

Р.Б. ОРЛОВИЧ<sup>1</sup>, С.С. ЗИМИН<sup>2</sup>, А.В. ГАЛАЛЮК<sup>3</sup><sup>1</sup>ООО «ПИ Геореконструкция», г. Санкт-Петербург, Россия<sup>2</sup>ФГАУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,  
г. Санкт-Петербург, Россия<sup>3</sup>Филиал РУП «ИНСТИТУТ БелНИИС» – «Научно-технический центр», г. Брест, Республика Беларусь

## АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОПОРНЫХ УЧАСТКОВ КАМЕННЫХ СВОДОВ

**Аннотация.** В статье обосновывается, что в цилиндрических сводах с распалубками и крестовых сводах исторических зданий наиболее напряженными являются зоны опирания сводов на опорные конструкции (стены и столбы) и зоны сопряжения распалубок со сводами. В частности, в крестовых сводах наиболее нагруженными являются диагональные ребра, в которых сжимающие усилия действуют под углом  $45^\circ$  (именно в этом направлении каменная кладка обладает наименьшим сопротивлением сжатию), а поток сжимающих усилий в пределах диагоналей свода накапливается, достигая максимальных значений в его опорных пятках. Из чего делается вывод, что именно опорные консоли чаще всего определяют несущую способность крестового свода в целом. В статье даются приближенные расчетные зависимости для оценки несущей способности опорных консолей крестовых сводов и делается вывод, что наиболее точную картину напряженного состояния опорных консолей можно установить путем численного моделирования, а для оценки несущей способности необходимо использовать частные критерии прочности.

**Ключевые слова:** цилиндрические каменные своды, крестовые каменные своды, своды с распалубками, опорные консоли крестовых сводов, несущая способность каменных сводов, критерии прочности каменных сводов.

R.B. ORLOVICH<sup>1</sup>, S.S. ZIMIN<sup>2</sup>, A.V. HALALIUK<sup>3</sup><sup>1</sup>ООО «PI Georekonstrukcia», Saint-Petersburg, Russia<sup>2</sup>Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia,<sup>3</sup>Branch office of the RUE «Institute BelNIIS» – Scientific-Technical Center, Brest, Republic of Belarus

## THE ANALYSIS OF EFFICIENCY OF SUPPORT AREA IN MASONRY VAULTS

**Abstract.** The article substantiates that in cylindrical vaults with stripping and cross vaults of historical buildings, the most stressed areas are the areas where the vaults rest on the supporting structures (walls and pillars) and the zones of interface between strippings and vaults. In particular, in cross vaults, the most loaded are the diagonal ribs, in which the compressive forces act at an angle of  $45^\circ$  (it is in this direction that the masonry has the least resistance to compression), and the flow of compressive forces within the diagonals of the vault accumulates, reaching maximum values in its supporting heels. From which it is concluded that it is the supporting consoles that most often determine the bearing capacity of the cross vault as a whole. The article gives approximate calculated dependences for assessing the bearing capacity of the supporting consoles of the cross vaults and concludes that the most accurate picture of the stress state of the supporting consoles can be established by numerical modeling, and to assess the bearing capacity, it is necessary to use particular strength criteria.

