

СОВРЕМЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ АРОЧНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Дегтярева О.А. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Рассматриваются преимущества железобетонных арочных конструкций. Обосновывается целесообразность их экспериментального исследования.

В современном строительстве уделяется большое внимание не только надежности строительных конструкций, но и их эстетичности. Разработанные технологии проектирования, расчета и возведения дают возможность воплотить самые невероятные фантазии архитекторов. И здесь на одно из первых мест выходит применение арочных элементов и конструкций.

В силу своей формы арка, помимо эстетичности, имеет ряд преимуществ перед балочным элементом. Как известно, большинство конструкций покрытия зданий и транспортных сооружений (мостов, тоннелей и т.п.) работают на вертикальную нагрузку, направленную вниз. Арочная система, будучи распорной, при такой нагрузке имеет положительные горизонтальные реактивные усилия H , т.е. направленные друг к другу. Благодаря этому, согласно формуле

$$M^{арк}(x) = M^{бал}(x) - H \cdot y(x),$$

при отсутствии горизонтальной нагрузки изгибающий момент в любом сечении арки $M^{арк}(x)$ всегда будет меньше, чем в соответствующем сечении балки $M^{бал}(x)$. Следовательно, при одинаковом пролете сечение арки (а значит и собственный вес) будет меньше балочного. Это позволяет возводить здания с большими пролетами такие, как: спортивные сооружения, киноконцертные залы, выставочные комплексы, мосты и другие, где применение балочных конструкций является нецелесообразным по конструктивным и экономическим требованиям. Более того, можно подобрать такое очертание арки, в любом сечении которой изгибающий момент будет равен нулю. За счет действия продольных сжимающих усилий, растягивающие усилия будут гораздо

меньше, чем в балке. Это позволяет эффективно использовать при изготовлении арок железобетон, хорошо работающий на сжатие.

Естественно, у арочной конструкции имеются и свои недостатки. К ним относятся сложности в расчете, изготовлении, транспортировке и монтаже, а также в необходимости устройства мощных пят для восприятия горизонтальных усилий.

Современные строительные технологии позволяют изготавливать монолитные железобетонные арочные элементы больших пролетов. В качестве примера можно привести такие, как возведение арки моста, соединяющего Швецию с Норвегией, введенного в эксплуатацию в 2005 году [1, 2] (рис. 1, а), а также строительство кафедрального собора Христа Спасителя в Калининграде [3] (рис. 1, б, в).

