

Р.Б. ОРЛОВИЧ¹, С.С. ЗИМИН²¹ООО «ПИ Георекострукция», г. Санкт-Петербург, Россия²ФГАУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, Россия

УСТРОЙСТВО СКВОЗНЫХ ПРОЕМОВ В КАМЕННЫХ СВОДАХ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ

Аннотация. Статья посвящена проблеме устройства сквозных проемов в каменных сводах реконструируемых исторических зданий. Необходимость в таких проемах возникает согласно проекту применения в целях размещения и прокладки новых коммуникационных и инженерных систем, например, лифтов, сантехнического оборудования, систем водоснабжения, вентиляции и др. Приводится анализ напряженного состояния модели каменной стены с прямоугольным и круглым проемами, а также влияния анизотропии прочности каменной кладки на ее несущую способность в зоне проемов. Отмечается, что устройство проемов связано с компромиссом между требованиями проекта применения, касающихся размеров, формы и мест расположения проемов в сводах, и условиями их безопасной эксплуатации. С этой целью необходим детальный анализ сложного напряженного состояния сводов с использованием существующих программных комплексов. При этом особое внимание следует обращать на минимизацию растягивающих напряжений, вызывающих трещины особенно в углах прямоугольных проемов. Отмечаются трудности связанные с применением критериев прочности в условиях сложного напряженного состояния сводов в зоне проемов. Приводятся примеры практической реализации сквозных проемов в исторических цилиндрических и крестовых каменных сводах с детальным анализом их напряженного состояния, а также влияния на несущую способность. Подчеркивается, что наиболее оптимальной локализацией проемов являются наименее напряженные участки сводов, например, распалубки вблизи расположенных под ними стенами. Анализируются способы усиления сводов, ослабленных проемами. Предпочтение отдается их армированию либо усилению с помощью железобетонных поясов. Обсуждаются технологические аспекты выполнения проемов. Обращается также внимание на необходимость мониторинга сводов в процессе выполнения проемов.

Ключевые слова: каменные своды, сквозные проемы, несущая способность, способы усиления, мониторинг.

R.B. ORLOVICH¹, S.S. ZIMIN²¹ООО «PI Georekonstrukcia», Saint-Petersburg, Russia²Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia

ARRANGING OF THROUGH OPENINGS IN THE STONE VAULT OF HISTORICAL BUILDINGS

Abstract. The article is devoted to the problem of arranging through openings in the stone vaults of reconstructed building structures. The need for such openings arises in connection with the use of new communication and engineering systems in opening cases and laying, for example, elevators, plumbing equipment, water supply systems, ventilation, etc. An analysis is made of the severity of the state of a stone wall with a rectangular and checked openings, as well as a study of anisotropy the strength of the stone lining on its bearing capacity in the presence of openings. It is noted that the use of the device of openings is possible with a compromise between the requirements of the project, the allowable sizes, shapes and locations of openings in the vaults, and the likelihood of their use. For this purpose, a detailed analysis of the complex acute condition of the vaults using modern software systems is required. In this case, special attention should be paid to minimizing tensile strains that cause cracks,

especially at the corners of rectangular openings. There are cases associated with the detection of violations in difficult conditions of the stress state of blood coagulation in the presence of openings. Use examples of the practical implementation of through openings in the main cylindrical and cross stone vaults with a detailed analysis of their state of sharpness, as well as a study of the bearing capacity. It is emphasized that the most common manifestations of openings are minor tense sections of vaults, for example, stripping due to the proximity of walls under them. The elimination of vaults weakened by openings is analyzed. Preference is given to their reinforcement or reinforcement using reinforced concrete belts. Technological aspects of making openings are discussed. Attention is also drawn to monitoring the progress of openings.

Keywords: stone vaults, through openings, bearing capacity, strengthening methods, monitoring.

