

Татаренков А.И., канд. тех. наук, доц.
Курский государственный университет

АНАЛИЗ И ОБОБЩЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСИЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

pgs@kursksu.ru

Рассмотрены результаты комплексных экспериментальных исследований усиленных железобетонных конструкций. Усиление конструкций выполнялось наращиванием сечения и изменением статической схемы. Получены данные о прочности, деформативности и трещиностойкости усиленных конструкций при различных вариантах компоновки сечения и уровня нагружения.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, железобетонные конструкции, усиление, уровень нагружения, изменение статической схемы.

Надежность строительного объекта поддерживается обеспечением долговечности и безотказности, которые требуют функции объекта в заданных условиях и режимах эксплуатации. Соответствие параметров эксплуатируемых конструкций проектным значениям определяется конструктивной безопасностью [1, 2]. Длительный срок эксплуатации зданий при одновременном проявлении силовых и средовых воздействий приводит к появлению и развитию повреждений. Для обеспечения проектных параметров поврежденных конструкций разработаны разнообразные системы усиления железобетонных конструкций [3, 4].

В действующем своде правил СП 63.13330.2012 приведены требования к восстановлению и усилению железобетонных конструкций, которые сведены к общим указаниям по поверочным расчетам конструкций и по расчету усиления. При проектировании усиления железобетонных конструкций необходимо учитывать специфические особенности: наличие в усиливаемом элементе повреждений, наличие в усиливаемом элементе напряженно-деформированного состояния, многообразие конструктивных решений усиления железобетонных конструкций, изменение граничных условий и трансформация внутренних и внешних связей в процессе усиления, трансформация конструктивных систем [4, 5, 6]. С позиций оценки напряженно-деформированного состояния усиленных железобетонных конструкций выделяются два принципиальных направления: усиление конструкции с предварительной разгрузкой и усиление конструкций под нагрузкой [4]. Усиление конструкций с предварительной разгрузкой возможно в ограниченном числе случаев, когда выполняется усиление отдельного сборного элемента, не входящего в конструктивную систему здания. Поэтому в теории усиленных железобетонных конструкций особую значимость приобретает проблема учета

предыстории нагружения конструкций с позиций оценки временных процессов их деформирования, износа материалов, повреждений за время эксплуатации, режима нагружения, изменения напряженно-деформированного состояния.

Развитие теории усиления железобетонных конструкций возможно на основе экспериментальных исследований. Ранее выполненные ранее исследования малочисленны, они носят фрагментарный характер, не в полной мере отражают специфику усиления железобетонных конструкций и не могут служить экспериментальной основой методов проектирования конструкций рассматриваемого класса.

Учеными Курского государственного университета в последние годы выполнены проблемно-направленные экспериментально-теоретические исследования усиленных железобетонных конструкций, накоплен опыт выполнения экспериментально-теоретических исследований по данной проблеме. Основной целью выполненных исследований является получение экспериментальных данных о прочности, деформативности и трещиностойкости усиленных железобетонных конструкций в результате испытания статически определимых и неопределимых конструкций при длительном и кратковременном нагружении. Выполнены исследования внецентренно сжатых, изгибаемых элементов, а также при изгибе с кручением.

экспериментальное обоснование теории реконструкции железобетона. Программа исследований усиленных железобетонных конструкций представлена в таблице 1. Программа исследований включала:

- программа испытаний 1: внецентренно сжатые элементы при кратковременном и длительном сжатии без предварительного нагружения усиливаемого элемента с вариантами сочетаний в сечении элемента различных бетонов с эксцентриситетами приложения нагрузки до 0,3

высоты сечения усиленного элемента, ; внецентренно сжатые элементы, усиленные под нагрузкой, при уровне нагружения усиливаемого элемента 0,3;0,4;0,6 с эксцентриситетами приложения кратковременной нагрузки до 0,3 высоты сечения усиленного элемента 0,3; при длительном нагружении с эксцентриситетами приложения нагрузки 0,3 при уровне нагружения усиливаемого элемента 0,6. Всего испытано 24 образца [4, 7, 8];

- программа испытаний №2: две изгибаемые нагруженные однопролетные балки объединяются в статически неопределимую двухпролетную систему постановкой надпорной арматуры и наращиванием балок сверху по всей длине, усиление балок выполнено под нагрузкой при уровне нагружения усиливаемого элемента 0,78; таким образом, в результате усиления две однопролетные балки трансформированы в двухпролетную неразрезную балку. Всего испытано 4 образца [4, 9, 10];

- программа испытаний №3: изгибаемые предварительно напряженные элементы, усиленные под нагрузкой, при уровне нагружения усиливаемого элемента 0,7; усиление выполнено наращиванием сечения сверху при жестком и податливом сопряжении усиливаемой конструкции и бетона усиления. Всего испытано 8 образцов [4, 8, 11];

- программ испытаний №4: элементы прямоугольного и таврового сечения, усиленные с предварительной разгрузкой, при кратковременном изгибе с кручением при соотношении величин крутящего и изгибающего моментов 0,2 и 0,3. Всего испытано 12 образцов [12, 13].

