

УДК 69.059.3

Соколов Б.С. – доктор технических наук, профессор

E-mail: sokolov@kgasu.ru

Павлов В.В. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: newtura@mail.ru

Хорьков Е.В. – ассистент

E-mail: evg-ne@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Экспериментальные исследования работы кирпичных арок при вертикальной подвижке опор

Аннотация

В работе представлены результаты экспериментальных исследований деформативности каменных арок на известково-песчаных растворах при нормальной работе с введением фактора разрушения (вертикальной подвижки опоры). В исследовании были проведены численные и физические эксперименты. Также в статье приведены результаты натурного обследования подвального этажа здания бывшей гостиницы «Казань» по улице Баумана. Проведенное исследование позволило определить деформативность и характер трещинообразования каменной арки.

Ключевые слова: распорная система, арка, свод, осадка.

Строительство каменных зданий и сооружений на Руси началось в X веке. С тех пор в качестве перекрытий зданий в основном были использованы кирпичные своды, большинство из которых просуществовало до наших дней. В связи с этим возникают вопросы по усилению таких конструкций, с целью сохранения их несущей способности для дальнейшей эксплуатации.

При натурном обследовании подвального этажа здания бывшей гостиницы «Казань» по улице Баумана (рис. 1) были выявлены основные причины разрушений и деформаций каменных распорных систем, а именно горизонтальная и вертикальная подвижка опор.

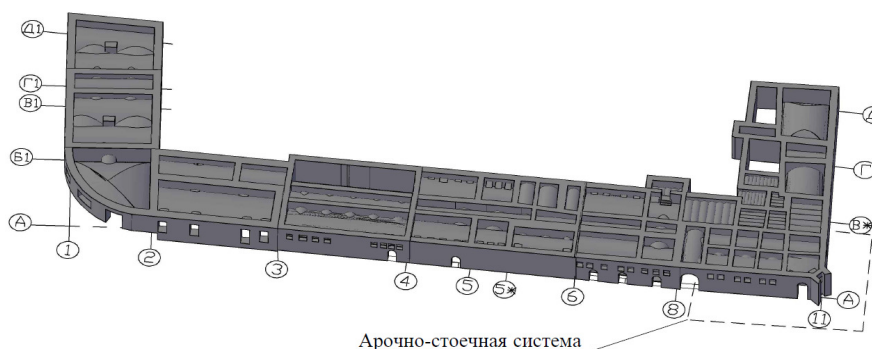


Рис. 1. Схема подвального этажа гостиницы «Казань»

Вертикальное перемещение пяты свода возможно при просадке или разрушении опоры (центрального столба, стены), а также при растеске большого дополнительного проема под пятой свода, например при уничтожении простенка между распалубками [1].

Примером, подтверждающим данное высказывание, о причинах возникновения вертикального перемещения пяты свода, могут послужить результаты обследования одной из частей подвального комплекса (рис. 1). Данная часть является арочно-стоечной системой, во многом напоминающей крестово-купольную, но с целым рядом отличий (рис. 2). В ходе обследования были выявлены основные повреждения системы, а именно косые падающие

трещины в боковых подпружных арках (рис. 2, 3). Такие дефекты являются характерным внешним признаком просадки центральных столбов вследствие естественной разности осадок ленточных и столбчатых фундаментов несущих конструкций.



Рис. 2. Дефектная схема перекрытия арочно-стоечной системы

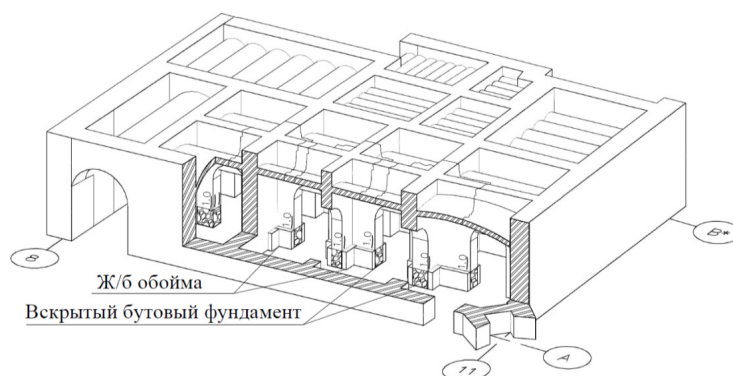


Рис. 3. Дефекты арочно-стоечной системы

Одной из задач экспериментального исследования работы каменных распорных систем, проводимого на кафедре ЖБ и КК КГАСУ, является изучение влияния вертикальной подвижки опоры свода на деформативность и характер трещинообразования каменной арки с целью выявления наиболее опасных факторов влияющих на работу каменных распорных систем для дальнейшего исследования.

