

DOI: 10.15593/24111678/2017.02.07

УДК 69.059.322

А.В. Кунгурова, А.Ю. Пермякова

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

ОСОБЕННОСТИ РЕМОНТА МОСТА, УСИЛЕННОГО КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Статья посвящена изучению вопроса усиления мостовых сооружений композитными материалами. Приведены данные о мостовом сооружении. Представлен краткий обзор усиления моста через реку Тишковку. Дана информация о базовых материалах для усиления конструкций моста. Рассмотрены особенности производственно-технологических процессов усиления моста с учетом температурно-влажностных параметров. Представлены виды контроля производственных процессов по технологии усиления мостового сооружения.

Основываясь на опыте эксплуатации мостовых сооружений, усиленных композитными материалами, можно сделать вывод о том, что применение данных материалов является эффективным и надежным способом увеличения несущей способности строительных конструкций автомобильных мостов и может быть рекомендовано для других подобных конструкций. Применение композитных материалов позволяет существенно ускорить и упростить процесс реконструкции эксплуатируемых автомобильных мостов. Все это, в свою очередь, дает возможность пропуска больших транспортных потоков и увеличения скорости их движения. Технология такого ремонта в процессе производства работ определила экономическую эффективность применения на данном объекте экспресс-ремонта с углепластиковыми материалами в размере одного миллиона рублей в сравнении с классическими технологиями ремонта мостов. Проект и отработка производственных технологических циклов на объекте и результаты десятилетнего мониторинга моста послужили темой для развития использования композитных углепластиковых материалов в объектах дорожного хозяйства России. Теоретическая и научная составляющие исследуемого вопроса позволили проводить дальнейшие эксперименты в области применения углепластиков и технологий экспресс-ремонтов в России и за рубежом.

Ключевые слова: ремонт моста, усиление, композиционные материалы, прочность, испытания, контроль.

A.V. Kungurova, A.Iu. Permiakova

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

SPECIAL REPAIR OF BRIDGE REINFORCED COMPOSITE MATERIAL

The article is devoted to the study of the issue of reinforcing bridge structures with composite materials. The data on the bridge structure are presented and a brief overview of the strengthening of the bridge over the Tishkov River is presented. The information on basic materials for strengthening the bridge structures is presented. The features of industrial and technological processes of bridge strengthening are considered taking into account temperature-humidity parameters. The types of control of production processes by technology of reinforcing the bridge structure are presented.

Based on the experience of operating bridge structures reinforced with composite materials, it can be concluded that the application of these materials is an effective and reliable way to increase

the bearing capacity of the building structure of automobile bridges and can be recommended for use on other similar structures. The use of composite materials makes it possible to significantly accelerate and simplify the process of reconstruction of operated automobile bridges. All this in turn makes it possible to skip large traffic flows and increase the speed of their movement. The technology of such repairs in the course of production determined the cost-effectiveness of using this object for express repair with carbon-plastic materials in the amount of one million rubles in comparison with the classical bridging technology. The design and development of production technological cycles at the site and the results of the ten-year monitoring of the bridge served as a topic for the development of the use of the market for composite carbon-plastic materials in the facilities of the road facilities in Russia. Theoretical and scientific component of the object of the problem allowed to conduct further experiments in the field of application of carbon plastics and rapid repair technologies in Russia and abroad.

Keywords: bridge repair, strengthening, composite materials, strength, test, control.

Мосты являются одним из важнейших сооружений инфраструктуры и имеют большое значение с точки зрения функционирования транспорта в народном хозяйстве. В настоящее время из-за постоянно растущих нагрузок и воздействий требования к несущим конструкциям моста становятся более высокими: увеличение временной нагрузки, воздействие химических веществ (реагенты и прочие активные вещества), механические и динамические нагрузки. Реконструкция и капитальный ремонт моста требуют больших временных и финансовых затрат, поэтому на первый план выходят специальные современные материалы, в том числе и композиционные, позволяющие производить плановые ремонты без снижения интенсивности движения транспорта [1].