**Keywords:** cylindrical stone vaults, cross stone vaults, vaults with demouldings, supporting consoles of cross vaults, load-bearing capacity of stone vaults, strength criteria for stone vaults.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование деформаций, расчет несущей способности и конструктивное укрепление древних распорных систем. Методические рекомендации. М.: Объединение Союзреставрация, 1989. 171 с.
2. Бернгард В.Р. Арки и своды: Руководство по устройству и расчету арочных и сводчатых перекрытий. С-Петербург: Типография Ю.Н. Эрлих, 1901. 128 с.
3. Физдель И.А. Дефекты в конструкциях, сооружениях и методы их устранения. М.: Стройиздат, 1987. 135 с.
4. Павлов В.В., Харьков Е.В. Восстановление работоспособности каменных арок и сводов // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 6(65). С. 65-70.
5. Ahnert R., Krause K.H. Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 zur Beurteilung der vorhandenen Bausubstanz. Berlin, 2009. 360 p.
6. Jasięko J., Tomasz Ł., Rapp P. Naprawa, konserwacja i wzmacnianie wybranych, zabytkowych konstrukcji ceglanych. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, 2006. 185 p.
7. Соколов Б.С., Павлов В.В., Харьков Е.В. Конструктивно-технологические особенности восстановления эксплуатационной пригодности каменных сводчатых покрытий // Сб. ст. IV Международной (X Всероссийской) конференции НАСКР-2018. Чебоксары: Издательство Чувашского университета. 2018. С. 323-329.
8. СП 15.13330.2020. Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция: утвержден Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 29 декабря 2011 г. N 635/5: дата введения 1 января 2013 г. Москва: Минрегион России, 2012. 73 с.
9. Деркач В.Н., Галалюк А.В., Беспалов В.В. Несущая способность кирпичных сводов исторических зданий // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения: Материалы VIII международной научно-практической конференции. 13 октября 2017 года. СПб.: Издательство Политехн. ун-та, 2017. С. 63–70.
10. Guggisberg R., Thurlimann B. Versuche zur Festlegung der Rechenwerte von Mauerwerksfestigkeiten. Zurich: Institut für Baustatik und Konstruktion, 1987. 61 p.
11. Mojsilović N.A. Discussion of masonry characteristics derived from compression tests // Proceedings of the 10th Canadian Masonry Symposium, Banff, Alberta, Canada, and June 8 – 12, 2005 / University of Calgary, Department of Civil Engineering. Calgary, 2005. Pp. 242 – 250.
12. Asteris P., Symakezis C. Strength of Unreinforced Masonry Walls under Concentrated Compression Loads // Practice Periodical Structural Design and Construction. 2005. No. 10(2). Pp. 133-140.
13. Беспалов В.В., Зимин С.С. Прочность каменной кладки сводчатых конструкций // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 11 (50). С. 37-51.
14. Зимин С.С., Беспалов В.В., Скрипченко И.В. Влияние распалубок на напряженное состояние каменных сводов // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения: Материалы VIII международной научно-практической конференции. 13 октября 2017 года. СПб.: Издательство Политехн. ун-та, 2017. С. 133-144.
15. Skripchenko I., Bepalov V., Lukichev S., Zimin S. Unconventional cases of the stone vaults // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. No. 2 (53). С. 87-95.
16. Bepalov V., Orlovich R., Zimin S. Stress-strain state of brick masonry vault with an aperture // MATEC Web of Conferences 53, 01009. 2016. 6 p. doi:10.1051/mateconf/20165301009.
17. Зимин С.С., Беспалов В.В., Кокоткова О.Д. Сводчатые конструкции исторических зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 2 (29). С. 57-72.
18. Зимин С.С., Беспалов В.В., Казимирова А.С. Расчетная модель каменной арочной конструкции // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2015. № 3 (113). С. 33-37.
19. Орлович Р.Б., Беспалов В.В., Семенова М.Д. О совместной работе каменных арок и стен // Строительство и реконструкция. 2018. № 5 (79). С. 32-39.
20. Орлович Р.Б., Деркач В.Н. Критерии прочности, применяемые в зарубежной практике расчета и проектирования каменных конструкций // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2011. № 6. С. 101-106.

## REFERENCES

1. Issledovanie deformatsij, raschet nesushchej sposobnosti i konstruktivnoe ukreplenie drevnih raspornyh sistem. Metodicheskie rekomendacii. M.: Ob'edinenie Soyuzrestavraciya, 1989. 171 p.
2. Berngard V.R. Arki i svody: Rukovodstvo po ustrojstvu i raschetu arochnyh i svodchatyh perekrytij. S-Peterburg: Tipografiya YU.N. Erlih, 1901. 128 p.
3. Fizdel' I.A. Defekty v konstrukciyah, sooruzheniyah i metody ih ustraneniya. M.: Strojizdat, 1987. 135 p.
4. Pavlov V.V., Har'kov E.V. Vosstanovlenie rabotosposobnosti kamennyh arok i svodov // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2017. No. 6(65).Pp. 65-70.