Во всех программах испытаний изучено влияние технологических воздействий при усилении железобетонных конструкций методом наращивания сечения, а именно набухание бетона усиливаемого элемента от увлажнения при укладке бетона усиления, изменение напряжений в бетоне, снижение прочности бетона усиливаемой конструкции при увлажнении, набор прочности усиления и перераспределение внутренних усилий с усиливаемого элемента на все составное сечение усиленной конструкции.

Результаты выполненных исследований позволяют при усилении эксплуатируемых железобетонных конструкций, находящихся под нагрузкой, для практических расчетов проектирования усиления конструкций рекомендовать дифференцированную систему расчетных коэффициентов: для бетонов классов В10–В20 при нагрузке 0,5–0,65 расчетной величины расчетные характеристики бетонов умножаются на коэффициент условия работы $\gamma_b=0,9$, для конструкций из бетонов В25 и выше при нагрузке

0,6–0,75 – $\gamma_b=0,9$. Для конструкций из бетонов В10–В20 при уровне нагрузки 0,6 и более – $\gamma_b=0,8$, для бетонов В25 и выше коэффициент $\gamma_b=0,8$ применять при уровне нагрузки 0,75 и более.

При проверке прочности усиливаемой конструкции на нагрузки, действующие в период строительства, технологические воздействия предлагается учитывать введением коэффициента условий работы бетона $\gamma_b=0,8$.

Оценка коррозионных повреждений арматуры и бетона рекомендуется: для арматурных стержней диаметром 25 мм при ширине раскрытия коррозионной трещины 1,0 мм степень повреждения 8 %, при ширине 2,0 мм – 12 %, при ширине 3,0 мм – 15 %; для оценки степени снижения прочности бетона при коррозионном повреждении под воздействием щелочных растворов, растворов кислот на этапе предварительного обследования объектов и при проведении оценочных расчетов коэффициенты условия работы бетона при эксплуатации 1 год – 0,7, 2 года – 0,6, 3 года – 0,55, 5 лет – 0,4. Полученные результаты позволили сформулировать экспериментально обоснованные предпосылки теории реконструированного железобетона [4, 15, 16, 17]. Испытания выявлены новые особенности деформирования, трещинообразования и разрушения усиленных железобетонных конструкций.

Определяющим параметром работы усиленной железобетонной конструкции является действие эксплуатационной нагрузки на усиливаемую конструкцию в процессе усиления. Несущая способность усиленных конструкций под нагрузкой по сравнению с аналогичным усилением конструкции с разгрузкой снижается. Если в сжатом бетоне усиливаемой конструкции начался процесс микротрещинообразования, то уже на начальных стадиях нагружения усиленной конструкции происходит интенсивное перераспределение внутренних усилий в сечении конструкции.

Необходимо учитывать технологические воздействия на конструкции в процессе усиления. Увлажнение бетона усиливаемой конструкции приводит к значительному, хотя и непродолжительному изменению его начальных параметров, которые необходимо учитывать при проектировании усиления введением коэффициента условий работы. Установлена многофакторная связь силового сопротивления бетона и железобетона с уровневными, граничными и режимными параметрами нагружения, с технологическими особенностями формирования конструктивного решения.

