

Ж.Ш. Муханбетжанова¹, А.А. Беспаяев^{2*}

¹Казахский научно-исследовательский и проектный институт строительства и архитектуры,
Алматы, Казахстан

²Satbayev университет, Алматы, Казахстан

Информация об авторах:

Муханбетжанова Жанна Шахижахановна – Ph.D., Кафедра строительства и строительных материалов, Satbayev университет, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-9672-4374>, email: sh.zhanna@bk.ru

Беспаяев Алий Аббасович – заведующий лабораторией, профессор, д.т.н., Казахский научно-исследовательский и проектный институт строительства и архитектуры, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-7279-2180>, email: aliy40@mail.ru

**МЕТОД УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ,
ПОВРЕЖДЕННЫХ ПРИ РАЗНЫХ ФАКТОРАХ**

Аннотация. *Излагаются методы проектирования поверхностного усиления нормальных и наклонных сечений изгибаемых железобетонных элементов при обычных условиях эксплуатации. Предлагаются методы восстановления поврежденных железобетонных конструкций, в том числе применением предварительного напряжения фиброармированными пластиками. Приводятся данные по эффективности восстановления поврежденных железобетонных конструкций.*

Ключевые слова: *усиление, восстановление, поврежденные железобетонные конструкции, фиброармированные пластики.*

Введение

Передовые методы усиления железобетонных конструкций ориентированы на поверхностное наклеивание на бетонную поверхность фиброармированных пластиков, выполняющих роль дополнительной арматуры [1]. Фиброармированные пластики представляют собой композитные материалы, состоящие из пластиковой матрицы и высокопрочных армирующих волокон. Композитные материалы поставляются в виде лент (ламель), тканей или сеток. В качестве пластиков используются эпоксидные, фенольные, полиэфирные, винилэфирные или другие органические смолы [2]. Армирующие волокна изготавливаются с применением нанотехнологий из углерода, базальта, арамида или стекла. Фиброармированные пластики обладают высоким модулем деформаций, упругим характером диаграммы, повышенной морозостойкостью, хорошо переносят усталостные воздействия, устойчивы к воздействию химически активных веществ [3]. В отличие от традиционных методов усиления, поверхностные методы усиления отличаются высокой эффективностью усиления, коррозионной стойкостью, низкой трудоемкостью, короткими сроками выполнения работ и повышения прочности, экономической целесообразностью, повышают технический уровень строительства, не требуют вскрышных, сварочных и замоноличивающих работ [4]. Процесс поверхностного усиления железобетонных конструкций занимает несколько часов, а уже через сутки

усиленная конструкция способна воспринимать дополнительные нагрузки [5]. Однако усиление поврежденных железобетонных конструкций не уменьшает степень их повреждения, поэтому восстановление эксплуатационных свойств конструкций требует выполнения дополнительных мероприятий.

Материалы и методы

При возведении и в процессе эксплуатации зданий нередко возникают повреждения, которые связаны с ошибками при расчете и конструировании, нарушениями технологии изготовления, низким качеством материалов, чрезмерными нагрузками, недостаточной антикоррозионной защитой, чрезвычайными стихийными бедствиями и т.д. Наиболее часто повреждаются несущие изгибаемые железобетонные конструкции (перекрытия, балки, фермы и т.п.), которые, помимо эстетического восприятия, вызывают эксплуатационную непригодность этих конструкций. Поверхностное усиление поврежденных конструкций обычно не приводит к их существенному улучшению эксплуатационных характеристик несущих элементов, однако оно повышает их жесткость и трещиностойкость только при дальнейшем увеличении нагрузок, т.е. при этом существующие деформации и трещины не уменьшаются.