Введение

В каменных сводах исторических зданий сквозные проемы в основном устраивались в верхних участках крестово-купольных систем церковных сооружений для световых барабанов. Иногда световые проемы круглой либо овальной формы располагались в лотковых участках этих систем. Значительно реже встречаются проемы в цилиндрических и коробовых сводах. В случае размещения над ними световых барабанов своды утолщались в виде гуртов. В опорных зонах цилиндрических сводов обычно устраивались боковые проемы, которые оформлены в виде распалубок, образованных путем пересечения с основным сводом цилиндрического свода меньшего радиуса [1-5]. Распалубки чаще всего размещались над перемычками оконных либо дверных проемов при расположении верхней точки проема выше пяты свода. Поскольку пяты сводов являются наиболее нагруженными, то их ослабление проемами обычно компенсировалось утолщением каменной кладки [6]. Как показывает практика наличие рассматриваемых проемов редко приводит к аварийным состояниям сводов. Это также подтверждается «живучестью» сводов при образовании в них значительных проемов и выломов в аварийных ситуациях, например, вызванных техногенными катастрофами или военными действиями. В последнее время при реставрации исторических зданий часто возникает необходимость в новых или дополнительных сквозных проемов в сводах. Последнее связано с размещением в соответствии с проектом применения коммуникационных и инженерных сетей, например, лифтов, вентиляционных коробов, систем отопления и т. д. При определенных размерах проемов и мест их расположения своды могут оказаться существенно ослабленными с переходом в неработоспособное и даже в аварийное состояние. Следует отметить, что влияние проемов на несущую способность сводов проявляется не только в уменьшении размеров их рабочего сечения, но и возможностью образования трещин. Последние являются следствием перераспределением силовых потоков в зоне проемов и, как следствие, концентрации напряжений. При этом, учитывая анизотропию прочностных свойств каменной кладки, ее участки в зоне проемов могут оказаться значительно перегруженными. На рисунке 1 а представлено распределение главных сжимающих и растягивающих напряжений в фрагменте равномерно сжатой каменной стены с квадратным и круглым проемами. В зоне последних траектории главных сжимающих напряжений σ_2 резко изменяют направление, концентрируясь в угловых зонах квадратного проема и боковой поверхности круглого. Это приводит к появлению перпендикулярных силовому потоку растягивающих напряжений σ_1 . Существенным является то, что сжимающие напряжения отклоняются в направлении наименьшего сопротивления сжатию кладки (рисунок 2 б), вызывая ее перенапряжение [7, 8]. Наиболее опасными, однако, являются растягивающие напряжения σ_1 , сопротивления кладки которым значительно ниже чем при сжатии. Именно указанные напряжения могут привести к образованию вертикальных либо косых трещин [9-11]. Первые характерны для участков проема, расположенных вдоль образующей свода, и связаны с действием растягивающих напряжений по перевязанным сечениям каменной кладки. Косые трещины возникают в углах проема, где растягивающие напряжения действуют под углом к горизонтальным растворным

швам, в направлении которого сопротивление кладки растяжению является минимальным (кривая 1 на рисунок 1 б).

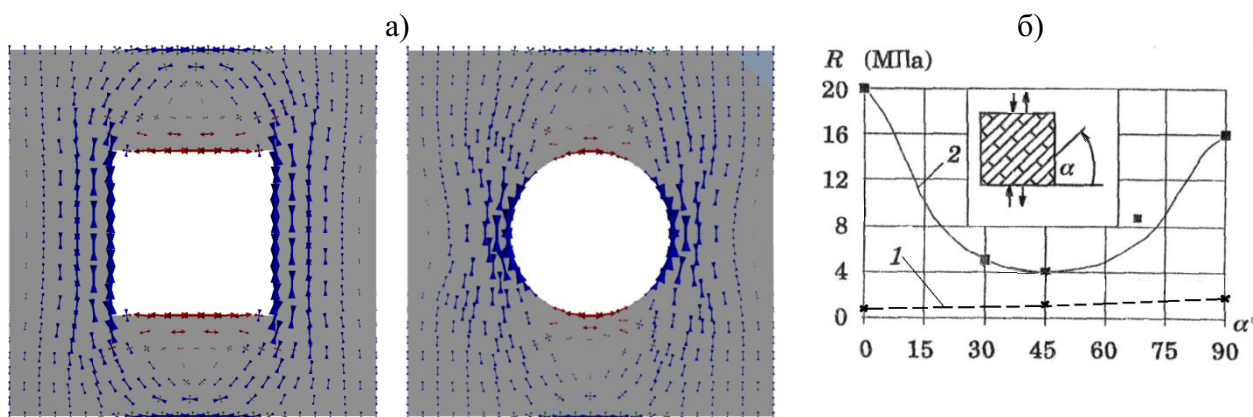


Рисунок 1 - Траектории главных сжимающих σ_2 (синяя маркировка) и растягивающих σ_1 (красная маркировка) напряжений в равномерно сжатой каменной стене с квадратным и круглым проемами (а) и зависимости (б) сопротивления каменной кладки от угла направления α растягивающих (кривая 1) и сжимающих усилий (кривая 2) относительно горизонтальных растворных швов

Рассмотренное напряженное состояние сжатого фрагмента плоской стены может существенно отличаться от напряженного состояния криволинейных сводов, сечения которых кроме сжимающих усилий испытывают действие изгибающих моментов, вызывающих растягивающие напряжения. Последние, суммируются с растягивающими напряжениями в зоне проемов, предопределяя более раннее появление трещин. Особенно это касается опорных участков сводов, вблизи которых устраиваются проемы для прокладки инженерных сетей. Задача усложняется при устройстве проемов в сводах с уже существующими историческими проемами.