Перед проведением экспериментальных исследований работы кирпичных арок были проведены численные исследования с использованием программного комплекса Лира 9.6., основной целью которых явилось изучение напряжённо-деформированного состояния конструкций перекрытий без повреждений и с фактически обнаруженными повреждениями при воздействии фактора разрушения (вертикальной подвижки опоры).

Для подтверждения результатов численных исследований была разработана программа проведения физического эксперимента, результаты которого приведены ниже.

Целью исследования является получение экспериментальных данных о деформативности и характере трещинообразования кирпичных арок на известково-песчаных растворах с ведением фактора разрушения (вертикальной подвижки опоры).

В рамках исследования были поставлены следующие задачи:

1. Исследовать деформативность арок на известково-песчаных растворах при нормальной работе с введением фактора разрушения (вертикальной подвижки опоры).
2. Определить характер трещинообразования арок на всех стадиях работы.

В лабораторных условиях были изготовлены кирпичные арки из керамического кирпича по ГОСТ 530-2012 на известково-песчаном растворе марки М4, с геометрическими характеристиками представленными на рис. 4. При возведении таких конструкций были соблюдены технологические требования изложенные в [2]. Для имитации изменения жёсткости опорного контура (податливости опор), была выбрана их вертикальная подвижка (осадка), которая создавалась с помощью специально разработанной установки, представляющей собой площадку на четырех резьбовых стержнях. Подвижка (осадка) осуществлялась собственной массой арки, путем постепенной и контролируемой регулировкой винтов (рис. 5).

Для измерения вертикальных перемещений арки были установлены индикаторы часового типа (№ 1, № 2, № 3) в трех местах (рис. 4, 5). Величина вертикальной подвижки опоры арки измерялась также индикатором часового типа (№ 4), установленном на подвижной опоре (рис. 5).

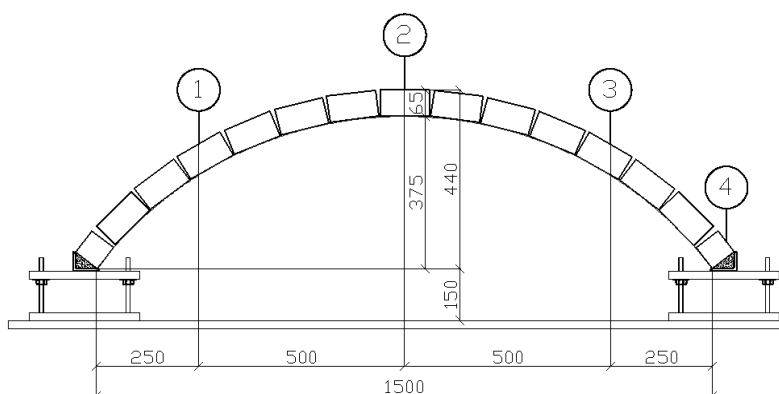


Рис. 4. Геометрические размеры арки.
Наименования и места установки индикаторов часового типа

