков на поврежденные железобетонные конструкции существенно повышает несущую способность и жесткость изгибаемых элементов, но они включаются в работу усиливаемых конструкций только при дальнейшем увеличении нагрузки, хотя при этом они уменьшают скорость раскрытия трещин и роста вертикальных прогибов.

Поверхностное усиление изгибаемых железобетонных конструкций не восстанавливает эксплуатационную пригодность поврежденных железобетонных конструкций. Для восстановления эксплуатационной пригодности поврежденных изгибаемых железобетонных конструкций предлагается применение предварительного напряжения усиливающих композитных фиброармированных пластиков.

Объектом исследования являются железобетонные конструкции, не соответствующие требованиям по эксплуатационной пригодности.

Предметом исследований является напряженное состояние поврежденных железобетонных кон-





струкций, усиленных предварительно напряженными фиброармированными пластиками.

### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Создание и оценка эффективного способа предварительного напряжения фиброармированных пластиков при восстановлении эксплуатационной пригодности поврежденных железобетонных конструкций.

Предлагается способ предварительного напряжения фиброармированных композитных материалов поверхностного усиления поврежденных изгибаемых железобетонных конструкций за счет потенциальной энергии, которая необходима для создания строительного подъема усиливаемых конструкций. Требуемый строительный подъем создается внешними силовыми системами (телескопическими опорами или стойками с механическими или гидравлическими домкратами, шпренгельными системами и т.п.), которые устанавливаются в критических сечениях усиливаемых железобетонных конструкций (в серединах пролетов плит или балок перекрытия, в местах действия максимальных изгибающих моментов от собственного веса железобетонных конструкций). Затем производится поверхностное усиление поврежденных элементов фиброармированных лент или сеток на поврежденные зоны и через несколько часов (длительность зависит от качества используемых клеев) производится опускание приподнятого участка. В процессе опускания усиливаемого элемента фиброармирующие материалы включаются в совместную работу с растянутой металлической арматурой поврежденного участка изгибаемого элемента, что приводит к уменьшению деформаций растянутой зоны элемента, уменьшению ширины раскрытия трещин, ликвидации чрезмерных прогибов конструкции и восстановлению эксплуатационной пригодности железобетонного перекрытия.

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

#### Пример №1

Блок I Павильона I «Торгового центра Алмалы» в городе Алматы представляет собой двухэтажное подземное здание прямоугольной формы в плане размерами 49,0×54,0 м с сеткой колонн 9,0×9,0 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 предусматривают восстановление эксплуатационной пригодности перекрытий производить поверхностным наклеиванием предварительно напряженных фиброармированных пластиков. В процессе усиления производились замеры вертикаль-

ных 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 над нижним этажом включали:

- усиление главных и второстепенных ригелей 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 полос однонаправленных сеток FibArm Таре 530/300 (рис. 1).

Приподнимание ячеек перекрытия производилось телескопическими стойками (рис. 2).

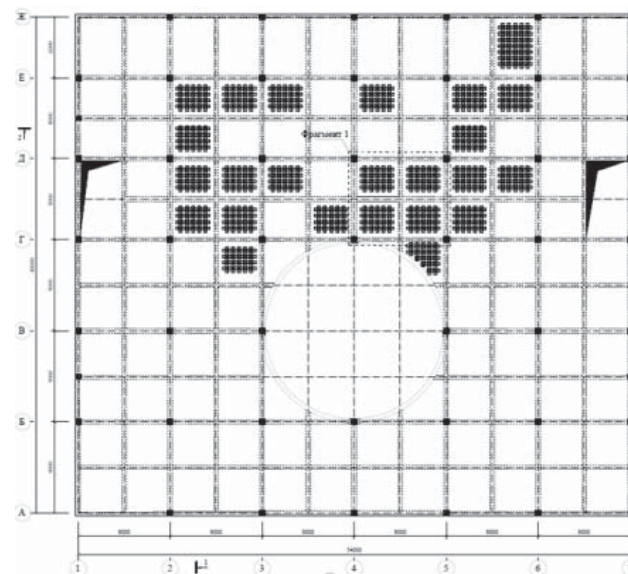


Рис. 1. Схема расположения полос сеток усиления плиты перекрытия над нижним этажом



Рис. 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 во второстепенных ригелях на 10%; прогиб перекрытия уменьшился на 37%.