Примеры реализации проемов

Демонстрацией реализации изложенных положений могут быть каменные своды исторических зданий комплекса Новая Голландия в Санкт-Петербурге, возведенных в 18-19 веках для производственных нужд Адмиралтейской судовой верфи. В связи с реконструкцией зданий и их адаптацией для сферы услуг возникла необходимость в устройстве проемов в существующих сводах. Проблема заключалась в поиске компромисса между требованиями проекта применения, касающихся размеров, формы и мест расположения новых проемов в сводах и условиями их безопасной эксплуатации. С этой целью кроме экспертного анализа технического состояния сводов авторами были выполнены численные исследования их напряженно-деформированного состояния и несущей способности при различных комбинациях размеров и месторасположения проектируемых проемов. Следует отметить, что выбор соотношения сторон в прямоугольном проеме для получения минимального коэффициента концентрации напряжений является одной из типичных задач конструирования. В результате испытаний изъятых со сводов камней и раствора установлена их марка соответственно М75 и М25. На рисунке 2 представлен поперечный разрез и план одного из цилиндрических сводов междуэтажного перекрытия, в опорных зонах которого имелись распалубки с полукруглыми проемами. Согласно проекта применения возникла необходимость в устройстве проема размером в плане 90х420 см для прокладки сантехнического оборудования. Из анализа напряженного состояния свода следовало, что наиболее рациональным является ориентация длинной стороны проема параллельно траектории главных сжимающих напряжений в своде, т.е. перпендикулярно его продольной оси. При этом одна из более коротких сторон с целью предотвращения ослабления опорных пят свода должна совмещаться с одной из распалубок (рисунок 2 б).

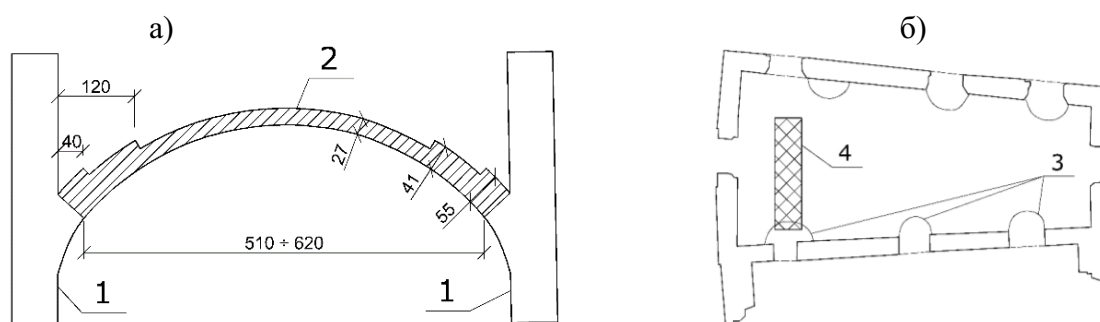


Рисунок 2 - Поперечный разрез (а) и план (б) цилиндрического каменного свода междуэтажного перекрытия с проемом для инженерных сетей:

1 – каменные стены, 2 – каменный свод, 3 – распалубки, 4 – сквозной проем

На рисунке 3 представлена конечно-элементная расчетная схема рассматриваемого свода с видом реализованного проема, а также напряженное состояния свода в зоне проема. Установлено, что наличие проема до 30 % увеличивает основные сжимающие напряжения в замковых сечениях своде, величина которых $\sigma = 0,075$ МПа, однако, не превышает сопротивления сжатию каменной кладки перпендикулярно раствором швам $R_c = 1,1$ МПа. С другой стороны, на противоположном участке проема сжимающие усилия существенно меняют свое направление относительно длинных сторон проема. Это вызывает растягивающие напряжения, ориентированные вдоль короткой стороны свода, а также под углом к ней в угловых зонах. Однако значения этих напряжений $\sigma = 0,05$ МПа почти в 2 раза ниже предела прочности кладки на растяжение по перевязанным швам $R_{t,90} = 0,11$ МПа и в 1,2 раза под углом 45° к горизонтальным раствором швам.

