

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Строительные конструкции, здания и сооружения

УДК 69.059.32



И. С. Казакова
Вологодский государственный университет

К УСИЛЕНИЮ КОНСОЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

В статье представлено исследование возможности усиления консольных железобетонных плит балконов и козырьков зданий с помощью ламелей из композитных материалов. Представлены результаты расчета расхода материалов, чертежи и технико-экономическое обоснование.

Консольные железобетонные плиты, техническое состояние, усиление, ламели, композитные материалы.

Проектирование всех строительных конструкций связано в первую очередь с обеспечением их надежности, определяемой ГОСТом 27751-2014 [1] как их способности сохранять заданные эксплуатационные качества в течение нормативного срока службы. К мероприятиям, обеспечивающим надежность здания и отдельной конструкции, относятся соответствующие расчеты при проектировании, использование при возведении проектных материалов, строгое соблюдение технологии производства работ, правильная эксплуатация, своевременное проведение осмотров и ремонтов зданий и отдельных конструкций. Для обеспечения надежности конструкций, эксплуатирующихся на открытом воздухе, важным является выполнение последнего требования.

Проведенные обследования показывают, что многие балконы и козырьки над входными группами находятся в неудовлетворительном, а некоторые и в аварийном, состоянии, что является угрозой для жизни и здоровья людей.

Для балконных плит жилых зданий существует ряд признаков, указывающих на их аварийное состояние и небезопасное использование. К ним можно отнести видимые повреждения (разрушение защитного слоя арматуры, трещины в бетоне сверху или снизу балконной плиты, разрушение и сколы бетона по краям плиты и т.д.) и скрытые (коррозия закладных элементов, повреждения растянутой арматуры из-за длительной эксплуатации или дополнительной нагрузки на балконы; трещины, скрытые за отделкой балкона). Аналогичные признаки наблюдаются и в консольных железобетонных плитах козырьков зданий.

Для обеспечения дальнейшей безопасной эксплуатации балконов разработаны различные способы их усиления [2, 3], которые зависят от конструктивной схемы здания, расчетной схемы плиты, расположения ее на фасаде здания и т.д. Эти же способы можно использовать и для усиления консольных плит козырьков над входными группами.

Выбор способа усиления для каждого конкретного случая индивидуален. При помощи визуального и инструментального осмотра определяется степень разрушения, в зависимости от которой предлагаются варианты усиления. Усиленная конструкция должна быть надежной, долговечной, удобной в эксплуатации, экономичной и отвечать эстетическим требованиям.

Многие традиционные виды усиления (укладка армированного слоя бетона, подведение консолей и разгрузочных балок из прокатного металла, установка подвесок и подкосов из прокатного металла, подведение металлических опорных столиков) имеют недостатки, среди которых высокая металлоемкость, трудоемкость, нарушение эстетических требований, изменение схемы работы конструкции.

Применение новых инновационных технологий позволит исключить эти недостатки. Примером такой прогрессивной технологии является использование при усилении консольных железобетонных плит балконов и козырьков композитных материалов.

До недавнего времени в строительстве композитные материалы имели ограниченную область применения. В основном они использовались для конструкций, находящихся под воздействием агрессивной среды. Только в 80-е годы XX века в мировой практике их стали применять для усиления строительных конструкций. Отечественный и зарубежный опыт применения композитов для усиления строительных конструкций показывает, что они находятся в эксплуатационном состоянии и отказов элементов усиления (иначе – внешней арматуры) не наблюдается. Это вызвало увеличение применения композитов для усиления и ремонта строительных конструкций различных зданий и инженерных сооружений. Росту применения этих материалов способствовали выпуск нормативной литературы в этой области как за рубежом [4–6], так и в нашей стране [7, 8].

В работах [7, 8] рассмотрены методики усиления композитными материалами изгибаемых железобе-

тонных элементов прямоугольного, таврового и двутаврового сечений, плоских плит и колонн. В развитие свода правил разработаны пособия [9–11], где приводятся методики расчета усиленных конструкций по предельным состояниям, дается прогнозирование разрушения усиленных конструкций в предельных состояниях, прогнозирование появления отслоений в конце зоны анкеровки, потеря сцепления материала усиления с бетоном. Также рассмотрены требования к исходным материалам и условиям проведения работ по усилению, вопросы качества выполнения работ и требования по обязательному мониторингу усиливаемой конструкции. В технической литературе [11, 12] приведены конструктивные требования и рекомендации к элементам усиления.

