УДК 69.059.3

© В. В. Павлов, канд. техн. наук, доцент

© Е. В. Хорьков, ассистент

(Казанский государственный архитектурно-строительный университет)

E-mail: newtura@mail.ru, evg-ne@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-6-65-70

© V. V. Pavlov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© E. V. Khor'kov, assistant lecturer

(Kazan State University of Architecture and Engineering)

E-mail: newtura@mail.ru, evg-ne@mail.ru

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КАМЕННЫХ АРОК И СВОДОВ

STRUCTURAL REHABILITATION OF MASONRY ARCHES AND VAULTS

Поставлена цель разработать новые конструктивно-технологические решения по восстановлению работоспособности поврежденных и неповрежденных каменных сводчатых перекрытий и арок. Рассматриваются существующие методы усиления и новые теоретические разработки методов усиления каменных арок и сводов с сохранением их внешнего вида, с использованием стальных и композитных материалов. Предложенные методы учитывают действительную работу распорных систем, что позволяет значительно снизить материалоемкость методов усиления по сравнению с аналогами. Также некоторые из предложенных методов усиления позволяют сохранить внешний вид усиливаемых конструкций.

Ключевые слова: арка, свод, растворный шов, углеволоконные материалы, внешний вид, усиление.

The present research is aimed at development of new methods for strengthening of damaged and not damaged masonry vaults and arches. Currently existing methods of reinforcement and new theoretic insights into the methods of strengthening of masonry arches and vaults with preservation of their appearance and application of steel and composite materials are highlighted. The proposed methods take into consideration the real work of spacing systems, which allows considerably cutting the specific consumption of materials used for strengthening in comparison with analogous methods. Some of the proposed methods of strengthening allow preserving the appearance of the reinforced structures.

Keywords: masonry arch, vault, mortar joint, carbon fiber materials, appearance, reinforcement.

Восстановление работоспособности каменных распорных конструкций, в частности арок и сводов, становится все более актуальным вопросом в связи с увеличением объемов реконструкции и реставрации зданий и сооружений старой постройки.

Проведенные осмотры технического состояния каменных распорных конструкций перекрытий зданий бывшей гостиницы «Казань» по ул. Баумана, 9, кафе «Сказка» по ул. Баумана, 58, аптеки «Татхимфармпрепараты» по ул. Баумана, 49, зданий по Профсоюзной ул., 5 и ул. Мусы Джалиля, 16 в г. Казани и др. (рис. 1, 2) показали, что в большинстве случаев их техническое состояние характеризуется как ограниченно работоспособное и реже работоспособное, что свя-

зано с нарушениями условий их эксплуатации, изменением схемы работы конструкций ввиду подвижек опор, повреждений затяжек, контрофоров и т. п.

Статистические данные, полученные при проведении осмотров, позволили систематизировать основные дефекты и повреждения исследуемых конструкций, а также возможные причины их возникновения [1], которые согласуются с теоретическими исследованиями [2].

В работах различных авторов и творческих коллективов [2–5] рассматриваются конструктивные и конструктивно-технологические решения (рис. 3, 4) восстановления работоспособности конструкций арок и сводов. В большинстве своем они не в полной мере учитывают особен-

Рис. 1. Кирпичное сводчатое перекрытие здания по Профсоюзной ул., 5 (Казань)

Рис. 2. Сводчатое перекрытие здания по ул. Баумана, 9 (Казань)

ности действительной работы (расчетной схемы) рассматриваемых конструкций [1, 2, 6], а также нарушают внешний вид усиливаемых конструкций, что не всегда допустимо ввиду необходимости сохранения архитектурной выразительности распорных конструкций.

Рис. 3. Усиление сводов: слева — холстами из углеволокна по верхней плоскости, справа — торкрет-бетоном по нижней плоскости

Целью проводимых исследований ставилась разработка конструктивно-технологических решений, обеспечивающих работоспособность каменных сводов и обеспечивающих при этом сохранение их внешнего вида.

В рамках исследования были поставлены следующие задачи:

1. Разработка конструктивно-технологических решений, обеспечивающих минимальное воздействие на усиливаемые конструкции.

2. Система усиления должна учитывать действительную схему работы конструкций для снижения ее материалоемкости при обеспечении требуемой несущей способности.

3. Разрабатываемые конструктивные решения не должны нарушать внешнего вида усиливаемых конструкций (что особенно актуально для зданий и сооружений, относящихся к памятникам истории, архитектуры, и т. п.).