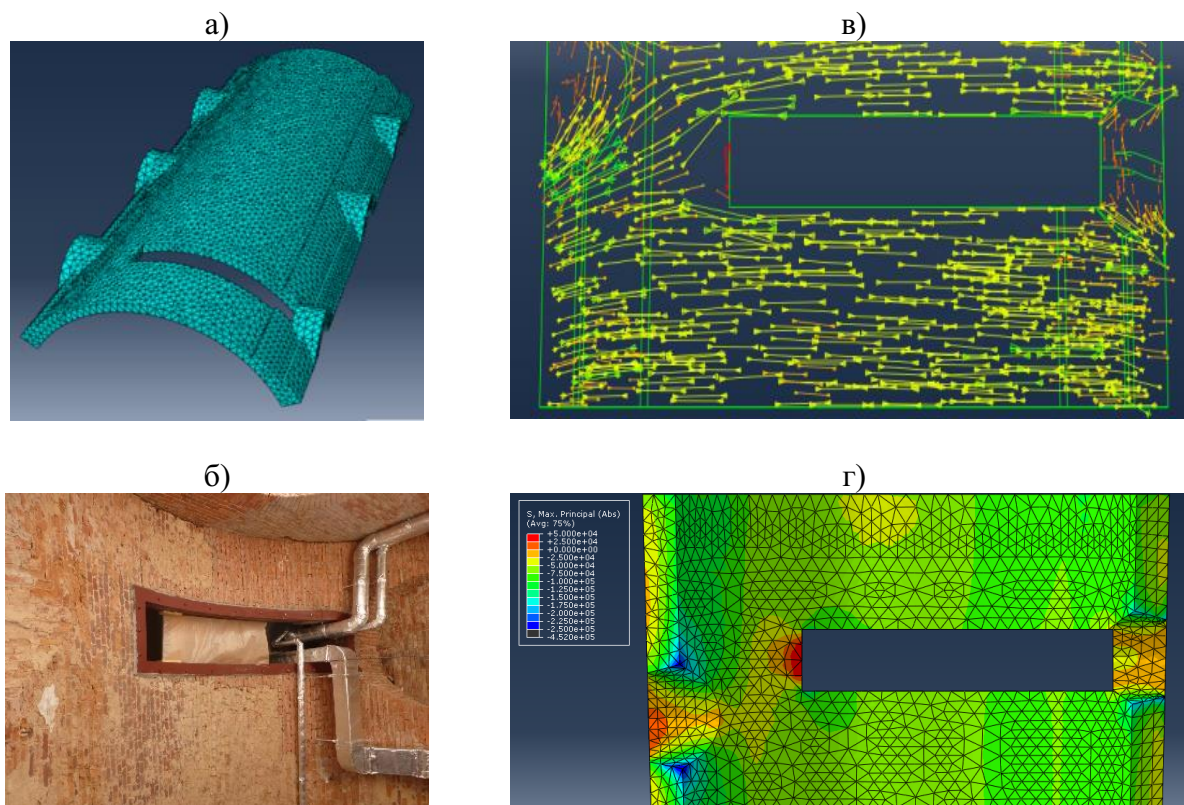


Рисунок 3 - Конечно-элементная расчетная модель цилиндрического свода (а) с видом реализованного проема (б) и траекториями (в) и изополями (г) главных напряжений на нижней поверхности свода в зоне проема

Более сложным является устройство проемов в крестовых сводах, состоящих из пересекающихся под прямым углом двух цилиндрических сводов. Наиболее нагруженными в таких сводах являются диагональные ребра, образованные пересечением распалубок [1]. Опираение таких сводов осуществляется только в их угловых зонах посредством опорных пят. В этих зонах своды обычно имеют утолщения, а их соединения по высоте с примыкающими стенами либо колоннами осуществляется в штрабу. При этом между стенами и щековыми участками распалубок устраивается зазор. Поскольку примыкающие к стенам щековые участки распалубок являются менее нагруженными (рисунок 4 а), то именно в этих участках устройство проемов является наиболее рациональным (рисунок 4 б). В то же время устройство проемов в угловых опорных пятых является недопустимым из-за их ослабления (рисунок 4 в), что не редко является причиной обрушения свода.

