

УДК 624 (075.8)+621

Мустакимов В.Р. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: mustakimovvr@yandex.ru

Авхадеев Р.Р. – аспирант, ассистент

E-mail: avhad-83@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

К ВОПРОСУ ОСТАТОЧНОЙ ПРОЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ. ОПТИМАЛЬНО ДОСТАТОЧНЫЕ СПОСОБЫ ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ

АННОТАЦИЯ

На основании опыта освещаются проблемы безопасности зданий, сооружений и их строительных конструкций, ослабленных в условиях реконструкции. Приведен обзор и анализ практикуемых способов усиления остовов различных зданий с точки зрения их эффективности по условию использования остаточной прочности. Изложены современные способы усилительно-восстановительных мероприятий с использованием новых материалов и нанотехнологий при реконструкции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: реконструкция, усиление, нанотехнология, углеволокно, несущая способность, арматура, бетон, раствор, напряжение, усилие.

Mustakimov V.R. – candidate of technical sciences, associate professor

Avhadeev R.R. – post-graduate student, assistant

Kazan State University of Architecture and Engineering

TO THE QUESTION OF REMAINING DURABILITY OF BUILDING CONSTRUCTIONS. OPTIMALLY SUFFICIENT METHODS OF THEIR RENEWAL AT RECONSTRUCTION

ABSTRACT

On the basis of experience, the problems of safety of buildings, structures and their building constructions, weakened in condition of the reconstructions are illuminated. A review over and analysis of the practised ways of the reinforcement frame of different buildings from standpoint of their efficiency on condition of the use to remaining toughness are brought. The modern methods of amplifying-restoration measures with the use of new materials and nanotechnology activity at the reconstruction are expounded.

KEYWORDS: reconstruction, reinforcement, nanotechnology activity, carbon fibre, carrier ability, armature, concrete, solution, voltage, effort.

Тема длительной и безопасной эксплуатационной пригодности усиленных при реконструкции несущих и самонесущих остовов зданий или сооружений является актуальной. Современные инженерные обследования регламентируются требованиями промышленной безопасности и нормативными условиями СП 13-102-2003 [1]. По результатам инженерных инструментальных обследований зданий и сооружений, включая памятники истории и архитектуры Казани и Татарстана, проведенных авторами, часто возникает необходимость в усилении их строительных конструкций.

Приборы и оборудование неразрушающего и разрушающего контроля, при помощи которых определяется фактическая прочность, влажность, плотность, геометрические размеры и др., с достаточной достоверностью позволяют установить исходные физико-механические характеристики строительных материалов (кирпич, раствор, бетон, древесина, металлы) к проверочному расчету [2].

Качество приборов во многом способствует решениям при анализе повреждений и их влияния на несущую способность конструкций.

Использование сертифицированных расчетных программных комплексов, в линейной и нелинейной постановках, с учетом экспериментально полученных прочностных характеристик позволяет теоретически, на моделях с определенной степенью достоверности оценить несущую способность рассчитываемого элемента или остова здания в целом. Такая методика установления прочности и несущей способности, по мнению авторов, не в полной мере отвечает повышенным

требованиям оценки остаточной прочности и несущей способности для зданий I-го и II-го уровней ответственности, а также зданий и сооружений архитектурно-исторического наследия, охраняемых государством. Поэтому в отечественной практике применяются различные схемы усиления стоечных и пролетных конструкций при помощи дополнительного «наращивания» и «навешивания» элементов усиления на ослабленные конструкции. Элементы усиления выполняются из стальных обоев, поясов, накладок, тяжей, струн, распорок и т.д., которые, как правило, назначаются без обоснованных инженерных расчетов «в гарантированный запас» (рис. 1).