С учетом поставленных задач были разработаны технические решения, позволяющие восстановить работоспособность арок и сводов, имеющих повреждения, а для неповрежденных конструкций распорных перекрытий — позволяющие увеличить их несущую способность.

Учитывая особенность работы распорных конструкций перекрытий, согласно [1, 2], их действительную схему работы можно представить, как показано на рис. 5. При воздействии фактора повреждения как горизонтальной подвижки опоры расчетная схема изменяется и приобретает вид криволинейной балки, при этом изменяется и форма эпюры изгибающего момента [7]. При такой подвижке опоры в элементах арки появляются трещины (рис. 6), что введет к расчленению арки на отдельные элементы. В свою

Рис. 4. Усиление лоткового свода углеволоконными материалами по нижней плоскости

Рис. 5. Расчетная схема распорной конструкции (слева); эпюра изгибающих моментов в арке от равномерно распределенной нагрузки (справа)

Рис. 6. Трехшарнирная арка: деформация при подвижке опор

очередь, согласно [2], это приводит к появлению новых шарниров в конструкции арки.

Учитывая особенности действительной работы распорных конструкций, предложены следующие технические решения восстановления их работоспособности (рис. 7, 8).

На рис. 7 показано техническое решение, обеспечивающее восстановление работоспособности поврежденных сводчатых каменных перекрытий здания, которое заключается во внедрении системы стальных полос и швеллеров в конструкцию свода. Через каменные стены,

на которые опирается свод, проходят стержни арматуры. Снаружи стены арматура имеет анкерное устройство. Через сквозные отверстия в своде проходят отрезки стержней с резьбой (шпильки). Вдоль свода снизу и сверху установлены стальные швеллеры, которые соединены со шпильками. На верхней поверхности свода в области пята и на нижней поверхности в области щелыги расположены стальные полосы. Под стальными полосами и в места прохода стержней через стены вводится расширяющийся цементно-песчаный раствор [8].

На рис. 8 показано техническое решение, обеспечивающее восстановление работоспособности поврежденных распорных перекрытий (арок и сводов), заключающееся во внедрении в конструкцию свода армирующего материала на основе однонаправленных композиционных волокон. Устройство учитывает действительную схему работы конструкции. Каменное сводчатое перекрытие на верхней поверхности свода (в области пята) и нижней (в области щелыги) имеет штробы. Концы штроб в зоне «нулевого момен-

Рис. 7. Техническое решение с использованием стальных опор и стальных затяжек

Рис. 8. Техническое решение с использованием углеволоконных стержней

та» соединены отверстием в своде. Поверхности штроб покрыты праймером и заполнены адгезивом (клеевым составом). В штробах находится армирующий элемент, который проходит через весь свод без разрывов и нахлестов [9].

Предложенные выше технические решения усиления арок и сводов позволяют восстановить их работоспособность, но при этом внешний вид усиливаемых конструкций не сохраняется, чем значительно ограничивается область использования этих решений.

В целях сохранения внешнего облика усиливаемых конструкций арок и сводов предлагается использовать устройство сетчатого армирования (рис. 9), суть которого заключается в установке армирующих волокон в тело усиливаемой конструкции в предварительно расшитые растворные швы. Каменное сводчатое перекрытие на верхней поверхности пят имеет штробы. Армирующий элемент расположен в штробах и в швах кладки на нижней поверхности. Свод имеет сквозные отверстия, позволяющие про-

Рис. 9. Техническое решение с использованием сетчатого армирования

вести армирующий материал через весь свод без разрывов. Для совместной работы свода и армирующего материала поверхности штроб, швы и отверстия покрыты праймером и заполнены адгезивом [10]. Это позволяет восстановить работоспособность распорной конструкции и сохранить ее внешний вид.

Таким образом, разработаны и представлены новые конструктивно-технологические решения по усилению каменных сводчатых перекрытий. Предложенные методы учитывают действительную работу распорных систем, что позволяет значительно снизить материалоемкость методов усиления по сравнению с аналогами. Также метод устройства сетчатого армирования позволяет сохранить внешний вид усиливаемых конструкций.

Библиографический список

1. Хорьков Е. В. Исследование напряженно-деформированного состояния каменных сводчатых и купольных перекрытий при их усилении: дис. ... магистра техники и технологии. Казань, 2011.

2. Бессонов Г. Б. Исследование деформаций, расчет несущей способности и конструктивное укрепление древних распорных систем. М.: Союзреставрация, 1989. 171 с.

