

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМАМИ ВНЕШНЕГО АРМИРОВАНИЯ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.Е. ЛАПШИНОВ

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский  
Московский государственный строительный университет»,  
г. Москва*

*Ключевые слова и фразы:* адгезия; внешнее армирование; инфракрасная термография; композит; контроль качества; отслоение; усиление.

*Аннотация:* Целью настоящей статьи является демонстрация проблемы контроля качества при усилении железобетонных конструкций системами внешнего армирования из углеродных лент. Несмотря на все возрастающую популярность такого метода усиления, в нормативной документации наблюдаются определенные пробелы в части проведения контроля качества. Задача данного исследования заключалась в том, чтобы показать обзор методов разрушающего, частично разрушающего и неразрушающего контроля для проверки качества наклейки углеволокна. В статье предлагается рассмотреть метод инфракрасной термографии для проведения контроля качества работ при усилении конструкций системами внешнего армирования. Метод инфракрасной термографии позволяет эффективно осуществлять контроль качества наклейки систем внешнего армирования в труднодоступных местах, а также на больших площадях.

Системы внешнего армирования (СВА) для усиления железобетонных, а также каменных и армокаменных конструкций стали широко применяться в нашей стране в последние 10–20 лет. В эти годы в нашей стране были проведены многочисленные исследования по изучению поведения конструкций с усилением СВА [2; 5], что способствовало появлению норм проектирования усиления железобетонных конструкций. За рубежом данные системы усиления были известны несколько ранее: первые пилотные объекты с усилением углеволокном появились в 80 гг. XX в., что привело к необходимости разработки в западных странах нормативных документов по проектированию усиления железобетонных конструкций с СВА.

В РФ на сегодня общее количество национальных стандартов по композитным материалам, изделиям и конструкциям составляет около 500. Тем не менее наблюдается определенный пробел в части методов оценки технического состояния и контроля качества работ

в конструкциях, усиленных композитными материалами [3]. Так, в нормах проектирования усиления конструкций углеволокном (СП 164.1325800.2017) есть упоминание о необходимости проведения контроля качества, однако отсутствуют ссылки на нормативные документы и обязательность их использования при контроле качества, авторском надзоре и обследовании технического состояния. В нормативных документах на проведение обследований конструкций также нет информации о методиках обследования конструкций, усиленных СВА.

Натурные обследования показывают, что одним из основных дефектов, снижающих надежность и несущую способность конструкций, усиленных СВА из углекомпозита, является отслоение композита от поверхности конструкций. Кроме этого, основными видами дефектов наклейки СВА могут быть расслоения, трещины в ламинате, непроклеенность, наплывы связующего. В связи с этим обеспечение пол-

ноценной совместной работы композита и усиляемого элемента за счет ранней диагностики является актуальной задачей для специалистов, проводящих техническое обследование и авторский надзор конструкций, усиленных СВА из углеродных лент.

Для контроля качества могут использоваться такие методы, как ультразвуковые, акустические (простукивание), эхо, термография, радиографические, микроволновые и др. (см. АСІ 440.2R-08).

Перечислим общие предпосылки для использования внешнего армирования согласно нормативной документации.

1. Поверхность бетона должна быть прочной, без дефектов (пор, трещин и т.п.).

2. Должно быть обеспечено хорошее сцепление внешнего армирования и бетонной поверхности.

3. Температура эксплуатации не должна превышать температуру стеклования ( $T_g$ ) связующего.

4. Обученные и опытные рабочие должны осуществлять аппликацию внешнего армирования.

Также имеют место следующие дополнительные предпосылки.

1. Высокие перепады температур должны быть исключены.

2. СВА должна быть защищена огнезащитой.

3. СВА должна быть защищена от ультрафиолета.

4. В зонах с легким доступом должна быть выполнена защита от механических повреждений и антивандальная защита.

По обзору литературы можно сделать вывод, что контроль качества перед применением СВА характеризуется следующими проверками.

1. Наличие технической документации (чертежи и спецификации строительного проекта, проект выполнения работ, описание метода).

2. Используемые материалы (технические сертификаты, спецификации и т.д.).

3. Условия аппликации внешнего армирования.

4. Процесс аппликации внешнего армирования.

Здесь важно отметить, что перед нанесением СВА проводится тщательная проверка поверхности. Внешний вид поверхности (отсутствие грязи, масляных пятен, мелких неровностей и т.д.) оценивается визуально; неравно-

мерность – с помощью металлической линейки, уровня, рихтовочного инструмента или шупа. Поверхность очищается с помощью угловой шлифовальной машины до тех пор, пока не откроются поры или не обнажится крупный заполнитель и не будет удалена пыль, и, если есть трещины шириной более 0,2 мм, они инъецируются. Трещины шириной раскрытия менее 0,2 мм затираются ремонтными составами.