Вид проводимого ремонта влияет на выбор материалов. Выделяют следующие виды ремонтов мостов:

- 1) косметический ремонт бетонных и железобетонных конструкций;
- 2) текущий ремонт (профилактика, ППР), который не требует восстановления несущей способности конструкций;
- 3) устранение дефектов и заделка трещин;
- 4) ремонт конструкций с восстановлением несущей способности;
- 5) усиление конструкций композиционными материалами для восстановления и увеличения несущей способности в сравнении с проектной [2, 3].

При выборе в проекте ремонтных материалов следует действовать согласно нормативным документам Росавтодора Минтранса РФ. Кроме того, все чаще заказчик и проектировщик руководствуются требованиями Европейского стандарта по ремонту бетонных и железобетонных конструкций EN1504 (приказ М-ва транспорта РФ № 160 от 12.11.2007).

В силу экономической эффективности одной из важнейших составляющих является скорость устранения дефектов. Проекты на ре-

монтаж требуют значительных затрат, ощутимой выгоды и объемов строительно-монтажных работ, а также экспертизы заказчика, что приводит к длительным задержкам формирования тендерной документации и замедлению выполнения необходимых реальных работ. Таким образом, возможно несоответствие проектных решений и реального состояния сооружения с учетом его износа. В такой ситуации оптимальным решением является экспресс-ремонт. К экспресс-ремонтам относятся замена верхнего слоя покрытия, точечное усиление несущих конструкций моста с применением композитов, в основном из углеродных составляющих [4].

Базовые материалы для усиления конструкций моста следующие:

1) ламели с предварительным или без предварительного натяжения (тонкие углеродные волокна (фибры), омоноличенные (ламинированные) в полимере в виде жестких полос или пластин) (рис. 1, а);

2) холсты (гибкая ткань с одно- или двунаправленным расположением волокон из углеродных нитей в плоской 2D- и 3D-моделях) (рис. 1, б) [2, 5].

Современная технология усиления композитами была реализована на одном из объектов в Пермском крае – мосту через реку Тишковку в 2004 г.

Данный объект находится на расстоянии 93 км от автомобильной дороги Кукуштан – Чайковский в Осинском районе Пермского края. Пролетные строения моста изготовлены по типовому проекту (выпуск 56 (д), инв. № 147/2). Продольная схема моста – 4×11,36 м. В поперечном сечении – 5 балок (рис. 3).