Для ликвидации чрезмерных деформаций и ширины раскрытия трещин железобетонных изгибаемых конструкций рекомендуется предварительное напряжение фиброармированных материалов усиления. Наиболее простым способом предварительного напряжения элементов поверхностного усиления является создание временного выгиба (подъема поврежденных участков) несущих конструкций, которое может осуществляться с помощью домкратов, телескопических стоек, шпренгельных систем и т.д., которые обеспечивают уменьшение прогибов и закрытие трещин до надежного зажатия провисающей части изгибаемых элементов. После создания подъема восстанавливаемых изгибаемых железобетонных конструкций производится наклеивание на растянутые грани фиброармированных пластиков и после набора прочности клеевых составов (через 10-12 часов) производится опускание поднятых конструкций. При этом не только восстанавливается эксплуатационная пригодность нормальных сечений, поврежденных изгибаемых железобетонных конструкций, но и восстанавливается эксплуатационная пригодность поврежденных приопорных зон, т.е. восстановлена несущая способность нормальных сечений и по поперечной силе, уменьшается ширина раскрытия нормальных и наклонных трещин.

Для изучения закономерностей изменения жесткости и трещиностойкости в процессе создания предварительного напряжения фиброармированных пластиков выполнены дополнительные испытания трех серий железобетонных балок сечением 120x200 мм и длиной 2200 мм, которые различались процентом армирования растянутой зоны. Опытные образцы испытывались по схеме однопролетной шарнирно опертой балки, нагруженной в пролете двумя сосредоточенными силами. Испытания балок предусматривало несколько стадий нагружения с разгрузкой при разных уровнях усилий.

Опытные образцы балок включали три серии образцов, различавшихся процентом продольного армирования. Балки первой серии имели наименьшее количество растянутой арматуры (2Ø18 S500). Они нагружались гидравлическим домкратом ДГ-25 этапами, составляющими 7-9% от разрушающей нагрузки. При изгибающем моменте $M=5,17$ кНм образовалась нормальная трещина в зоне чистого изгиба, затем при изгибающем моменте $M=13,8$ кНм наибольшая ширина раскрытий нормальных трещин достигла 0,15 мм, при изгибающем моменте $M=15,52$ кНм ширина раскрытий нормальных трещин достигла 0,20 мм, а до изгибающего момента $M=23,0$ кНм ширина раскрытия нормальных трещин не увеличивалась. Расстояние между нормальными трещинами находилось в пределах 80-82 мм. После этого вертикальная нагрузка была сброшена и на этом закончилась первая стадия испытаний. На второй стадии нагружения при изгибающем моменте до $M=31,61$ кНм ширина раскрытия нормальных трещин увеличилась до 0,25 мм; а на следующих стадиях нагружения при увеличении нагрузки до разрушающей ширина раскрытия нормальных трещин больше не увеличилась. Первая наклонная трещина в балке Б-18-2 образовалась на первой стадии испытаний при поперечной силе $V=20,69$ кН, а ширина раскрытия наклонных трещин на первой стадии испытаний достигала 0,40 мм. На второй стадии испытаний при поперечной силе $V=30,66$ кН ширина раскрытия наклонных трещин достигала 0,40 мм, на второй стадии испытаний при $V=38,32$ кН ширина раскрытия наклонных трещин достигала 0,45 мм.

Балка разрушилась в зоне чистого изгиба при изгибающем моменте $M=31,61$ кНм, при котором была повреждена сжатая зона бетона. Относительная величина сжатой зоны бетона составляла $\xi = d/h = 0,44$, величина вертикальных перемещений пролетной части достигала 23,1 мм, а мест приложений вертикальных сил 21,8-22,2 мм, которые составляли 1/87 и 1/91 пролета. На рисунке 1 представлена диаграмма вертикальных прогибов балки, на которой цифрами 1-3 обозначены номера нагружения.