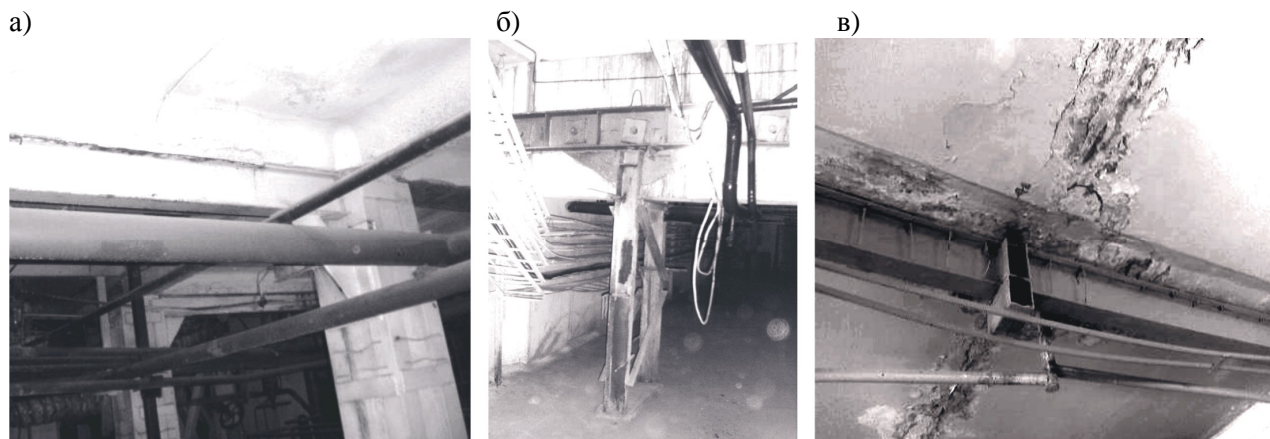


Рис. 1. Результаты усилительно-восстановительных работ ослабленных строительных конструкций «в гарантированный запас»: *а* – фрагмент колонны в стальной обойме и ребристой плиты усиленной подведенной стальной балкой; *б* – усиление сборной балки подведением стальной рамы; *в* – усиление монолитной балки перекрытия подводом балки с затяжкой из арматуры

В этих условиях проблематичным становится вопрос усиления строительных конструкций зданий и сооружений, являющихся памятниками истории и архитектуры, для которых нарушение исторически сложившегося облика интерьера и экстерьера недопустимо, а усиление конструкций необходимо. К подобным объектам, расположенным на территории города Казани и Татарстана, относятся: башня Сююмбике на территории Казанского Кремля; христианские и католические храмы Казани; комплекс объектов древней истории и архитектуры в составе острова-града «Свияжск» и отдельных объектов-памятников «Булгар». Поэтому поиск новых способов, методов и технологий для усилительно-восстановительных инженерных мероприятий становится остро необходимым и актуальным.

Кроме того, следует учитывать, что требования норм и правил являются обобщением накопленного уровня технических знаний. Следовательно, они не могут быть окончательными и периодически пересматриваются с учетом новейших достижений науки, основанных на последних данных исследовательских работ и современной практики. К сожалению, необходимые изменения строительных норм запаздывают.

Для решения подобных задач по ремонту, восстановлению несущей способности строительных конструкций и наращиванию прочности строительных материалов в зарубежной практике широкое распространение получили полотноно-пленочные полимерные композитные материалы (ПКМ) из стеклянных или углеродных волокон на эпоксидной основе. В строительной терминологии они получили название – стеклопластики и углепластики. Среди большого разнообразия ПКМ, предлагаемых строительной отрасли современной химической наукой, широкое распространение получили углеволокнистые композитные ленты (УКЛ).

Сущность универсального метода усиления строительных конструкций, работающих на изгиб, изгиб с кручением, растяжение и сжатие, заключается в том, что на поверхность участка или зоны конструкции, ослабленной физическим износом или дефектами, наносится специальный клеевой состав, наклеивается УКЛ или холст из углепластика, на предварительно выровненную поверхность конструкции. После клеевого схватывания, практически нерастяжимой и очень прочной УКЛ с поверхностью усиливаемой конструкции, выполняется оштукатуривание и отделка, позволяющая полностью исключить визуальный дефект от выполненного усиления. В результате такого усиления реанимированная строительная конструкция приобретает необходимую прочность и жесткость без увеличения веса и без изменения внешнего вида.