Исследованиями [13, 14] установлено, что низкие и отрицательные температуры и попеременное многократное замораживание и оттаивание не влияют на физико-механические характеристики композитных материалов и не оказывают значительных влияний на сдвиги, деформации и перемещения в клеевом составе на границе присоединения системы внешнего армирования к железобетонному элементу, что дает возможность использовать усиление композитными материалами консольных железобетонных плит, эксплуатируемых на открытом воздухе.

Целью настоящего исследования является оценка возможности усиления консольных железобетонных плит балконов и козырьков зданий с помощью композитных материалов на основе углеволокна.

Для усиления консольных железобетонных плит эффективнее использовать композитные материалы в виде ламинатов (ламелей), в которых подавляющее количество волокон (до 55 %) располагается в продольном направлении. Полосы изготавливаются толщиной 1–2 мм и шириной обычно 50–150 мм. В качестве волокон для усиления железобетонных плит лучше применять углеродные волокна, которые характеризуются высокими значениями прочности и жесткости, малой плотностью – прочнее стали, но гораздо легче. Полимером для омоноличивания волокон (изготовления матрицы) в ламинатах служат термоотверждающиеся полимеры, роль которых выполняют эпоксидные составы. Отверждающая матрица (полимер) способствует передаче действующих напряжений между волокнами, а также их защите от внешних воздействий. Эпоксидные составы обладают лучшими механическими свойствами и хорошей стойкостью к различным химическим воздействиям.

К наиболее важным достоинствам композитного материала на основе углеродных волокон можно отнести высокое отношение прочности к весу. Модуль упругости может превышать 700 ГПа, а стойкость к разрыву может достигать 5 ГПа, при этом их удельный вес в 4–5 раз меньше, чем у стали.

Композитный материал характеризуется высокой деформативной и усталостной стойкостью. Разрушение материала при нагрузке происходит без пластических деформаций, а это значит, что композит, приклеенный в зоне наибольшего изгибающего момента, который возникает в железобетонной конструкции, защищает бетон от разрушения, но при превышении уровня допустимых деформаций рвется

без промежуточного этапа удлинения волокон [15], как это может происходить в сталях.

Важным компонентом системы усиления ламинатами из композитных материалов является клеящий состав [16]. Основным его назначением, помимо собственно приклеивания, является восприятие сдвиговых и отрывающих усилий между соединяемыми поверхностями. Для приклеивания композитного материала к бетонной поверхности используются эпоксидные двухкомпонентные клеящие составы, способные схватываться при положительной температуре окружающей среды.

От воздействия повышенных температур, открытого пламени, ультрафиолетового излучения и механических повреждений композит защищается с помощью нанесения специальных покрытий на основе полимерцемента.

Проведенные исследования показали, что композитный материал – один из наиболее технологичных материалов в современном мире, процесс усиления конструкций менее трудоемок и энергозатратен по сравнению с другими способами усиления. Расширение рынка композитных материалов и снижение его стоимости позволяет считать метод усиления конструкций при помощи композитных материалов более предпочтительным с экономической точки зрения, что позволяет использовать его для усиления консольных железобетонных плит, находящихся на открытом воздухе.

При усилении композитами предъявляются специальные требования к поверхности бетона основания [17, 18]. Все мелкие дефекты, сколы, углубления, раковины устраняются с помощью полимерцементных, эпоксидных или ремонтных составов. В трещины с раскрытием более 0,3 мм инъектируется низковязкий эпоксидный состав, а трещины с меньшим раскрытием затираются полимерцементным раствором. Обнаженная арматура очищается от продуктов коррозии и обрабатывается преобразователем ржавчины и праймерным составом. После данных мероприятий при помощи специальных ремонтных составов восстанавливается защитный слой бетона.