Во время контроля качества после наклейки СВА проверяется:

1) толщина клея;

2) неравномерность нанесения;

3) испытания образцов материалов;

4) неразрушающий контроль качества сцепления углепластика с бетонной поверхностью (согласно ГОСТ Р 57048-2016);

5) натурные испытания усиленной конструкции до и после нанесения;

6) система долгосрочного мониторинга.

Среди испытаний выделяют неразрушаемые (простукивание, ультразвуковой, звуковой импульс, просвечивание, термография, волновые методы) и частично разрушаемые (отрыв, срез, кручение) методы. Также можно выделить дополнительные методы испытаний: испытание на срез нахлестки (*EN 1465*); долговечность (испытание на сцепление после циклов замораживания и оттаивания или старения на открытом воздухе); прочность сцепления на прямое растяжение при высокой относительной влажности.

Анализ литературы показывает, что и в России, и за рубежом такие методы усиления, как термография, были опробованы [4; 6], однако до сих пор повсеместно не внесены в нормативные документы.

Метод инфракрасной термографии – это неразрушающий бесконтактный оптический метод, при котором на основе измерения инфракрасной энергии, излучаемой мишенью, строится точное двумерное отображение изотермических контуров постоянных или переходных тепловых эффектов (рис. 1). Впервые инфракрасная термография как практическая технология неразрушающего метода была применена в 1950 г. [7].

Принцип термографии в качестве эффективного метода неразрушающего контроля основан на том, что всякое тело с температурой, отличной от абсолютного нуля, имеет тепловое излучение. Подавляющее большинство процессов преобразования энергии протекает

Таблица 1. Теплопроводность различных материалов

Материал	Теплопроводность, $k$ [Вт/м·°С]
Сталь (20 °С)	36–54*
Бетон (20 °С)	1,37
Углеродные волокна (продольно)	84
Углеродные волокна (поперечно)	0,84
Смола	0,18
Углекомпозит (поперечно, $V_f = 65 \%$ )	0,72

\* В зависимости от содержания углерода

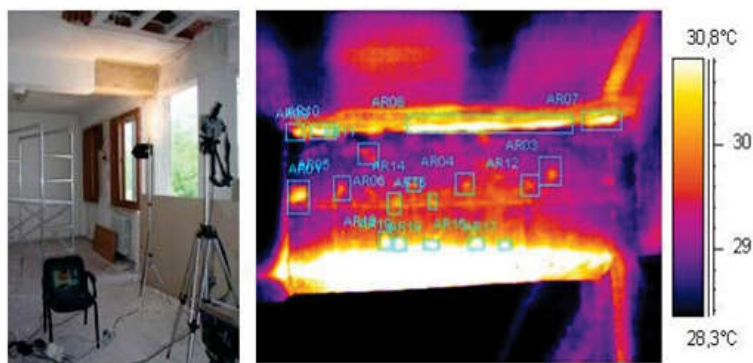


Рис. 1. Общий вид определения наличия дефектов в усиленной железобетонной балке при помощи метода инфракрасной термографии [6]

с выделением и поглощением энергии. Поток тепла через материал изменяется из-за наличия внутренних разрывов, трещин, расслоений или других аномалий. Тепло обычно передается внутри материала и от одного материала к другому посредством проводимости, которая описывается законом Фурье, выражаемым следующей формулой:

$$Q = k/(tA_h \Delta T),$$

где  $k$  – теплопроводность материала.

Из приведенного выше выражения теплопередачи очевидно, что материалы с высоким значением  $k$ , такие как металлы, могут проводить тепло быстрее по сравнению с воздушным зазором (или вакуумом), который характеризуется близкой к нулю теплопроводностью. Композитные материалы также обладают гораздо меньшей теплопроводностью по сравнению с металлами (табл. 1). Скорость теплового потока

будет зависеть от среды, в которой происходит передача энергии, и наличия каких-либо разрывов в ней.

В работе [1] указываются определенные параметры (мощность теплового потока, время выдержки и др.) для оценки качества приклейки углеволокна к поверхности усиливаемой железобетонной конструкции. Автор [1] предлагает математическую модель, которая позволит определить параметры инфракрасной съемки для выявления отслоений углекомпозита толщиной 1 мм от бетонного основания (мощность нагрева 926 Вт/м, длительность нагрева 9 с, оптимальное время наблюдения при остывании поверхности на 19 с после начала нагрева). При этом можно определять отслоения толщиной до 0,05 мм, залегающие на глубине до 1 мм.

Обобщая вышесказанное, можно сделать следующие выводы.