а



б

Рис. 1. Композиционные материалы: а – ламели; б – холсты



Рис. 2. Общий вид моста через реку Тишковку в Пермском крае

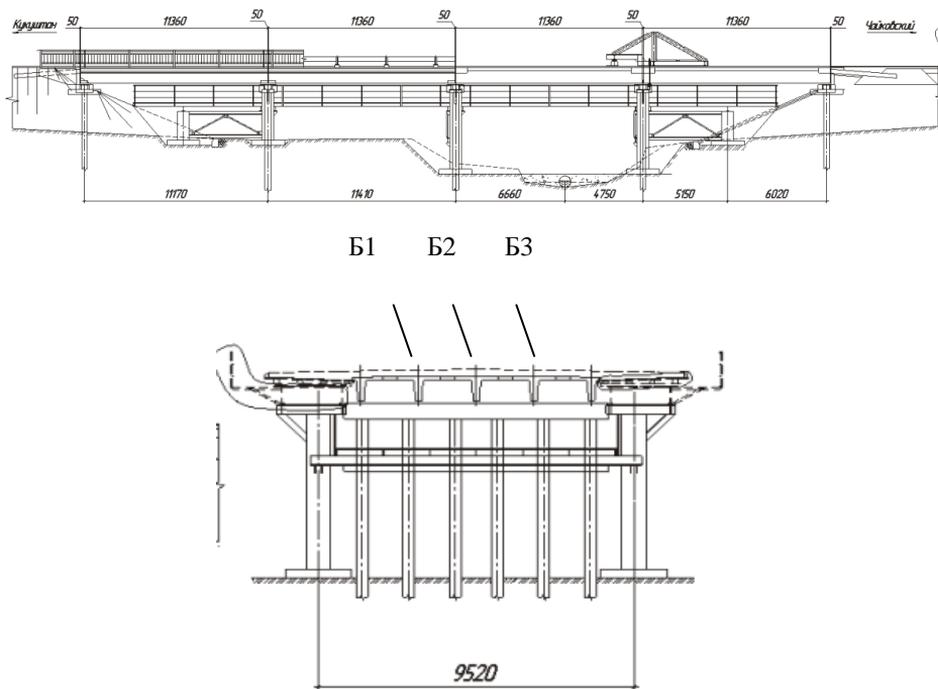


Рис. 3. Продольное и поперечное сечения моста

Согласно рабочему проекту были выполнены следующие основные работы:

- 1) ремонт поверхностей крайних балок пролетных строений для подготовки наклейки композиционных материалов;
- 2) устройство на крайние балки пролетных строений углепластиковых материалов;
- 3) устройство накладной плиты, что позволило увеличить габарит проезжей части моста до 4 м.

Основные элементы проектного композитного усиления были применены на данном мосту, а именно:

- ламели – углепластик сечением 1,2×80 мм ($E = 165$ ГПа);
- анкерный углеродный холст.

При вводе объекта в эксплуатацию проводилась предприемочная диагностика, а начиная с 2005 г. – регулярные ремонты в разные сезонные периоды (в диапазоне температур окружающего воздуха от -42 до $+35$ °С). Для определения соответствующей расчетной схемы пролетного строения проектным решением заказчиком проводились статические испытания моста в 2009 г. (рис. 4). Был задействован один груженный автосамосвал КамАЗ общей массой 23 тс. Во время статических испытаний, проводимых по пяти схемам загрузки с перестановкой испытательной нагрузки поперек пролетного строения, измерялись прогибы в балке Б1 (усиленной композитами) и в балках Б2, Б3 (без композитов) по симметричной схеме (см. рис. 3). В рамках испытания была доказана совместная работа композиционных материалов с пролетными строениями согласно проекту [6].



Рис. 4. Статические испытания моста, усиленного композиционными материалами

В рамках проекта также были отработаны особенности усиления железобетонных конструкций композитными материалами на температурно-влажностные параметры с образованием точки росы. Работы на объекте были запрещены при устройстве композиционных материалов в следующих случаях:

- 1) при температуре воздуха выше точки образования росы менее чем на 30 °С;

2) при влажности воздуха более 80 % и температуре воздуха менее +50 °С [7–9].

В соответствии со стандартом ИСО 8502-4, если относительная влажность равна 85 % или выше, условия для ремонта считаются критическими, так как температура при этом выше точки росы менее чем на 30 °С. Если относительная влажность воздуха составляет 80 % или температура воздуха на 3,4 °С выше точки росы, то условия для производства работ можно считать благоприятными в течение примерно шести последующих часов. Для исключения конденсации влаги температура ремонтируемой поверхности должна быть по крайней мере на 30 °С выше точки росы во время выполнения работ по ремонту железобетонных конструкций мостов. Точка росы определялась согласно параметрам, представленными в табл. 1, по измеренным значениям температуры и относительной влажности воздуха (СТП 09-09-03-05). Для выполнения сроков производственных работ с учетом образования точки росы подрядная организация соорудила тепляки на мосту с последующим прогревом конструкции.

Таблица 1

Соотношение температуры окружающего воздуха и температуры точки росы при определенной относительной влажности

Температура окружающего воздуха, °С	Образование точки росы, °С			
	Относительная влажность, %			
	65	75	85	95
+30	+21,0	+24,2	+27,2	+29,7
+20	+12,2	+14,6	+17,1	+19,3
+10	+3,6	+5,6	+7,6	+9,4
+6	0	+1,9	+3,6	+5,2

Контроль качества проведения работ по ремонту и усилению конструкций вышеназванного моста композиционными материалами осуществлялся линейными ИТР строительного участка с привлечением ОТК, а также представителями заказчика при выполнении контрольных испытаний [10] (табл. 2).

Важной составляющей пооперационного процесса контроля данной технологии на мосту являлось испытание композиционных материалов на адгезию, для которой составлялся отдельный акт испытаний.