5. Ahnert R., Krause K.H. Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 zur Beurteilung der vorhandenen Bausubstanz. Berlin, 2009. 360 p.
6. Jasięńko J., Tomasz Ł., Rapp P. Naprawa, konserwacja i wzmacnianie wybranych, zabytkowych konstrukcji ceglanych. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, 2006. 185 p.
7. Sokolov B.S., Pavlov V.V., Hor'kov E.V. Konstruktivno-tekhnologicheskie osobennosti vosstanovleniya ekspluatatsionnoj prigodnosti kamennyh svodchatyh pokrytij // Сб. ст. IV Mezhdunarodnoj (H Vserossijskoj) konferencii NASKR-2018. СНебoksary: Izdatel'stvo CHuvashskogo universiteta. 2018. Pp. 323-329.
8. SP 15.13330.2020. Kamennye i armokamennye konstrukcii. Aktualizirovannaya redakciya: utverzhden Prikazom Ministerstva regional'nogo razvitiya Rossijskoj Federacii (Minregion Rossii) ot 29 dekabrya 2011 g. N 635/5: data vvedeniya 1 yanvary 2013 g. Moskva: Minregion Rossii, 2012. 73 p.
9. Derkach V.N., Galalyuk A.V., Bepalov V.V. Nesushchaya sposobnost' kirpichnyh svodov istoricheskikh zdaniy // Obsledovanie zdaniy i sooruzhenij: problemy i puti ih resheniya: Materialy VIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 13 oktyabrya 2017 goda. SPb.: Izdatel'stvo Politekhn. un-ta, 2017. Pp. 63-70.
10. Guggisberg R., Thurlimann B. Versuche zur Festlegung der Rechenwerte von Mauerwerksfestigkeiten. Zurich: Institut fur Baustatik und Konstruktion, 1987. 61 p.
11. Mojsilović N.A. Discussion of masonry characteristics derived from compression tests // Proceedings of the 10th Canadian Masonry Symposium, Banff, Alberta, Canada, and June 8 – 12, 2005 / University of Calgary, Department of Civil Engineering. Calgary, 2005. Pp. 242-250.
12. Asteris P., Syrmakezis C. Strength of Unreinforced Masonry Walls under Concentrated Compression Loads // Practice Periodical Structural Design and Construction. 2005. No. 10(2). Pp. 133-140.
13. Bepalov V.V., Zimin S.S. Prochnost' kamenoj kladki svodchatyh konstrukcij // Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij. 2016. No. 11 (50). Pp. 37-51.
14. Zimin S.S., Bepalov V.V., Skripchenko I.V. Vliyanie raspalubok na napryazhennoe sostoyanie kamennyh svodov // Obsledovanie zdaniy i sooruzhenij: problemy i puti ih resheniya: Materialy VIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 13 oktyabrya 2017 goda. SPb.: Izdatel'stvo Politekhn. un-ta, 2017. Pp. 133-144.
15. Skripchenko I., Bepalov V., Lukichev S., Zimin S. Unconventional cases of the stone vaults // Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij. 2017. No. 2 (53). Pp. 87-95.
16. Bepalov V., Orlovich R., Zimin S. Stress-strain state of brick masonry vault with an aperture // MATEC Web of Conferences 53, 01009. 2016. 6 p. doi:10.1051/mateconf/20165301009.
17. Zimin S.S., Bepalov V.V., Kokotkova O.D. Svodchatye konstrukcii istoricheskikh zdaniy // Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij. 2015. No. 2 (29). Pp. 57-72.
18. Zimin S.S., Bepalov V.V., Kazimirova A.S. Raschetnaya model' kamenoj arochnoj konstrukcii // Vestnik Donbasskoj nacional'noj akademii stroitel'stva i arhitektury. 2015. No. 3 (113). Pp. 33-37.
19. Orlovich R.B., Bepalov V.V., Semenova M.D. O sovместnoy rabote kamennyh arok i sten // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2018. No. 5 (79). Pp. 32-39.
20. Orlovich R.B., Derkach V.N. Kriterii prochnosti, primenyaemye v zarubezhnoj praktike rascheta i proektirovaniya kamennyh konstrukcij // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 2011. No. 6. Pp. 101-106.

**Информация об авторах:**

**Орлович Роман Болеславович**

ООО «ПИ Геореконструкция», г. Санкт-Петербург, Россия,  
доктор технических наук, профессор, научный консультант.  
E-mail: [orlowicz@mail.ru](mailto:orlowicz@mail.ru)

**Зимин Сергей Сергеевич**

ФГАУО ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
кандидат технических наук, доцент Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства  
Инженерно-строительного института СПбПУ.  
E-mail: [zimin\\_sergei@mail.ru](mailto:zimin_sergei@mail.ru)

**Галалюк Антон Владимирович**

Филиал РУП «ИНСТИТУТ БелНИИС» – «Научно-технический центр», г. Брест, Республика Беларусь,  
начальник отдела.  
E-mail: [Halaliuk@mail.ru](mailto:Halaliuk@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](mailto: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](mailto:zimin_sergei@mail.ru)

**Halaliuk Anton V.**

Branch office of the RUE «Institute BelNIIS» – Scientific-Technical Center, Brest, Belarus,  
head of department.

E-mail: [Halaliuk@mail.ru](mailto:Halaliuk@mail.ru)