Усиление железобетонных плит с применением ламинатов (ламелей) может быть выполнено приклеиванием на поверхность конструкции либо установкой полос ламелей в предварительно подготовленные пазы. Ламинаты приклеивают специальными материалами на основе эпоксидных смол по [19].

В работе используется первый метод усиления железобетонных плит.

Мерные заготовки ламелей перед приклеиванием обезжиривают ацетоном, а затем на поверхность наносят слой адгезива толщиной 1–1,5 мм. Также адгезионный состав толщиной 1 мм наносят на поверхность предварительно подготовленного и обеспыленного основания. Ламель укладывают на основание «клей к клею» и прикатывают валиком для удаления избытка воздуха. Образовавшиеся избытки состава удаляют шпателем. Возможно последовательное приклеивание двух или нескольких слоев ламелей. Для защиты внешняя сторона элементов усиления покрывается полимерцементным раствором.

При использовании для усиления ламинатов из композитов производится анкеровка последних в плиты перекрытий, поскольку элементы усиления выходят за пределы расчетной площади усиления. Длина зоны анкеровки принимается более 150 мм. Для того чтобы не нарушить анкеровку элементов, продольное расположение ламинатов дополняют поперечным. Установку продольных слоев и поперечных чередуют таким образом, чтобы каждый последующий продольный слой был перехвачен поперечным.

Расчет усиления железобетонной консольной балконной плиты при помощи углеродных ламелей марки CarbonWrap Lamel выполнен согласно [7–10] для двух состояний железобетонных консольных плит:

- для аварийного состояния консольной железобе-

тонной плиты балкона или козырька при полном отказе рабочей арматуры;

- для ограниченно-работоспособного состояния консольной железобетонной плиты балкона или козырька.

В результате расчетов дана оценка несущей способности балконной плиты, усиленной углеродными ламелями путем приклеивания их на поверхность конструкции, оценка потери сцепления материала усиления с бетоном при действии сдвиговых усилий, выполнен подбор анкерного углеродного жгута CarbonWrap Anchor при его работе на действие продольных вырывающих сил [19]. Для каждого из рассматриваемых вариантов были разработаны чертежи по усилению.

Усиление балконной плиты при аварийном состоянии представлено на рисунке.