Таблица 2

Виды контроля, выполненного в процессе работ на объекте

Вид контроля	Наименование подразделений	Нормативная документация	Метод контроля	Приборы и инструменты	Установленная на производстве периодичность проведения испытаний	Место регистрации результатов контроля
1. Операционный						
Контроль качества работ по подготовке поверхности под наклейку композиционных материалов	ОТК, строительный участок	Требования данного СТП, проекта	Измерительный	Технический термометр по ГОСТ 2823-73	Каждая конструкция	Общий журнал работ, журнал клевого покрытия
Контроль поверхности под наклейку композиционных материалов	Строительный участок, ОТК, представитель заказчика	Требования данного СТП, проекта, испытания согласно ГОСТ 26589-94	Измерительный, визуально	Прибор – адгезиометр ПСО-10 МГ4	Каждая конструкция	Акт испытаний, акт освидетельствования скрытых работ
2. Приемочный						
Приемка качества наклеенного композиционного материала	Строительный участок, ОТК, представитель заказчика	Требования данного СТП, проекта	Измерительный, визуально	Металлическая рулетка по ГОСТ 7505-89, измерительная рулетка по ГОСТ 166-89, штангенциркуль	Каждая конструкция	Акт промежуточной приемки ответственных конструкций

Практика показала, что в результате усиления железобетонных конструкций композитными материалами снижаются напряжения в арматуре и уменьшается ширина раскрытия трещин. Конструкции, усиленные композитными материалами, проявляют высокую устойчивость к динамическим, в частности тектоническим, нагрузкам.

Подводя итог сказанному, можно подчеркнуть экономическую эффективность ремонта искусственных сооружений с применением композитных материалов, что позволяет при меньших, по сравнению с реконструкцией, расходах обеспечить восстановление работоспособности искусственных сооружений, а также обеспечить пропуск современных нагрузок.

Список литературы

1. Смердов Д.Н. Оценка несущей способности железобетонных пролетных строений мостов, усиленных композитными материалами: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2010. – 24 с.
2. Неволин А.П., Богоявленский Н.А., Сырков А.В. Эксплуатация мостов: учеб.-метод. пособие. Ч. 1. Особенности эксплуатации железобетонных конструкций мостов. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 173 с.
3. Усиление железобетонных балочных пролетных строений автодорожных мостов. Обзорная информация. – М.: ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, 1987. – Вып. 2. – 55 с.
4. Осипов В.О., Кузьмин Ю.Г. Содержание, реконструкция, усиление и ремонт мостов и труб. – М.: Транспорт, 1996. – 471 с.
5. Савчинский Б.В. Усиление автодорожных железобетонных мостов композиционными материалами // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетров. нац. ун-та железнодорож. транспорта. – 2010. – № 34. – С. 147–149.
6. Овчинников И.Г. Вопросы усиления железобетонных конструкций композитами: натурные исследования усиления железобетонных конструкций композитами, возникающие проблемы и пути их решения [Электронный ресурс] // Наукоеведение. – 2012. – № 4. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/8tvn412.pdf> (дата обращения: 18.04.2017).
7. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. – М.: ГУП «НИИЖБ»: ИнтерАква, 2006. – 48 с.
8. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами / Науч.-исслед. ин-т высокопрочных систем усиления, «ИНТЕР/ТЭК». – Екатеринбург, 2010. – 69 с.
9. Усиление железобетонных конструкций автомобильных мостов композитными материалами [Электронный ресурс] / Ю.Г. Хаютин, В.Л. Чернявский, Е.З. Аксельрод [и др.]. – URL: http://www.interaqua.biz/stat_8.pdf (дата обращения: 18.04.2017).
10. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.В. Внешнее армирование железобетонных конструкций композиционными материалами. – М.: Стройиздат, 2007. – 184 с.

References

1. Smerdov D.N. Otsenka nesushchei sposobnosti zhelezobetonnykh proletnykh stroenii mostov, usilennykh kompozitnymi materialami [Evaluation of

bearing capacity of reinforced concrete span structures of bridges, reinforced composite materials]. Abstract of Ph.D. Thesis. Novosibirsk, 2010. 24 p.