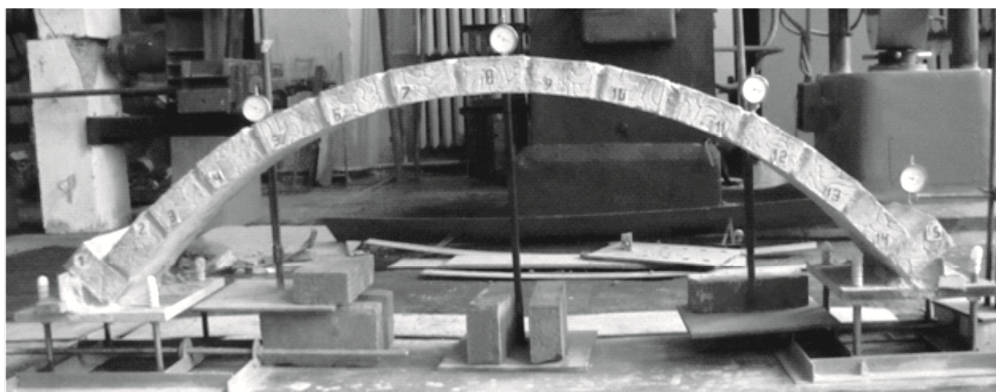


Рис. 5. Установка для испытания каменной арки на вертикальную подвижку опоры

После каждого этапа вертикальной подвижки пяты производился тщательный осмотр конструкции для выявления как вновь появившихся повреждений, так и степени развития уже имеющихся.

Ниже представлена таблица с результатами экспериментальных исследований кирпичной арки на известково-песчаном растворе при вертикальной подвижке пяты (расположение индикаторов № 1, 2, 3 показано на рис. 4). Нумерация этапов в таблице соответствует каждой подвижке опоры.

Таблица

**Результаты экспериментальных исследований кирпичной арки
на известково-песчаном растворе при вертикальной подвижке пяты (осадке)**

№ этапа	Вертикальная подвижка опоры, мм	Показания индикаторов, мм			№ этапа	Вертикальная подвижка опоры, мм	Показания индикаторов, мм		
		№ 1	№ 2	№ 3			№ 1	№ 2	№ 3
1	1,03	0,1	0,54	0,54	26	26	13,5	13,58	17
2	2	0,12	0,64	0,73	27	27	13,2	14,19	17,64
3	3	0,44	0,57	0,92	28	28	12,62	14,85	18,32
4	4	0,42	1,02	0,85	29	29	12,62	15	19,55
5	5	0,88	1,74	0,86	30	30	12,05	15,77	20,33
6	6	1,55	2,35	1,67	31	31	11,76	16,65	20,96
7	7	2,37	2,87	2,28	32	32	11,75	17,1	21,85
8	8	3,21	3,55	3,5	33	33	11,29	17,55	22,57
9	9	3,74	4,19	4,54	34	34	10,98	18,2	23,32
10	10	3,65	4,68	5,06	35	35	10,75	18,7	24
11	11	4,41	5,19	5,96	36	36	10,45	19,4	24,9
12	12	5,15	5,82	6,67	37	37	10,24	19,87	25,6
13	13	5,92	6,25	7,63	38	38	9,98	20,44	26,36
14	14	6,73	6,76	8,04	39	39	9,85	20,87	26,9
15	15	7,46	7,34	8,89	40	40	9,67	21,25	27,52
16	16	8,04	7,85	9,65	41	41	9,27	21,79	28,35
17	17	8,73	8,34	10,19	42	42	9,07	22,33	28,93
18	18	9,41	9,13	10,97	43	43	8,82	22,77	29,7
19	19	10,08	9,72	11,53	44	44	8,66	23,21	30,48
20	20	10,65	10,42	12,47	45	45	8,5	23,65	31,16
21	21	11,4	10,97	13,2	46	46	8,04	24,2	31,9
22	22	12,1	11,53	14	47	47	7,9	24,72	32,5
23	23	12,73	12,18	14,95	48	48	7,58	25,3	33,6
24	24	13,61	12,6	15,69	49	49	7,25	25,88	33,89
25	25	13,5	13	16,06	50	50	7,12	26,3	34,42

В ходе проведения эксперимента было определено, что при вертикальной подвижке опоры арки (осадка до 14 мм) она поворачивается относительно своей неподвижной пяты без образования трещин. При величине осадки более 14 мм появляются первые трещины в области щелыги на нижней поверхности арки шириной раскрытия 0,05 мм (рис. 6). Прогиб арки при этом составляет 6,5 мм. При осадке опоры равной 24 мм, правая часть арки (индикатор № 1), имея вертикальное перемещение вниз равное 13,61 мм, начинает подниматься с появлением и дальнейшим раскрытием трещин на верхней поверхности арки. Левая (индикатор № 3) и центральная части (индикатор № 2) продолжают равномерно опускаться с развитием трещин по нижней поверхности арки.