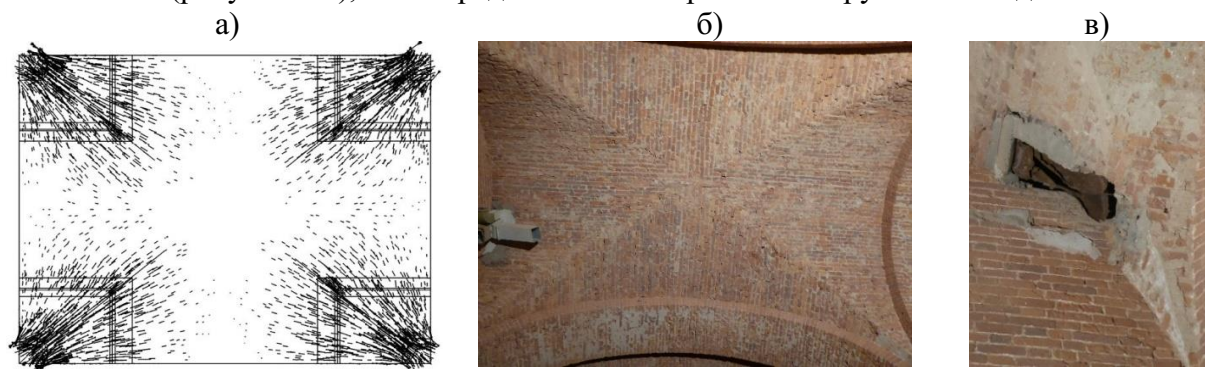


Рисунок 4 - Траектории главных сжимающих напряжений в крестовом своде (а) с видом проемов в распалубке (б) и в зоне опорной пяты (в)

При реконструкции исторических зданий часто возникает необходимость в устройстве оконных проемов в каменных сводах чердаков. Примером тому является цилиндрический свод криволинейного в плане очертания, расположенный на верхнем этаже каменного здания под двускатной стропильной кровлей со светопрозрачными участками. Пролет свода составляет 7,5 м, стрела подъема 2,2 м, а толщина в шельге 27 см (рисунок 5 а). В опорных зонах свода располагаются исторические проемы боковых распалубок, а в пролете технологические проемы для вентилиции. Кроме того в своде имелся проем №3 (рисунок 6), образованный при попадании снаряда во время блокады Ленинграда и который был заполнен каменной кладкой на квадратном плане. Оценка напряженного состояния свода от действия его собственного веса и каменной забутовки пазух осуществлялось с учетом наличия проектируемых и существующих проемов (рисунок 5 а). При этом также учитывалось влияние проема №3 поскольку его заполнение каменной кладкой во время восстановительных работ осуществлялась без разгрузки свода, вследствие чего заполнение не могло включаться в работу свода.



Рисунок 5 - Расчетная конечно-элементная схема свода (а) с видом выполненных оконных проемов (б)

На рисунке 6 представлена горизонтальная развертка свода с изополями растягивающих напряжений, полученных расчетом с помощью программного комплекса SCAD. Из их анализа следует, что наибольшая концентрация растягивающих напряжений имеет место в угловых зонах проемов и вдоль их горизонтальных сторон, перпендикулярных главным сжимающим напряжениям в своде. Поскольку величина растягивающих напряжений в угловых зонах проемов превосходила расчетное сопротивление растяжению каменной кладки, то возникла необходимость в усилении свода.

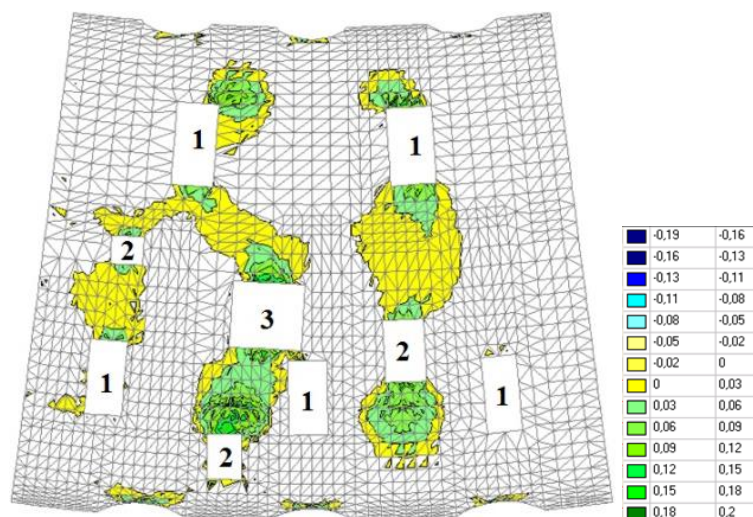


Рисунок 6 - Концентрации растягивающих напряжений в зоне проемов свода:
 1 - новые оконные проемы размером 105х210 см, 2 - существующие проемы вентиляции,
 3 - проем образованный в результате артиллерийского обстрела во время войны