2. Nevolin A.P., Bogoiavlenskii N.A., Syrkov A.V. Eksploatatsiia mostov. Osobennosti eksploatatsii zhelezobetonnykh konstruksii mostov [The operation of the bridges. Part 1. Features of operation of reinforced concrete structures of bridges]. Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2012. 173 p.

3. Usilenie zhelezobetonnykh balochnyi proletnykh stroenii avtodorozhnykh mostov. Obzornaia informatsiia [Strengthening of reinforced concrete beam girders of road bridges. Overview information]. Moscow: TsBNTI Minavtodora RSFSR, 1987, Iss. 2. 55 p.

4. Osipov V.O., Kuz'min Iu.G. Soderzhanie, rekonstruktsiia, usilenie i remont mostov i trub [Maintenance, reconstruction, strengthening and repair of bridges and pipes]. Moscow: 1996. 471 p.

5. Savchinskii B.V. Usilenie avtodorozhnykh zhelezobetonnykh mostov kompozitsionnymi materialami [Strengthening of road reinforced concrete bridges with composite materials]. *Nauka i progress transporta. Vestnik Dnepropetrovskogo natsional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta*, 2010, no. 34, pp. 147-149.

6. Ovchinnikov I.G. Voprosy usileniia zhelezobetonnykh konstruksii kompozitami: naturnye issledovaniia usileniia zhelezobetonnykh konstruksii kompozitami, vznikaiushchie problemy i puti ikh resheniia [Use the composites for strengthening reinforced concrete: field investigations of reinforced concrete strengthened composites, problems and solutions]. *Internet-zhurnal "NAUKOVEDENIE"*, 2012, no. 4, available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/8tvn412.pdf> (accessed 18 April 2017).

7. Rukovodstvo po usileniiu zhelezobetonnykh konstruksii kompozitnymi materialami [Guidelines for reinforcing reinforced concrete structures with composite materials]. Moscow: GUP «NIIZhB», OOO «InterAkva», 2006. 48 p.

8. Rukovodstvo po usileniiu zhelezobetonnykh konstruksii kompozitnymi materialami [Leadership of strengthening reinforced concrete structures with composite materials], OOO «Nauchno-issledovatel'skii institut vysokoprochnykh sistem usileniia» «INTER/TEK», Ekaterinburg, 2010. 69 p.

9. Khaiutin Iu.G., Cherniavskii. V.L., Aksel'rod E.Z. et al. Usilenie zhelezobetonnykh konstruksii avtomobil'nykh mostov kompozitnymi materialami [Strengthening of reinforced concrete structures of automobile bridges with composite materials], available at: http://www.interaqua.biz/stat_8.pdf (accessed 18 April 2017).

10. Shilin A.A., Pshenichnyi V.A., Kartuzov D.V. Vneshnee armirovanie zhelezobetonnykh konstrukttsii kompozitsionnymi materialami [External reinforcement of reinforced concrete structures with composite materials]. Moscow: Izdatel'stvo «Stroiizdat», 2007. 184 p.

Получено 18.05.2017

Об авторах

Кунгурова Александра Валерьевна (Пермь, Россия) – студентка, кафедры «Автомобильные дороги и мосты», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: alexkungur333@gmail.com).

Пермякова Алёна Юрьевна (Пермь, Россия) – студентка, кафедры «Автомобильные дороги и мосты», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: permyakova.ir@mail.ru).

Научный руководитель

Богоявленский Николай Анатольевич (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры «Автомобильные дороги и мосты», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: nb1848@yandex.ru).

About the authors

Aleksandra V. Kungurova (Perm, Russian Federation) – Student, Motor Roads and Bridges Department, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: alexkungur333@gmail.com).

Alena Iu. Permiakova (Perm, Russian Federation) – Student, Motor Roads and Bridges Department, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: permyakova.ir@mail.ru).

Scientific adviser

Nikolai A. Bogoiavlenskii (Perm, Russian Federation) – Senior Lecturer, Motor Roads and Bridges Department, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: nb1848@yandex.ru).