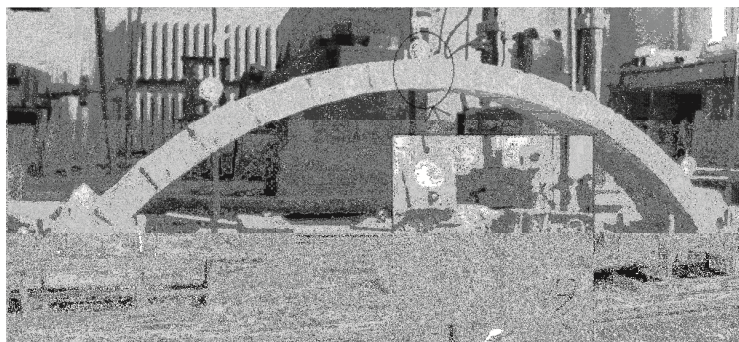


Рис. 6. Образование трещины в области щелыги арки при вертикальной подвижке (осадке) опоры 20 мм

По результатам испытаний трех серий кирпичных арок была построена сравнительная диаграмма зависимости между величиной вертикальной подвижки (осадке) и вертикальными перемещениями в трех точках (рис. 7).

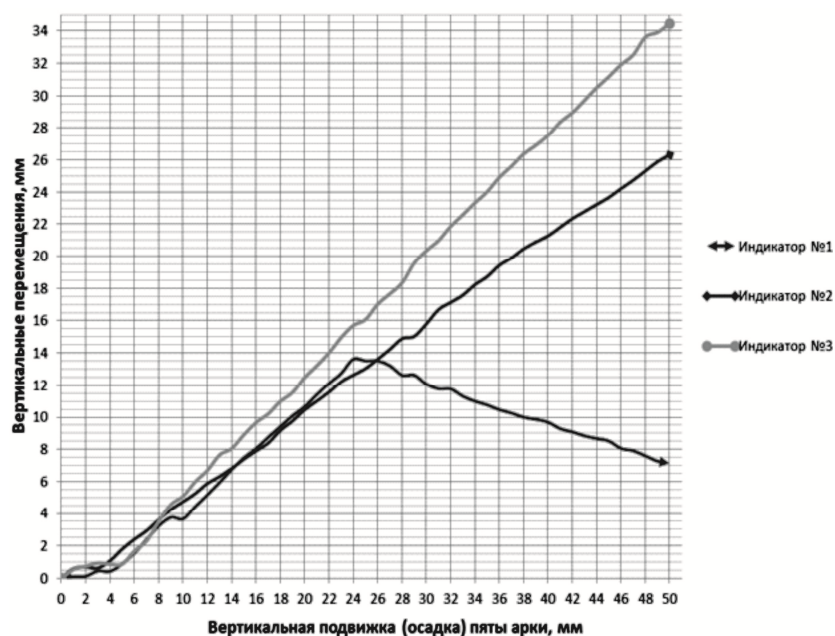


Рис. 7. Диаграмма вертикальных перемещений арки при вертикальной подвижке опоры. Обозначение и расстановка индикаторов на рис. 4

Сравнивая результаты диаграммы можно сделать следующие выводы:

Характер вертикальных перемещений арки при осадке до 14 мм, имеет неопределенную зависимость. При значении осадки в пределах от 16 до 24 мм величины перемещений имеют четкую линейную зависимость и постоянный рост. Далее при величине осадки более 24 мм характер деформирования арки резко меняется, о чем свидетельствует изменение роста значений индикатора № 1.

По результатам испытаний было определено, что механизм разрушения арки при вертикальной подвижке сводится к образованию трех шарниров между четырех независимых блоков арки меняющих свое положение относительно друг друга и тем самым приводящих к дальнейшей потере устойчивости арки.