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

- усиление главных и второстепенных ригелей 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 полос однонаправленных сеток FibArm Tare 530/300 (рис. 3);
- на плите перекрытия уложен слой железобетона толщиной 200 мм, армированного сеткой.

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

- прочность главных ригелей увеличилась на 70%, прочность второстепенных ригелей увеличилась более чем в 2 раза, прочность плит перекрытий увеличилась более чем в 3 раза;
- ширина раскрытия трещин в плите перекрытия уменьшилась на 33%, в главных ригелях на

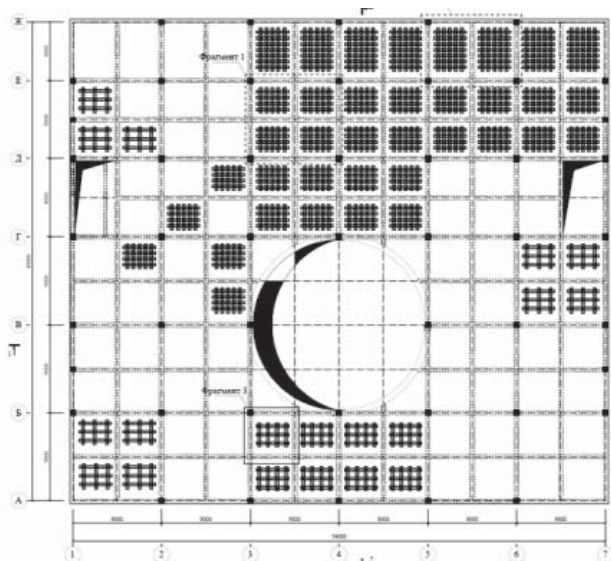


Рис. 3. Схема усиления плиты перекрытия над верхним этажом полосами сеток

36%, во второстепенных ригелях на 5%; а прогиб перекрытия уменьшился на 37%.

Выполненное усиление здания «Торгового центра Алмады» 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 18×35 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 производилось поверхностным усилением растянутой стороны с помощью фиброармированных лент ламината MBRACE LAM CF 165/3000.50×1,2.100m. Для восстановления эксплуатационной пригодности поврежденных участков перекрытия производилось предварительное напряжение фибропластиковой арматуры путем подъема поврежденных участков плит перекрытий телескопическими стойками с созданием вертикальных усилий не менее 10-15 тс до ликвидации прогибов и «зажатия» имеющихся трещин до величины 0,10-0,15 мм (рис. 4).

После усиления плит перекрытий и демонтажа телескопических опор окончательная ширина раскрытия трещин в бетоне железобетонных плит пере-

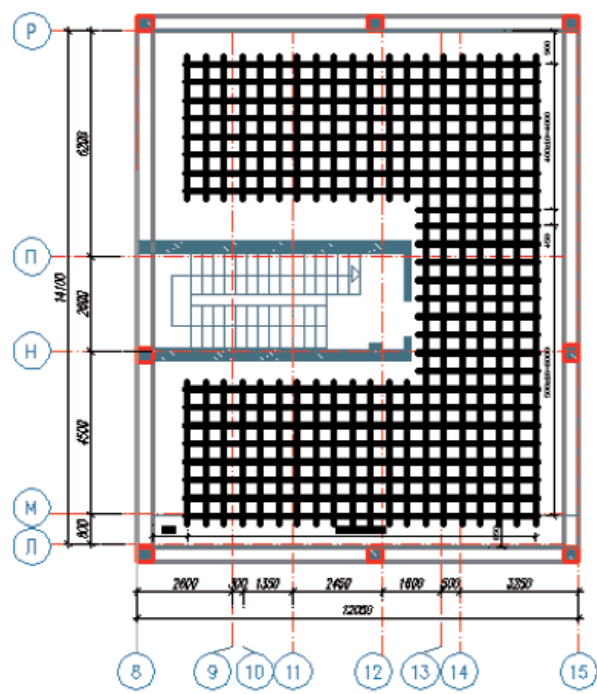


Рис. 4. Схема усиления плиты на отм. +22,000 Блока «С» на ул. Горной





крытий 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 18,5×26,7 м и высотой около 10 м и состоит из трех блоков прямоугольной формы в плане размерами 9×15 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 Ø12 АIII, Ø8 А-III с ячейками 200×200 мм (рис. 5).