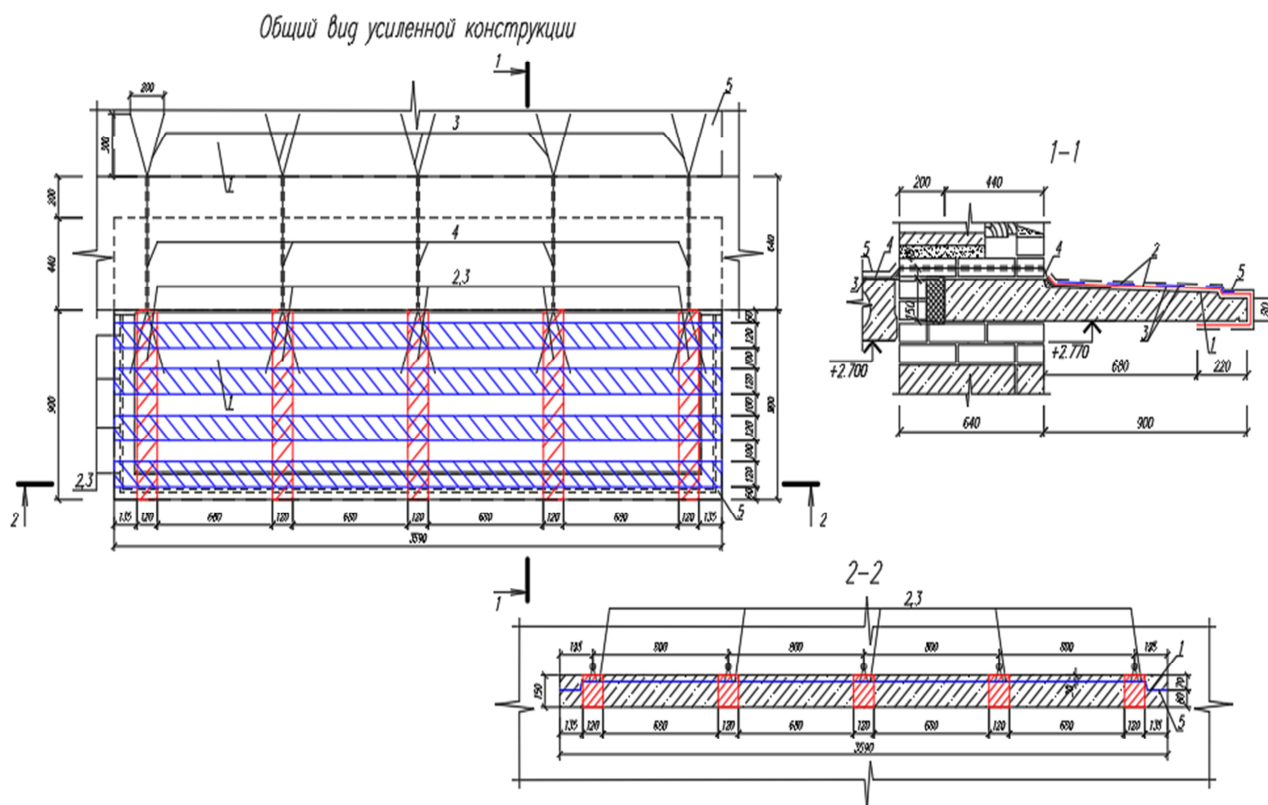


Рис. Усиление балконной железобетонной консольной плиты ламелями из композитного материала на основе углеволокна (спецификация материалов приведена в таблице 1)

Таблица 1

Спецификация материалов для усиления балконной плиты ПБК 36.13-6

Поз.	Наименование	Ед. изм.	Количество	Примечание
1	Ремонтный состав CarbonWrap Repair ST	кг	9,69	Расход 1,8 кг/м ²
2	Углеродная ламель CarbonWrap Lamel 14/120	м ²	2,57	Расход с учетом коэффициента раскроя и прирезки 1,05
3	Эпоксидный клей Carbon Wrap Resin 230+	кг	3,65	Расход 1,2 кг/м ²
4	Углеродный анкерный жгут CarbonWrap Anchor D10	пог. м	6,51	Расход с учетом коэффициента раскроя и прирезки 1,05
5	Финишный ремонтный состав CarbonWrap RepairFS	кг	9,69	Расход 1,8 кг/м ²

В таблице 2 представлены материалы для усиления консольных плит балконов при разной степени их технического состояния с учетом [15, 18, 19] и расход материалов.

Таблица 2

Расход материалов на усиление консольных железобетонных плит ламелями

Материалы	Аварийное состояние	Ограниченно-работоспособное
Ремонтный состав CarbonWrap Repair ST, кг	9,69	
Углеродная ламель CarbonWrap Lamel 14/120, м ²	2,57	-
Углеродная ламель CarbonWrap Lamel 12/50, м ²	-	1,45
Эпоксидный клей CarbonWrap Resin 230+, кг	3,65	2,37
Углеродный анкерный жгут CarbonWrap Anchor D10, пог. м	6,51	
Финишный ремонтный состав CarbonWrap Repair FS, кг	9,69	

Для оценки экономической эффективности разрабатываемых инженерных решений определялись сметная стоимость и трудоемкость выполнения работ по усилению железобетонных консольных балконных плит и козырьков над входами зданий. Выполнен локальный сметный расчет усиления железобетонных консольных плит при помощи композиционных материалов для двух случаев технического состояния последних. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Технико-экономическое обоснование усиления консольных плит ламелями

Показатели	Аварийное состояние	Ограниченно-работоспособное
Сметная стоимость, тыс. руб.	47,42	32,20
Трудоемкость выполнения работ, чел. ч	13,77	12,10

Анализируя полученные результаты, можно сделать выводы о том, что своевременное выполнение работ по осмотру и усилению консольных балконов и козырьков зданий с помощью композиционных материалов в виде ламелей приведет к значительному снижению расходов на эти мероприятия. Усиление балконов и козырьков при ограниченно-работоспособном состоянии приведет к экономии более 30 % их сметной стоимости по сравнению с балконами и козырьками при аварийном состоянии.