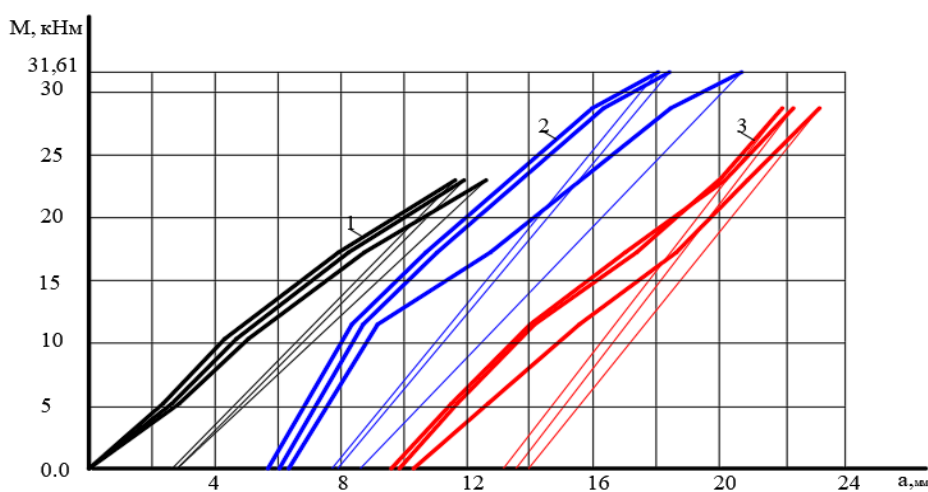


Рисунок 1 – Диаграмма развития наклонных трещин в балке Б-18-2 [материал авторов]

Заключение

Таблица 1

Марка балки	Опытные данные			Нормативные деформации [1]	
	x/d	$\varepsilon_c, 10^{-5}$	$\varepsilon_s, 10^{-5}$	ξ	$\varepsilon_s, 10^{-5}$
Б-18-2	0,44	380	368	0,51	326

Данные таблицы 1 подтверждают линейную зависимость относительной высоты сжатой зоны бетона от процента продольного армирования растянутой зоны. Анализ результатов выполненных экспериментальных исследований жесткости и трещиностойкости свидетельствует о необходимости отдельного расчета остаточных деформаций и ширины раскрытия нормальных и наклонных трещин. Большинство поврежденных изгибаемых железобетонных конструкций требует уменьшения повышенных вертикальных перемещений и чрезмерной ширины раскрытия нормальных трещин. При разрушении железобетонных изгибаемых элементов от исчерпания прочности нормальных сечений вертикальные прогибы более чем в два раза превышают прогибы этих элементов при разрушении по поперечной силе. Основная часть этих прогибов вызвана чрезмерным раскрытием нормальных трещин.

При проектировании восстановления нормальных сечений поврежденных железобетонных конструкций предварительно напряженным поверхностным усилением фиброармированными пластиками следует руководствоваться следующими предпосылками:

- при расчете величины требуемого подъема поврежденных железобетонных элементов принимать начальную жесткость неповрежденного элемента;
- расчетная прочность наклеиваемых фиброармированных пластиков не должна превышать прочности существующей растянутой стальной арматуры;
- остаточную ширину раскрытия нормальных трещин при создании искусственного строительного подъема, эквивалентного собственному весу восстанавливаемого элемента; принимать равной $a_{km} = 0,05-0,10$ мм;
- в большинстве восстановленных железобетонных конструкций остаточная ширина раскрытия нормальных трещин составляла около 50% от ширины раскрытия имеющихся трещин.

Расчет вертикальных прогибов после восстановления нормальных сечений рекомендуется определять по следующей формуле:

$$a_{km}^* = a_{km} - a_{km}^{eff} \quad (1)$$

где:

a_{km}^* – прогиб после восстановления;

a_{km} – прогиб до восстановления;

a_{km}^{eff} – уменьшение прогиба от предварительного напряжения фиброармированных пластиков.

Расчет ширины раскрытия трещин после восстановления нормальных сечений рекомендуется определять по следующей формуле:

$$w_k^* = w_k - w_k^{eff} \quad (2)$$

где:

w_k^* – ширина раскрытия трещин после восстановления;

w_k – ширина раскрытия трещин до восстановления;

w_k^{eff} – уменьшение ширины раскрытия трещин от предварительного напряжения фиброармированных пластиков.

При проектировании восстановления наклонных сечений поврежденных железобетонных конструкций предварительно напряженным поверхностным усилением фиброармированными пластиками следует руководствоваться следующими предпосылками:

- при расчете величины требуемого подъема поврежденных железобетонных элементов принимать начальную жесткость неповрежденного элемента;
- расчетная прочность наклеиваемых фиброармированных пластиков должна обеспечивать прочность наклонных сечений, превышающую требуемую прочность наклонных сечений на 20%;
- остаточную ширину раскрытия наклонных трещин при создании искусственного строительного подъема, эквивалентного собственному весу восстанавливаемого элемента, обеспечивая надежное зажатие наклонных трещин;
- в большинстве восстановленных железобетонных конструкций остаточная ширина раскрытия наклонных трещин составляла не менее $w_k = 0,20$ мм.