Список библиографических ссылок

1. Бессонов Г.Б. Исследование деформаций, расчет несущей способности и конструктивное укрепление древних распорных систем. – М.: Союзреставрация, 1989. – 171 с.
2. АХЦ «АРХХРАМ» Православные храмы. Том 2. Православные храмы и комплексы. Пособие по проектированию и строительству (к СП 31-103-99) МДС 31-9.2003.
3. Соколов Б.С., Антаков А.Б. Исследования сжатых элементов каменных и армокаменных конструкций. – М.: Издательство АСВ, 2010. – 104 с.
4. Отчет по обследованию технического состояния конструкций каменных стен и каменных перекрытий цокольной части здания бывшей гостиницы «Казань», расположенного по адресу: г. Казань, ул. Баумана, д. 9/15. – Казань: ООО «Исследование», 2010. – 63 с.
5. Бернгард В.Р. Арки и своды. Руководство к устройству и расчету арочных и сводчатых перекрытий. – СПб.: Типография Ю.Н. Эрлих, 1901. – 128 с.
6. Кривошеин Н.К. Расчет упругих сводов. Расчет упругих сводов по методу предельного равновесия. – Петроград: Типография Бенке, 1918. – 42 с.
7. Пашкин Е.М., Бессонов Г.Б. Диагностика деформации памятников архитектуры. – М.: Стройиздат, 1984. – 151 с.
8. Физдель И.А. Дефекты и методы их устранения в конструкциях и сооружениях. – М., Стройиздат, 1970. – 175 с.
9. Лахтин Н.К. Расчет арок и сводов. Руководство к аналитическому и графическому расчету арочных и сводчатых перекрытий. – М.: Студенческое Издательское Общество при Императорском Техническом Училище, 1911. – 468 с.
10. Красовский А.К. Гражданская архитектура. Части зданий. Сочинение Аполлинария Красовского. – СПб.: Типография А.А. Левенсон, Петровка, Рахмановский переулок, собственный дом, 1851. – 586 с.

Sokolov B.S. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: sokolov@kgasu.ru

Pavlov V.V. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: newtura@mail.ru

Khorkov E.V. – assistant

E-mail: evg-ne@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Experimental research of strengthening brick arches functioning according
to vertical slip of pillar**

Resume

The research objective is receiving experimental data about the deformation and character of cracking in masonry arches. In moving the end support it reveals the weak points that cause arch failure. This is checked by the removal of the end joint support. It is at this point dead load (of the arch) creates the emergence of cracking which reveals how damages occurs in the arch itself. A masonry arches were made in laboratory conditions, bricks and mortar were taken in accordance with GOST. Draft was formed with the help of specially designed equipment. The experiment has a several stages. After each stage, thorough inspection of the structure to identify emerging injury and the degree of development of the existing ones was carried out. A masonry arch has three hinges between four independent arch blocks which creates a draft action. This causes the arch to lose its stability. By the results of the test it is possible to understand where the cracking occurs that weakens the masonry system.

Keywords: an arch, the destruction factor, a support motion.

Reference list

1. Bessonov G.B. Research of deformations, calculation of bearing ability and constructive strengthening of ancient systems. – M.: Soyusrestovratsiya, 1989. – 171 p.
2. ACC «ARHHRAM» Pravoslavlic churches. Volume 2. Orthodox churches and complexes. Manual on design and construction (to SP 31-103-99) MDS 31-9.2003 2003.
3. Sokolov B.S., Antakov A.B. Research masonry and reinforced masonry structures. – M.: Publishing ACB, 2010. – 104 p.
4. Report on the survey of masonry walls and floors of the hotel «Kazan» basement, located at: Kazan, Bauman st., 9/15. Kazan.: LLC «Research», 2010. – 63 p.
5. Berngard V.R. Archs and Vaults. Guide to the device and calculating arched and vaulted ceilings. – SPb.: Typography U.N. Erlich, 1901. – 128 p.
6. Krivoshein N.K Calculation of elastic arches. Calculation of elastic arches on the limit equilibrium method. – Petrograd: Typography Behnke, 1918. – 42 p.
7. Pashkin E.M., Bessonov G.B. Diagnosis deformation monuments. – M.: Stroyizdat, 1984. – 151 p.
8. Fizdel I.A. Defects and methods in designs and constructions. – M.: Stroyizdat 1970. – 175 p.
9. Lahtin N.K. Calculation of arches and vaults. Guide to the analytical and graphical calculation arched and vaulted ceilings. – M.: Publishing Student Society at the Imperial Technical School, 1911. – 468 p.
10. Krasovsky A.K Civil architecture. Parts of buildings. – SPb.: Typography A.A. Levenson, 1851. – 586 p.