Литература

- ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения : введен 2015-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 19 с.
- Цыркунова, Н. Н. К вопросу о состоянии балконных плит зданий старой застройки. Оценка рисков и безопасность в строительстве. Новое качество и надежность строительных материалов и конструкций

на основе высоких технологий / Цыркунова Н. Н., Казакова И. С. // Сборник научных трудов Института строительства и архитектуры по материалам Международной молодежной конференции. – Москва : ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», 2012. – С. 203–206.

3. Казакова, И. С. Усиление аварийных балконных плит в зданиях старой застройки / И. С. Казакова, Н. Н. Цыркунова // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2012. – № 10 (165). – С. 31–33.

4. EN 1991:2002-2007. Еврокод 1. Воздействие на строительные конструкции (1991:2002-2007. Eurocode 1: Actionsonstructures)

5. CNR-DT 200/2004. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures. – Rome, 2004. – 144 p.

6. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. ACI 440.2R-08. American Concrete Institute.

7. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами / Разработано в развитие СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры». – Москва : НИИЖБ, 2006. – 48 с.

8. СП 164.1325800.2014. Свод правил. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования : утвержден Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации 08.08.2014 № 452/пр : введен 01.09.2014. – Москва : Минстрой России, 2014. – 70 с.

9. Пособие по ремонту и усилению железобетонных конструкций / А. А. Шилин, М. В. Зайцев, В. А. Пшеничный, Д. В. Каргузов. – Москва : Минстрой России, 2016. – 160 с.

10. Шилин, А. А. Пособие по усилению железобетонных конструкций с использованием композитных материалов / А. А. Шилин, М. В. Зайцев, Д. В. Каргузов. – Москва : Минстрой России, 2017. – 226 с.

11. СТО 38276489.001–2017. Стандарт организации. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Проектирование и технология производства работ : утвержден ООО «НЦК» : введен 12.01.2017. – Москва, 2017. – 125 с.

12. Альбом технических решений по усилению железобетонных конструкций системой внешнего армирования : утвержден ООО «НЦК» : введен 12.01.2017. – Москва, 2017. – 94 с.

13. Исследование возможности использования углепластиков в условиях арктического климата / Н. В. Антюфеев, В. М. Алексакин, М. Р. Павлов, Ю. В. Столянков // Авиационные материалы и технологии. – 2016. – № 4 (45) – С. 86–94.

14. Исследование возможности и области рационального применения гибких лент и тканей из композиционных материалов при ремонте железобетонных конструкций мостовых сооружений с разработкой ОДК: отчет о научно-исследовательской работе / научный руководитель В. В. Чванов. – Москва, 2011.

15. ГОСТ 5781-82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия : введен 1983-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2006 – 10 с.

16. ГОСТ 32943-2014. Материалы и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Требования к клеевым соединениям элементов усиления конструкций : введен 2015-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2015 – 41 с.

17. ГОСТ Р 56378-2015. Материалы и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Требования к ремонтным смесям и адгезионным соединениям контактной зоны при восстановлении конструкций : введен 2015-09-01. – Москва : Стандартинформ, 2015 – 46 с.

18. ГОСТ 33762-2016. Материалы и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Требования к инъекционно-уплотняющим составам и уплотнениям трещин, полостей и расщелин : введен 2017-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2016 – 85 с.

19. Работа на вырыв анкеров на основе углеродных волокон при устройстве систем внешнего армирования / О. А. Симаков, С. А. Зенин, О. В. Кудинов, П. В. Осипов // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 3. – С. 29–34.

I.S. Kazakova
Vologda State University

ON STRENGTHENING OF CANTILEVERED REINFORCED CONCRETE SLABS WITH COMPOSITE MATERIALS

The article presents a study of the possibility of strengthening of cantilever reinforced concrete slabs of buildings balconies and canopies with the help of lamellas made of composite materials. The results of the calculation of materials consumption, drawings and feasibility study are presented.

Cantilever reinforced concrete slabs, technical condition, reinforcement, lamellas, composite materials.