Расчет ширины раскрытия наклонных трещин после восстановления наклонных сечений рекомендуется определять по следующей формуле:

$$w_k^* = w_k - w_k^{eff} \quad (3)$$

где:

w_k^* – ширина раскрытия наклонных трещин после восстановления;

w_k – ширина раскрытия наклонных трещин до восстановления;

w_k^{eff} – уменьшение ширины раскрытия наклонных трещин от предварительного напряжения фиброармированных пластиков.

В процессе технологического сопровождения процесса восстановления поврежденных железобетонных конструкций проводился контроль вертикальных прогибов и ширины раскрытия трещин, который показал, что после снятия временного подъема конструкций величина прогибов конструкций снизилась на 30%. На 50% ширина раскрытия нормальных трещин уменьшилась до 0,15-0,25 мм, наклонных трещин закрылась на 40-60%, а прочность конструкций увеличилась на 35-60%.

После создания подъема отреставрированных гнутых железобетонных конструкций к растянутым поверхностям приклеивают фибропласты и после набора прочности клеевых составов (через 10-12 часов) опускают приподнятые конструкции. При этом не только восстанавливается эксплуатационная пригодность нормальных сечений, поврежденных гнутых железобетонных конструкций, но и эксплуатационная пригодность поврежденных опорных зон (прочность нормальных сечений, несущая способность поперечной силы, уменьшение деформаций и ширины раскрытия трещин).

В процессе технологического сопровождения процесса восстановления поврежденных железобетонных конструкций необходимо контролировать вертикальные прогибы и ширину раскрытия трещин. Опыт восстановления поврежденных конструкций показал, что после снятия временного подъема конструкций размер прогибов конструкций уменьшился на 30-50%, ширина раскрытия нормальных трещин уменьшилась до 0,15-0,25 мм, наклонных трещин закрылась на 40-60%, а прочность конструкций увеличилась на 35-60%.

Литература:

1. Беспяев А.А., Искаков Т.М. Усиление сжатых железобетонных элементов фиброармированными пластиками. Сб. мат-лов междунар. научн.-практ. конф. КазГАСА «Актуальные проблемы и перспективы для разработки строительных конструкций: инновации, модернизация и энергоэффективность в строительстве». Алматы, 2013.
2. Беспяев А.А., Куралов У.С., Алтигенов У.Б. Усиление железобетонных конструкций полимерными материалами. Вестник Национальной инженерной академии РК. Алматы. 2011, 2.
3. Беспяев А.А., Куралов У.С., Алтигенов У.Б. Усиление конструкций, сейсמודинамика зданий, перспективы развития. Проблемы механики. 2016, 3.
4. Грановский А.В., Костенко А.Н., Мочалов А.Л. Усиление железобетонных колонн каркасных зданий в сейсмоопасных районах с использованием элементов внешнего армирования из углеволокна. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2007, 2.
5. Клевцов В.А., Фаткуллин Н.В. Расчет прочности нормальных сечений изгибаемых элементов усиленных внешней арматурой из композиционных материалов. Научно-техническая конференция молодых ученых и аспирантов ЦНИИС, 2006.

References:

1. Bespaev A.A., Iskakov T.M. (2013) Usilenie szhatyh zhelezobetonnyh jelementov fibroarmirovannymi plastikami [Reinforcement of compressed reinforced concrete elements with fibro-reinforced plastics] "Aktual'nye problemy i perspektivy dlja razrabotki stroitel'nyh konstrukcij: innovacii, modernizacija i jenergojeffektivnost' v stroitel'stve" Sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii = Collection of materials of the International scientific and practical conference. KAZGAS "Actual problems and prospects for the development of building structures: innovations, modernization and energy efficiency in construction". KazGASA, Almaty. (in Russ.)
2. Bespaev A.A., Kuralov U.S., Altigenov U.B. Usilenie zhelezobetonnyh konstrukcij polimernymi materialami [Reinforcement of reinforced concrete structures with polymer materials] Vestnik Nacional'noj inzhenernoj akademii RK = Bulletin of the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan. Almaty. 2011, 2. (in Russ.)
3. Bespaev A.A., Kuralov U.S., Altigenov U.B. Usilenie konstrukcij, sejsmodinamika zdaniy, perspektivy razvitija [Reinforcement of structures, seismodynamics of buildings, development prospects] Problemy mehaniki = Problems of mechanics. 2016, 3. (in Russ.)
4. Granovskij A.V., Kostenko A.N., Mochalov A.L. Usilenie zhelezobetonnyh kolonn karkasnyh zdaniy v sejsmoopasnyh rajonah s ispol'zovaniem jelementov vneshnego armirovaniya iz uglevolokna [Reinforcement of reinforced concrete columns of frame buildings in earthquake-prone areas using carbon fiber external reinforcement elements.] Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij = Earthquake-resistant construction. Safety of structures. 2007, 2. (in Russ.)