3. Мальганов А. И., Плевков В. С. Восстановление и усиление ограждающих строительных конструкций зданий и сооружений. Томск: Печатная мануфактура, 2002. 391 с.

4. Белов В. В., Деркач В. Н. Экспертиза и технология усиления каменных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 7. С. 14–20.

5. Corradi M., Borri A., Castori G., Coventry K. Experimental Analysis of Dynamic Effects of FRP Reinforced Masonry Vaults // Materials. 2015. Vol. 8 (12). Pp. 8059–8071.

6. Павлов В. В., Хорьков Е. В. Экспериментальные исследования работы усиленных кирпичных арок при горизонтальной подвижке опор // Известия КГАСУ. 2014. № 2. С. 90–96.

7. Соколов Б. С., Павлов В. В., Хорьков Е. В. Экспериментальные исследования работы кирпичных арок при вертикальной подвижке опор // Известия КГАСУ. 2014. № 4. С. 158–164.

8. Патент РФ № 2016117337, 04.05.2016. Павлов В. В., Хорьков Е. В. Устройство усиления каменных сводчатых перекрытий здания. Опубл. 06.03.2017. Бюл. № 7.

9. Патент РФ № 2016117338, 04.05.2016. Павлов В. В., Хорьков Е. В. Устройство усиления каменных сводчатых перекрытий здания // Опубл. 06.03.2017. Бюл. № 7.

10. Патент РФ № 2017101735, 19.01.2017. Павлов В. В., Хорьков Е. В. Устройство усиления каменных сводчатых перекрытий здания // Опубл. 21.06.2017. Бюл. № 18.

References

1. Khor'kov E. V. *Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kamennykh svodchatykh i kupol'nykh perekrytiy pri ikh usilenii*. Diss. magistra tekhniki i tekhnologii [Research of the intense deformed condition of stone vaulted and dome coverings at strengthening. M. Sci. in Tech. diss.]. Kazan, 2011.

2. Bessonov G. B. *Issledovanie deformatsiy, raschet nesushchey sposobnosti i konstruktivnoe ukreplenie drevnikh raspornykh system* [Research of deformations, calculation of the bearing ability and constructive strengthening of ancient expansion systems]. Moscow, Soyuzrestavratsiya Publ., 1989, 171 p.

3. Mal'ganov A. I., Plevkov V. S. *Vosstanovlenie i usilenie ograzhdayushchikh stroitel'nykh konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy* [Restoration and strengthening of the protecting building constructions of buildings and constructions]. Tomsk, Pechatnaya Manufaktura Publ., 2002, 391 p.

4. Belov V. V., Derkach V. N. *Ehkspertiza i tekhnologiya usileniya kamennykh konstruktsiy* [Examination and

technology of strengthening of stone designs]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal – Engineering-Construction Journal*, 2010, no. 7, pp. 14–20.

5. Corradi M., Borri A., Castori G., Coventry K. Experimental Analysis of Dynamic Effects of FRP Reinforced Masonry Vaults. *Materials*, 2015, vol. 8 (12), pp. 8059–8071.

6. Pavlov V. V., Khor'kov E. V. *Ehksperimental'nye issledovaniya raboty usilennykh kirpichnykh arok pri gorizontальной podvizhke opor* [Pilot studies of the performance of the strengthened brick arches at horizontal displacement of support]. *Izvestiya KGASU – Bulletin of KSUACE*, 2014, no. 2, pp. 90–96.

7. Sokolov B. S., Pavlov V. V., Khor'kov E. V. *Ehksperimental'nye issledovaniya raboty kirpichnykh arok pri vertikal'noy podvizhke opor* [Pilot studies of work of brick arches at vertical displacement of support]. *Izvestiya KGASU – Bulletin of KSUAE*, 2014, no. 4, pp. 158–164.

8. Pavlov V. V., Khor'kov E. V. *Ustroystvo usileniya kamennykh svodchatykh perekrytiy zdaniya* [Design of strengthening of stone vaulted arch coverings of the building]. Patent RF, no. 2016117337, 2016.

9. Pavlov V. V., Khor'kov E. V. *Ustroystvo usileniya kamennykh svodchatykh perekrytiy zdaniya* [Design of strengthening of stone vaulted arch coverings of the building]. Patent RF, no. 2016117338, 2017.

10. Pavlov V. V., Khor'kov E. V. *Ustroystvo usileniya kamennykh svodchatykh perekrytiy zdaniya* [Design of strengthening of stone vaulted arch coverings of the building]. Patent RF, no. 2017101735, 2017.