В отечественной строительной практике усиление конструкций при помощи УКЛ в последнее время находит все большее распространение. В целом ряде научных центров и вузовских лабораторий, в том числе Казани, отечественными учеными проведены комплексные исследования по изучению свойств УКЛ и границы их эффективного применения при усилении строительных конструкций. Особый интерес исследователей вызывает тот факт, что применение УКЛ позволяет использовать их универсальные свойства на разных стадиях, включая: восстановление прочности и несущей способности конструкции на стадии принятия строительных решений; исправление ранее принятых инженерных решений; усиление ослабленных физическим и механическим износом строительных конструкций и остова в целом.

Анализ случаев разрушений объектов памятников истории и архитектуры, а также других объектов строительства из железобетона показывает, что большая часть повреждений обусловлена коррозией арматуры. Применение УКЛ позволяет восполнить недостающее армирование.

Исследование влияния элементов внешнего армирования на изменение несущей способности объемного блока, а также перераспределение внутренних усилий в элементах исследуемой конструкции [3, 4, 5] позволяет констатировать, что использование углеволокнистых лент и полотен в качестве элементов усиления является эффективным и позволяет восстановить несущую способность поврежденных строительных конструкций практически до первоначального уровня. Усиленный конструктивный элемент становится способным воспринимать внешнюю нагрузку, составляющую 90 % от максимальной, при которой произошло разрушение неповрежденной конструкции. Результаты сопоставительного анализа эффективности усиления конструкций при помощи УКЛ, на примере одной из исследованных моделей, представлены на диаграмме нагрузка – деформация $\Sigma=f(N)$ (рис. 2).

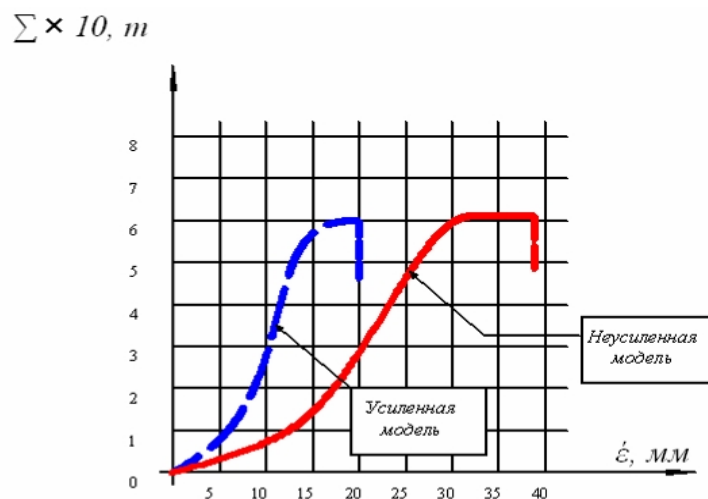


Рис. 2. Диаграмма зависимости нагрузка – деформация $\Sigma=f(N)$ конструктивной модели до и после ее усиления углеволокнистыми композитными лентами (УКЛ):

$\Sigma \times 10$ – усилие от домкрата в тоннах; ϵ – деформация в миллиметрах

Важным фактором при оценке эффективности усиления конструкций является уровень включения в совместную работу элементов усиления с усиливаемой строительной конструкцией. Среди традиционных методов усиления при помощи ненапрягаемых стальных обоев, полос, поясов, накладок, тяжей и распорок показатель эффективности от усиления очень низкий. Большее распространение получили методы с предварительным объемным обжатием усиливаемых конструкций и зданий в целом при помощи натяжения стальных арматурных элементов, получившие название «струнная система». При применении этого метода для усиления в качестве контролирующего фактора напряженно-деформированного состояния процесса усиления авторами в каждом случае, по результатам инструментального обследования, проверяется соблюдение условия $y_{обж.} < R_{mt}$, где $y_{обж.}$ – напряжение, возникающее в усиливаемой конструкции в процессе ее обжатия струнной системой, кПа, определяемое расчетом или экспериментально; R_{mt} – расчетное сопротивление на одноосное сжатие материала усиливаемой конструкции, кПа, принимаемое по таблицам нормативной литературы. Обязательным условием при этом методе является учет релаксации контролируемых напряжений и мониторинговое поддержание режима обжатия в

струнной системе. Достоинством метода усиления при помощи углеволокнистых лент и полотен является полное или частичное отсутствие недостатков, присутствующих в традиционных методах.