Из известных способов усиления каменных сводов [12-17] использованы наиболее приемлемые с технологической точки зрения, а также с учетом требований [18, 19]. Наиболее напряженный участок свода в зоне вычиненного проема №3 был усилен железобетонным поясом, расположенным с наружной поверхности свода между его опорами [15]. Кроме того, было выполнено армирование угловых зон и горизонтальных участков проемов с помощью стержней, вклеенных в выбранные в каменной кладке борозды. При этом направление армирования совпадало с ориентацией главных сжимающих напряжений в зоне проемов, т.е. перпендикулярно главным растягивающим напряжениям. Что касается металлического обрамления проемов (рисунки 3 б и 5 б), обычно устраиваемого без разгрузки свода, то оно может оказывать разгружающий эффект лишь от действия сжимающих напряжений вдоль кривой свода, вызванных дополнительной нагрузкой. При этом, однако, металлическое обрамление не препятствует развитию наиболее опасных растягивающих напряжений, а при определенных условиях, например, нагревании в зоне оконных проемов от действия солнечной радиации (рисунок 5 б) будет способствовать увеличению этих напряжений и, как следствие, образованию трещин, особенно в угловых зонах прямоугольных проемов.

Технологические аспекты выполнения проемов

Перед устройством проемов во избежание возможной аварийной ситуации своды должны подпираться кружалами (рисунок 7 а). Следует избегать устройства проемов путем разборки каменной кладки с применением перфораторов. Вместо ударных механизмов следует использовать специальные цепные либо сабельные пилы. При этом во избежание подрезок угловых зон последние предпочтительно выполнять скругленными, как это было принято при возведении сводов исторических зданий [2]. Закругление углов можно

выполнять путем их просверливания буровыми коронками с последующей прорезкой прямолинейных участков между ними. В соответствии с рисунком 1 а наиболее оптимальным является устройство проемов круглой формы с помощью буровых коронок.



Рисунок 7 – Подпираание свода кружалами в местах устройства проема (а) с установкой измерительных приборов для отслеживания перемещений (деформаций) во времени (б)

После устройства проемов необходимо вести отслеживание деформаций свода во времени (инструментальный мониторинг), что связано с несовершенством его расчетных моделей, в которых не учитываются неоднородность каменной кладки и ее скрытые дефекты в виде деградации, трещин и др. Кроме того при оценке несущей способности свода ослабленного проемами, в зоне которых действует сложное напряженное состояние, проблемным является применение соответствующих критериев прочности. Это связано с тем, что многие критерии в условиях сложного напряженного состояния требуют самостоятельного определения прочностных показателей каменной кладки как анизотропного материала, которые отсутствуют в нормативных документах [20-22]. Инструментальный мониторинг сводов должен выполняться в процессе раскружаливания свода, когда происходит перераспределение напряжений между ослабленными проемами участками свода и его остальной частью. В процессе мониторинга необходимы измерения перемещений (относительных деформаций) в зоне проемов, а также регистрация признаков образованием трещин в каменной кладке. С этой целью могут использоваться прогибомеры, датчики деформаций, установленные в наиболее напряженных зонах проемов (рисунок 7 б), а также на элементах усиления, например, арматуре.