1. В руководящих документах как на обследование, так и на усиление конструкций

отсутствуют четкие указания по проведению контроля качества конструкций, усиливаемых СВА. Проектная документация на усиление зачастую также не содержит каких-либо конкретных указаний по контролю качества при работах по усилению СВА.

2. В нормативных документах не регламентировано время, через которое можно осматривать СВА после ее монтажа на предмет отсутствия дефектов и приемки работ. Время отверждения связующего сильно зависит от температурно-влажностных условий окружающей среды, где проводится усиление.

3. В настоящий момент в полной мере не урегулированы вопросы наличия дефектов наклейки СВА и их допустимое процентное соотношение при приемке работ и обследовании зданий.

4. Необходимо разработать и внедрить в нормативную документацию методику оценки качества работ по усилению конструкций СВА.

5. В основной руководящий документ по обследованию (ГОСТ 31937-2011) необходимо внести указания по проведению обследования технического состояния и поверочному расчету конструкций, усиленных СВА.

### Литература

1. Быков, А.А. Использование метода инфракрасной съемки для контроля отслоения композита от поверхности бетона при нагружении усиленных железобетонных балок / А.А. Быков, И.Н. Шардаков, А.П. Шестаков // Научные труды Общества железобетонщиков Сибири и Урала : материалы 14-й Сибирской (международной) конференции по железобетону, 2016. – С. 69–75.

2. Ванус, Д.С. Проектирование усиления железобетонных конструкций композитными материалами на основе углеволокна / Д.С. Ванус, А.А. Побудилина // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2021. – № 11(146). – С. 67–71.

3. Лапшинов, А.Е. Обследование и контроль качества конструкций армированных и усиленных композитными полимерными материалами / А.Е. Лапшинов // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения : материалы VIII международной научно-практической конференции, 2017. – С. 129–135.

4. Соловьев, Л.Ю. Тепловизионный контроль качества работ по усилению железобетонных конструкций композиционными материалами / Л.Ю. Соловьев, А.Н. Костенко, А.А. Неровных, К.В. Кобелев, И.В. Засухин // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 3(50). – С. 134.

5. Тонких, Г.П. Экспериментально-теоретические исследования фрагмента здания из каменной кладки, усиленного системой внешнего армирования на основе углеволокна / Г.П. Тонких, О.В. Кабанцев, А.В. Грановский, П.В. Осипов, Р.А. Бузин // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2017. – № 5. – С. 36–46.

6. Corvaglia, P. IRT survey for the quality control of FRP reinforced r.c. structures / P. Corvaglia, A. Largo // 9th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography. – 10 p.

7. Bouvier, C.G. Investigating Variables in Thermographic Composite Inspections / C.G. Bouvier // Journal Article : Materials Evaluation. – 1995. – Vol. 53. – No. 5. – P. 544–551.

### References

1. Bykov, A.A. Ispolzovanie metoda infrakrasnoj semki dlya kontrolya otsloeniya kompozita ot poverkhnosti betona pri nagruzhении usilennykh zhelezobetonnykh balok / A.A. Bykov, I.N. SHardakov, A.P. SHestakov // Nauchnye trudy Obshchestva zhelezobetonshchikov Sibiri i Urala : materialy 14-j Sibirskoj (mezhdunarodnoj) konferentsii po zhelezobetonu, 2016. – S. 69–75.

2. Vanus, D.S. Proektirovanie usileniya zhelezobetonnykh konstruksij kompozitnymi materialami na osnove uglevolokna / D.S. Vanus, A.A. Pobudilina // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2021. – № 11(146). – S. 67–71.

3. Lapshinov, A.E. Obsledovanie i kontrol kachestva konstruksij armirovannykh i usilennykh kompozitnymi polimernymi materialami / A.E. Lapshinov // Obsledovanie zdaniy i sooruzhenij: problemy i puti ikh resheniya : materialy VIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, 2017. – S. 129–135.

4. Solovev, L.YU. Teplovizionnyj kontrol kachestva rabot po usileniyu zhelezobetonnykh

---

konstruktsij kompozitsionnymi materialami / L.YU. Solovev, A.N. Kostenko, A.A. Nerovnykh, K.V. Kobelev, I.V. Zasukhin // Inzhenernyj vestnik Dona. – 2018. – № 3(50). – S. 134.

5. Tonkikh, G.P. Eksperimentalno-teoreticheskie issledovaniya fragmenta zdaniya iz kamЕННОj kladki, usilennogo sistemoj vneshnego armirovaniya na osnove uglevolokna / G.P. Tonkikh, O.V. Kabantsev, A.V. Granovskij, P.V. Osipov, R.A. Buzin // Sejsmostojkoe stroitelstvo. Bezopasnost sooruzhenij. – 2017. – № 5. – S. 36–46.

---

© А.Е. Лапшинов, 2022