Одним из примеров успешного применения современных систем нанотехнологии с использованием высокотехнологичных углеволокнистых полотен является усиление строительных конструкций стен несущего остова двух многоэтажных жилых домов, расположенных по улице Ямашева в Казани. Углеволокно, как ультрасовременный строительный материал, широко используемый в международной космической промышленности, обладает всеми основными свойствами, актуализирующими процесс усилительно-восстановительных работ.

На объектах Казани полосы шириной 200 мм, нарезанные обычным канцелярским ножом, наклеивались на подготовленные участки стен с двух ее сторон крестообразно, создавая тем самым жесткость и геометрическую неизменяемость, с последующим нанесением специального состава. В процессе сложных физико-химических процессов на наноуровне микроворсинки углеволокнистых полотен, увеличиваясь в объеме, приклеились к усиливаемой поверхности кирпичных стен и упрочнили их настолько, что при пробном испытании полотен на отрыв происходило их отделение вместе с фрагментами кирпичной кладки.

Еще одним примером успешного применения специалистами РТ этого метода усиления может служить торговое здание в городе Уфе РБ, где в результате промораживания свежееуложенной бетонной смеси монолитного остова возникла необходимость в усилении железобетонных конструкций колонн, ригелей, балок и плит перекрытий в построечный период с целью восстановления проектной несущей способности. Дефектные участки конструкций с нарушенной структурой бетона и пониженной прочностью, установленной инструментальным апробированием методом неразрушающего контроля, были отремонтированы с восстановлением защитного слоя с применением ремонтного состава (рис. 3а). В соответствии с дефектными ведомостями все конструктивные элементы были усилены при помощи наклейки углеволокнистых композитных лент (рис. 3б, 3в, 3г).

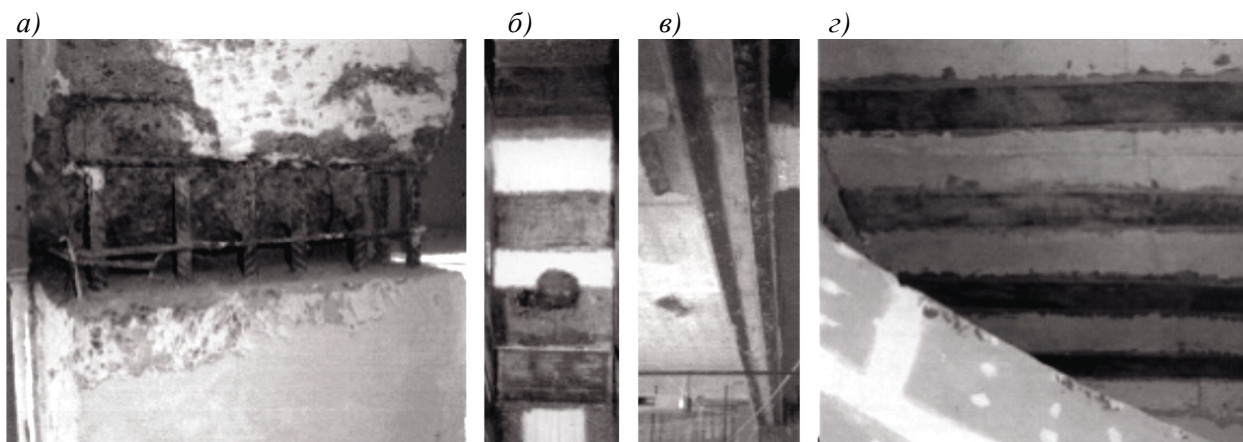


Рис. 3. Результаты усилительно-восстановительных работ ослабленных промораживанием бетона строительных конструкций, выполненных из монолитного железобетона, при помощи технологии наклейки углеволокнистых лент:

- а – фрагмент колонны, подготовленный к восстановлению защитного слоя бетона ремонтным составом;
- б, в, г – общий вид фрагментов строительных конструкций, соответственно, колонны (б), ригеля (в) и плиты перекрытия (г) после их усиления (УКЛ)

Суть проектирования усиления бетонных конструкций УКЛ состоит в том, что сохранён принцип плоских сечений. В связи с этим, кроме коэффициента $n = E_a/E_b$, как в классическом железобетоне, введён коэффициент $n_1 = E_k/E_b$ (E_a , E_b , E_k – модуль Юнга, соответственно: стали, бетона и композитной ленты). Формулы для определения размеров усложняются по сравнению с существующими подходами, но упомянутый алгоритм позволяет избежать затруднительных вычислений.

Другим примером применения ПКМ, исследования которых актуальны на сегодняшний день и ведутся особенно усиленно в Японии и США, является замена существующих стальных элементов в железобетонных конструкциях на стержни и связи из пластмассы, армированные углеродными волокнами. Данный подход особенно актуален для реализации восстановления конструкций, находящихся в условиях влияния агрессивных сред, в результате которых происходит коррозия стали

внутри конструкции. Ремонт таких конструкций затруднителен, и часто из-за сложных условий его реализации нарушается технология восстановления. Поэтому после ремонтных работ проблема разрушения конструкций от коррозии стали остается.

Выводы:

1. Качественная оценка остаточной прочности ослабленных деформациями строительных конструкций и оптимально достаточные способы их восстановления в капитальном строительстве и в условиях реконструкции, опытно-экспериментальной базой и на уровне современных инженерно-производственных представлений, считается относительно освоенной.
2. Количественная оценка остаточной прочности ослабленных деформациями строительных конструкций с ее научно-теоретической составляющей, по мнению авторов, требует глубокого изучения и научного обоснования.
3. Положительный опыт отечественного и зарубежного применения современных систем нанотехнологии с использованием высокотехнологичных углеволокнистых композитных лент (УКЛ) при усилительно-восстановительных работах для зданий капитального строительства и в условиях реконструкции с усилением предполагает более широкое распространение.
4. Результаты сопоставительного анализа системы УКЛ по отношению к традиционным методам и усилению из стальных элементов позволяют констатировать: высокую эффективность, коррозионную стойкость, прочность на растяжение и усталостную прочность; низкую растяжимость, собственный вес и трудоемкость; возможность применения для конструкций из различных строительных материалов, включая: кирпич, раствор, бетон, сталь, древесина, пластмассы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – М., 2004. – 28 с.
2. Самолинов Н.А. Использование неразрушающих методов контроля прочности конструкций при определении остаточного ресурса зданий и сооружений. // Сейсмостойкое строительство, безопасность сооружений, 2002, № 3.
3. Пособие по усилению железобетонных конструкций композитными материалами (к СП 52-101-2003): ООО «Интераква», НИИЖБ. – 58 с.
4. Методы усиления и восстановления зданий и сооружений с использованием элементов внешнего армирования из углеволокна // pamag.ru. URL: Предотвращение аварий зданий и сооружений. <http://www.pamag.ru/prensa/erb-methods> (дата обращения: 13.01.2011).
5. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.В. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. – М., 2004. – 144 с.

REFERENCES

1. CR 13-102-2003. Rules of inspection of bearing building constructions of building and building. – M., 2004. – 28 p.
2. Samolinov N.A. Using of non-destructive methods of control of durability of constructions for determination of remaining resource of building and building. // Quakeproof building, safety of building, 2002, № 3.
3. Manual on strengthening of reinforce-concrete constructions composite materials (to CR 52-101-2003): LLC «Interakva», RSIAC. – 58 p.
4. Methods of strengthening and renewal of building and building with the use of elements of external reinforcement from carbon fibre // pamag.ru. URL: Prevention of failures of building and building. <http://www.pamag.ru/prensa/erb-methods> (reference date: 13.01.2011).
5. Shilin A.A., Pshenichniy V.A., Kartuzov D.V. Strengthening of reinforce-concrete constructions composite materials. – M., 2004. – 144 p.