Выводы

Устройство проемов в исторических каменных сводах является ответственной и сложной инженерной задачей, ошибочное решение которой может привести к их обрушению. Обоснованию оптимальных форм и локализации проемов в сводах должны предшествовать детальный теоретический и расчетный анализ напряженного состояния и прочности каменной кладки в зоне проемов. Наиболее опасными являются растягивающие напряжения, которые могут быть причиной образования трещин. Предотвращение последних возможно путем армирования свода в зоне проемов и его утолщения с помощью железобетонных поясов. Проведение работ по устройству проемов в сводах необходимо вести в сопровождении с отслеживанием реализующихся в них перемещений и деформаций. Последнее в виде мониторинга также требуется в течение некоторого времени после устройства проемов, например, в процессе дополнительного нагружения свода постоянными и временными нагрузками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование деформаций, расчет несущей способности и конструктивное укрепление древних распорных систем. Методические рекомендации. М., 1989.
2. Бернгард В.Р. Арки и своды: Руководство по устройству и расчету арочных и сводчатых перекрытий. С.-Петербург, 1901. 128 с.
3. Лахтин Н.К. Расчет арок и сводов. Руководство к аналитическому и графическому расчету арочных и сводчатых перекрытий. М., 1911.
4. Ahnert R., Krause K. H. Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 zur Beurteilung der vorhandenen Bausubstanz. Band 1,2. Berlin, 2009.
5. Гроздов В.Т. «Кирпичные своды перекрытий старых жилых и общественных зданий». С.-Петербург, 1993.
6. Зимин С.С., Беспалов В.В., Скрипченко И.В. Влияние распалубок на напряженное состояние каменных сводов // Материалы VII международной научно-практической конференции «Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения». 2017. С. 133-144.
7. Деркач В.Н. Анизотропия прочности каменной кладки при сжатии // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. 2011. № 3(130). С. 181-186.
8. Поляков С.В. Сейсмостойкие конструкции зданий. Высшая школа, М., 1983. 304 с.
9. Деркач В.Н. Анизотропия прочности каменной кладки на растяжение при раскалывании // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. 2012. № 2 (147). С. 259-264.
10. Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages ASTM E519-02: ASTM Committee C15. 2003. 5 p.
11. Diagonal tensile strength tests of small walls specimens. TC76-LUM: RILEM LUMB 6 1991. – Bagneux: International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures, 1991. 2 p.
12. Физдель И.А. Дефекты в конструкциях, сооружениях и методы их устранения. М., Стройиздат, 1987.
13. Павлов В.В., Харьков Е.В. Восстановление работоспособности каменных арок и сводов // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 6 (65). С. 65-70.
14. Соколов Б.С., Павлов В.В., Хорьков Е.В. Конструктивно-технологические особенности восстановления эксплуатационной пригодности каменных сводчатых покрытий: сб. ст. IV Международной (X Всероссийской) конференции НАСКР-2018. Чувашский университет. Чебоксары. 2018. С. 323-329.
15. Орлович Р.Б., Чыкалиди В.Х. Способы усиления цилиндрических каменных сводов. Строительство и реконструкция. № 1 (69). 2017.
16. Орлович Р.Б., Деркач В.А. Зарубежный опыт армирования каменных конструкций // Жилищное строительство. 2011. № 11.
17. Biolzi L., Ghittoni C., Fedele R., Rosati G. Experimental and theoretical issues in FRP-concrete bonding // Construction and Building Materials. 2013. No. 41. Pp. 182–190.
18. ICDMOS. Recommendations for the analysis, conservation and structural of architectural heritage. International Scientific Committee for Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage, 2003.
19. ГОСТ Р 59437-2021 Сохранение памятников каменного зодчества. Общие требования.
20. Деркач В.Н., Орлович Р.Б. Эмпирические критерии прочности каменной кладки в условиях сложного напряженного состояния. Строительство и реконструкция. 2010. № 6 (32). С. 8-12.
21. Орлович Р.Б., Деркач В.Н. Критерии прочности, применяемые в зарубежной практике расчета и проектирования каменных конструкций // Известия высших учебных заведений. Строительство. № 6. 2011. С. 101-106.
22. Орлович Р.Б., Деркач В.Н. Применение классических теорий прочности для расчета каменной кладки в условиях сложного напряженного состояния // Строительство и реконструкция. 2011. № 1 (33). С. 35-40.

REFERENCES

1. Issledovanie deformacij, raschet nesushchej sposobnosti i konstruktivnoe ukreplenie drevnih raspornyh sistem. Metodicheskie rekomendacii. M., 1989.
2. Berngard V.R. Arki i svody: Rukovodstvo po ustrojstvu i raschetu arochnyh i svodchatyh perekrytij. S.-Peterburg, 1901. 128 p.
3. Lahtin N.K. Raschet arok i svodov. Rukovodstvo k analiticheskomu i graficheskomu raschetu arochnyh i svodchatyh perekrytij. M., 1911.
4. Ahnert R., Krause K. H. Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 zur Beurteilung der vorhandenen Bausubstanz. Band 1,2. Berlin, 2009.
5. Grozdov V.T. «Kirpichnye svody perekrytij staryh zhilyh i obshchestvennyh zdaniy». S.-Peterburg, 1993.