Таблица 1

Экспериментальные исследования усиленных железобетонных конструкций

№ программы	Вид испытаний	Характеристика испытаний
1		<p>Кратковременные испытания внецентренно сжатых элементов:</p> <p>1) усиление ненагруженных элементов с различными вариантами компоновки сечения, с эксцентриситетами приложения нагрузки до 0,3 высоты сечения усиленного элемента;</p> <p>2) усиление элементов под нагрузкой при уровне нагружения усиливаемого элемента 0,3; 0,4; 0,6 с эксцентриситетами приложения нагрузки до 0,3 высоты сечения;</p> <p>Длительные испытания внецентренно сжатые элементов при длительном нагружении с эксцентриситетами приложения нагрузки 0,3 при уровне нагружения усиливаемого элемента 0,6;</p>
2		<p>Однопролетные балки объединяются в статически неопределимую двухпролетную систему постановкой надпорной арматуры и наращиванием балок сверху по всей длине. Элементы, усиленные под нагрузкой изменением статической схемы. Уровень нагружения усиливаемого элемента 0,7</p>
3		<p>Изгиб предварительно напряженных элементов, усиленных под нагрузкой, при жестком и податливом сопряжении усиливаемой конструкции и бетона усиления. Элементы, усиленные под нагрузкой увеличением сечения. Уровень нагружения усиливаемого элемента 0,78</p>
4		<p>Изгиб элемента прямоугольного и таврового сечения с кручением при соотношении величин крутящего и изгибающего моментов 0,2 и 0,3. Элементы, усиленные с предварительной разгрузкой.</p>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Меркулов С.И. Развитие теории конструктивной безопасности объектов в условиях

коррозионных воздействий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. №3. С. 44–46.

2. Merkulov S.I., Lesovik R.V., Klyuev S.V., Kalashnikov N.V. Development of Theory of Structural for Buildings and Construction // World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 25. № 12. Pp. 1747–1750.
3. Меркулов С.И. Анализ и перспективы развития усиления бетонных конструкций композитной арматурой//Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы международных академических чтений. Курск: Курский государственный университет. 2015. С. 167–171.
4. Меркулов С.И. Основы теории реконструкции железобетона. Курск: Курск. гос. тех. ун-т. 2009. 248 с.
5. Бондаренко В.М., Меркулов С.И. Методологические основы теории конструктивной безопасности реконструированного железобетона//Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2008. №3. С.77–80.
6. Бондаренко В.М., Меркулов С.И. Некоторые вопросы развития теории реконструированного железобетона//Бетон и железобетон. 2005. №1. С.25.
7. Меркулов С.И. Экспериментальные исследования составных железобетонных элементов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2004. №10. С. 122–125.
8. Меркулов С.И., Дворников В.М., Татаренков А.И., Меркулов Д.С. Исследования усиленных железобетонных конструкций // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2009. №9. С. 123–129.
9. Меркулов С.И., Поветкин М.С. Исследования усиленных изгибаемых железобетонных конструкций под нагрузкой // Промышленное и гражданское строительство. 2009. №8С. 45–47.
10. Меркулов С.И., Татаренков А.И. Усиление железобетонных конструкций изменением статической схемы // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. №5. С. 49–53.
11. Меркулов С.И., Поветкин М.С. Экспериментальные исследования трещиностойкости усиленных изгибаемых железобетонных конструкций // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2009. №3. С. 111–116.
12. Меркулов С.И., Стародубцев С.В. Экспериментальные исследования стержневых железобетонных элементов составного сечения, подвергнутых изгибу с кручением // Строительство и реконструкция. 2012. №2. С. 20–24.
13. Меркулов Д.С. Комплексные исследования усиленных железобетонных конструкций составного сечения при сложных напряженных состояниях // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы международных академических чтений. Курск: Курский государственный университет. 2015. С. 318–325.
14. Меркулов Д.С. К выбору расчетной модели силового сопротивления железобетонных элементов при изгибе с кручением// Промышленное и гражданское строительство. 2009. №10. С. 46–48.
15. Меркулов С.И., Татаренков А.И., Дворников В.М. Оценка резерва несущей способности эксплуатируемых железобетонных конструкций // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. №6. С. 66–69.
16. Меркулов С.И. К вопросу о реконструкции и реновации конструктивных систем// Строительство и реконструкция. 2012. №6. С. 42–44.
17. Меркулов С.И., Дворников В.М., Татаренков А.И. Расчет усиленных внецентренно сжатых железобетонных конструкций с учетом специфических особенностей их работы // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. 2008. №4-20. С. 18–23.

Tatarenkov A.I.
ANALYSIS AND SYNTHESIS OF THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

The results of comprehensive experimental studies of reinforced concrete structures. The strengthening of the structures was performed by increasing the cross-section and from the use of static diagrams. The obtained data on the strength, deformation and bursting of nastroyaschy reinforced structures with different layout options section and the loading level.

Key words: *experimental study, reinforced concrete structures, strengthening, the level of loading, a change in the statistical scheme.*

Татаренков Андрей Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства
Курский государственный университет.
Адрес: Россия, 305000, г. Курск, ул. Радищева, 33.
E-mail: pgs@kursksu.ru