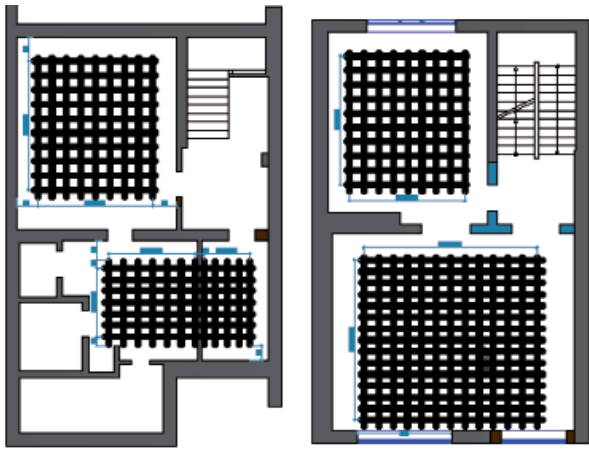


Рис. 5. Схема усиления плит перекрытий жилого дома на просп. Достык

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 165/3000.100×1,2.100м.

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 18,5×26,7м, высотой около 10 м и состоит из трех бло-

ков прямоугольной формы в плане размерами 9×15 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 передает 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 перекрытий 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 230×300.

При выполнении работ по усилению перекрытий здания выполнялся подъем участков железобетонных перекрытий с помощью гидравлического домкрата и сварной металлической стойки (рис. 6). 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



Рис. 6. Общий вид домкрата со стойкой и временных опор



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

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сяо Ю., Ма Р. Сейсмическое усиление круглых колонн с использованием композитных обоймы // Конструктивная инженерия. ФСКЕ, 1997. – Вып. 5, №10.
2. Усиление ФАП железобетонных конструкций / [Тенг Д.Г., Чен В.Ф., Смит С.Т., Lam L.], 2002. – ООО «Джон и Сыновья».
3. Хаютин Ю.Г., Чернявский В.Л., Аксельрод Е.З. Применение углепластиков для усиления строительных конструкций // Бетон и железобетон. – М., 2002, №6.
4. Усиление железобетонных конструкций обоймами из фиброармированных пластиков для сейсмических воздействий / Технический отчет ФИБ, Бюл. № 35, Апрель 2006.
5. Патитини М., 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.: Ладья, 2014. – №2.
7. Беспаяев А.А., Куралов У.С., Алтигенов У.Б. Прочность сжатых бетонных элементов, усиленных фиброармированными сетками // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – М., 2014, №2.
8. Беспаяев А.А., Куралов У.С., Алтигенов У.Б. Исследование работы изгибаемых железобетонных конструкций, усиленных фиброармированными пластиками, при динамических нагрузках // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – М., 2015, №3.

#### REFERENCES

1. Xiao, Y. & Ma, R. (1997). Seismic Retrofit of RC Circular Columns using Prefabricated Composite Jacketing. J. of Structural Engineering. FSCE, 5, 10 [in English].
2. Teng, J.G., Chen, J.F., Smith, S.T. & Lam, L. (2002). FRP Strengthened RC Structures. John Wiley&Sons, Ltd [in English].
3. Khaiutin, U.G., Cherniavskii, V.L. & Akselrod, E.Z. (2002). Using CFRP for Buildings

Con-structions Strengthening. Concrete and reinforced concrete, 6.

4. Retrofitting of Concrete Structures by Externally Bonded FRPs with Emphasis on Seismic Applications: Technical Report (2006). Fib Bull., 35, April [in English].
5. Pathithini, M., Achita, M. & Burgoyne Chris. J. (2009). Moment-Curvature and Strain Energy of Beams with External Fiber-Reinforcement Polymer Reinforcement. ACI Structural J., February [in English].
6. Mukhamediev, T.A. & Kuzevanov, D.V. (2014). Calculation of eccentrically compressed reinforced concrete structures reinforced with holders made of composite materials. Concrete and reinforced concrete, 2. – М.: Ladya [in Russian].
7. Bespayev, A.A., Kuralov, U.S. & Altigenov, U.B. (2014). Strength of compressed concrete elements reinforced with fiber reinforced grids. Earthquake engineering. Constructions safety, 2.
8. Bespayev, A.A., Kuralov, U.S. & Altigenov, U.B. (2015). Study of the work of the bending structures strengthened with fiber reinforced plastics under dynamic loads. Earthquake engineering. Constructions safety, 3.

Статья поступила в редакцию 12.08.2018 г.