5. *Klevcov V.A., Fatkullin N.V. Raschet prochnosti normal'nyh sechenij izgibaemyh jelementov usilennyh vneshnej armaturoj iz kompozicionnyh materialov [Calculation of the strength of normal cross-sections of bent elements reinforced with external reinforcement made of composite materials] Nauchno-tehnicheskaja konferencija molodyh uchenyh i aspirantov CNINS = Scientific and Technical Conference of young scientists and postgraduates of TSNIS, 2006. (in Russ.)*

Ж.Ш. Муханбетжанова¹, А.А. Беспаяев²

¹Қазақ құрылыс және сәулет ғылыми зерттеу және жобалау институты, Алматы, Қазақстан

²Satbayev университеті, Алматы, Қазақстан

Авторлар туралы мәліметтер:

Муханбетжанова Жанна Шахижахановна – Ph.D., Құрылыс және құрылыс материалдары кафедрасы, Satbayev университеті, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-9672-4374>, email: sh.zhanna@bk.ru

Беспаяев Алий Аббасович – зертхана меңгерушісі, профессор, Қазақ құрылыс және сәулет ғылыми зерттеу және жобалау институты, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-7279-2180>, email: aliy40@mail.ru

**ТҮРЛІ ФАКТОРЛАР НӘТИЖЕСІНДЕ ЗАҚЫМДАЛҒАН ТЕМІРБЕТОН
КОНСТРУКЦИЯЛАРЫН ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ ТӘСІЛІ**

Аңдатпа. Қалыпты эксплуатация жағдайында майысқан темірбетон элементтерінің қалыпты және көлбеу учаскелерінің бетін нығайтуды жобалау әдістері көрсетілген. Зақымдалған темірбетон конструкцияларын қалпына келтіру әдістері, оның ішінде талшықты арматураланған пластмассалармен алдын ала кернеуді қолдану ұсынылады. Зақымдалған темірбетон құрылымдарын қалпына келтірудің тиімділігі туралы деректер келтірілген.

Түйін сөздер: нығайту, қалпына келтіру, зақымдалған темірбетон конструкциялары, фиброармиленген пластиктер.

A.A. Bospayev¹, Zh.Sh. Mukhanbetzhanova^{2*}

¹Kazakh Research and Design Institute of Construction and Architecture, Almaty, Kazakhstan

²Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

Information about authors:

Mukhanbetzhanova Zhanna Shakhizhakhonovna – Ph.D. student, Department of Construction and Building Materials, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-9672-4374>, email: sh.zhanna@bk.ru

Bospayev Aliy Abbasovich – Head of the concrete laboratory, professor, Dr. of technical science, Kazakh Research and Design Institute of Construction and Architecture, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-7279-2180>, email: aliy40@mail.ru

**METHOD OF REINFORCING REINFORCED CONCRETE
STRUCTURES DAMAGED UNDER DIFFERENT FACTORS**

Abstract. *Methods for designing surface reinforcement of normal and inclined sections of bent reinforced concrete elements under normal operating conditions are outlined. Methods for restoring damaged reinforced concrete structures are proposed, including the use of prestressing with fiber-reinforced plastics. Data on the effectiveness of the restoration of damaged reinforced concrete structures are given.*

Keywords: *reinforcing, restoration, damaged reinforced concrete structures, fiber-reinforced plastics.*