6. Zimin S.S., Bepalov V.V., Skripchenko I.V. Vliyaniye raspalubok na napryazhennoe sostoyaniye kamennykh svodov // *Materialy VII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Obsledovaniye zdaniy i sooruzheniy: problemy i puti ih resheniya»*. 2017. Pp. 133-144.
7. Derkach V.N. Anizotropiya prochnosti kamennoy kladki pri szhatii // *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Nauka i obrazovanie*. 2011. No. 3(130). Pp. 181–186.
8. Polyakov S.V. Sejsmostojkie konstrukcii zdaniy. Vysshaya shkola, M., 1983. 304 p.
9. Derkach V.N. Anizotropiya prochnosti kamennoy kladki na rastyazheniye pri raskalyvaniy // *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Nauka i obrazovanie*. 2012. No. 2 (147). Pp. 259-264.
10. Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages ASTM E519-02: ASTM Committee C15. 2003. 5 p.
11. Diagonal tensile strength tests of small walls specimens. TC76-LUM: RILEM LUMB 6 1991. – Bagneux: International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures, 1991. 2 p.
12. Fizdel' I.A. Defekty v konstrukciyakh, sooruzheniyakh i metody ih ustraneniya. M., Strojizdat, 1987.
13. Pavlov V.V., Har'kov E.V. Vosstanovleniye rabotosposobnosti kamennykh arok i svodov // *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2017. No. 6(65). Pp. 65-70.
14. Sokolov B.S., Pavlov V.V., Hor'kov E.V. Konstruktivno-tekhnologicheskie osobennosti vosstanovleniya ekspluatatsionnoy prigodnosti kamennykh svodchatykh pokrytij: sb. st. IV Mezhdunarodnoy (H Vserossiyskoy) konferentsii NASKR-2018. CHuvashskiy universitet. CHEboksary. 2018. Pp. 323-329.
15. Orlovich R.B., CHykalidi V.H. Sposoby usileniya cilindricheskikh kamennykh svodov. Stroitel'stvo i rekonstrukciya. No. 1 (69) 2017.
16. Orlovich R.B., Derkach V.A. Zarubezhnyy opyt armirovaniya kamennykh konstrukcij // *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2011. No. 11.
17. Biolzi L., Ghittoni C., Fedele R., Rosati G. Experimental and theoretical issues in FRP-concrete bonding. *Construction and Building Materials* 2013. No. 41. Pp. 182–190.
18. ICDMOS. Recommendations for the analysis, consevvation and structural of architectural heritage. International Scientific Committee for Analysis and Restovation of Structures of Architectural Heritage, 2003.
19. GOST R 59437-2021 Sohraneniye pamyatnikov kamennogo zodchestva. Obshchie trebovaniya.
20. Derkach V.N., Orlovich R.B. Empiricheskie kriterii prochnosti kamennoy kladki v usloviyakh slozhnogo napryazhennoy sostoyaniya. Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2010. No. 6 (32). Pp. 8-12.
21. Orlovich R.B., Derkach V.N. Kriterii prochnosti, primenyaemye v zarubezhnoy praktike rascheta i proektirovaniya kamennykh konstrukcij. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo. No. 6. 2011. Pp. 101-106.
22. Orlovich R.B., Derkach V.N. Primeneniye klassicheskikh teorii prochnosti dlya rascheta kamennoy kladki v usloviyakh slozhnogo napryazhennoy sostoyaniya. Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2011. No. 1 (33). Pp. 35-40.

Информация об авторах:

Орлович Роман Болеславович

ООО «ПИ Георекострукция», г. Санкт-Петербург, Россия,
доктор технических наук, профессор, научный консультант.
E-mail: orlowicz@mail.ru

Зимин Сергей Сергеевич

ФГАУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, Россия,
кандидат технических наук, доцент Высшей школа промышленно-гражданского и дорожного строительства
Инженерно-строительного института СПбПУ.
E-mail: zimin_sergei@mail.ru

Information about authors:

Orlovich Roman B.

Chief Engineer of the company «PI Georekonstrukciya», Saint-Petersburg, Russia,
doctor of technical sciences, professor, scientific consultant.
E-mail: orlowicz@mail.ru

Zimin Sergey S.

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia,
candidate of technical sciences, assistant professor of the Higher School Industrial, Civil and Highway Engineering of
the Civil Engineering Institute.
E-mail: zimin_sergei@mail.ru