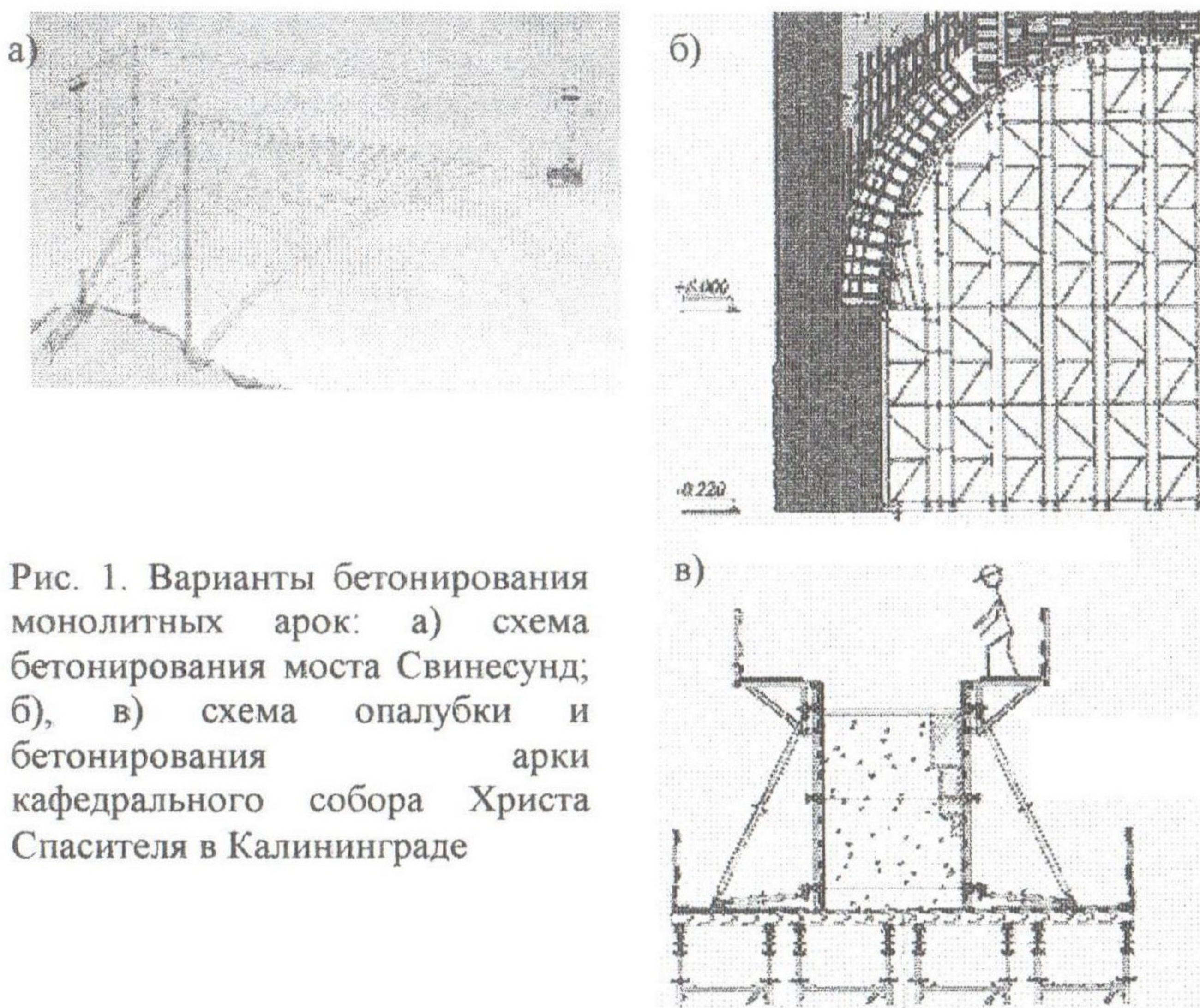


Рис. 1. Варианты бетонирования монолитных арок: а) схема бетонирования моста Свинесунд; б), в) схема опалубки и бетонирования арки кафедрального собора Христа Спасителя в Калининграде

С помощью опалубки МОДОСТР специалистами БелНИИС была разработана технология устройства монолитных конструкций уникального сооружения – Калининградского кафедрального собора Христа Спасителя. Впечатляющие размеры (высота до основания креста —

56 м) и сложность геометрических форм монолитных конструкций объекта потребовали нестандартных решений. Был использован весь опыт, накопленный БелНИИС в строительстве опалубок. Достаточно сказать, что опалубливанию подлежали монолитные арки, своды, ребристые перекрытия, наклонные стенки, лестничные марши, криволинейные балки, колонны, участки стен сложной формы. Помимо всего прочего, конструкции храма отличаются большой (до 40 м) высотой опирания опалубки [3].

Арка моста Свинесунд имеет радиус кривизны 1150 м, высоту 90 м и пролет 247,3 м (рис. 2). Поперечное сечение арки – трапецевидное, переменное, размеры его изменяются от 6,3 x 4,25 м до 4,0 x 2,7 м.

Для изготовления арки фирма Доса (Австрия) специально разработала подвижную опалубку. Бетонирование осуществлялось участками длиной по 5,5 м, с непрерывной подгонкой наружных щитов из-за кривизны арки. Подвижная опалубка перемещалась с помощью гидравлической системы. Проводимые в процессе строительства моста исследования неразрушающими методами показали соответствие технических характеристик и технологии возведения сооружения, заложенным в проекте [1, 2].

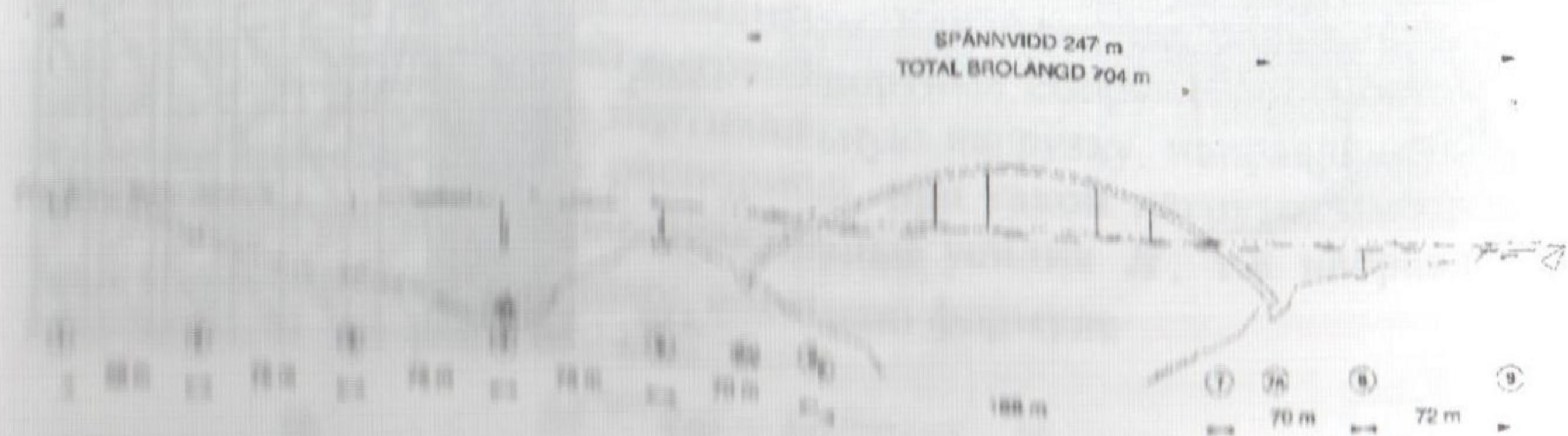


Рис. 2. Схема моста Свинесунд

Процесс возведения арочных конструкций в обоих примерах был примерно одинаковым: бетонирование осуществлялось от пята к замку, симметрично с обеих сторон.

Приведенные примеры подтверждают, что современным строительным технологиям подвластны решения сложных задач.

Что же касается сложностей в расчетах арок, разработанные программные комплексы позволяют рассчитывать конструкции любой сложности. В силу степени ответственности сооружения, арка моста Свинесунд рассчитывалась по двум программным комплексам проектировщиками и организацией, выполнявшей мониторинг моста [1, 2]. Полная компьютерная модель моста реализованная методом конечных

элементов, с учетом всех временных опор состоит из 2762 элементов и имеет 11724 степени свободы. Результаты натурных испытаний при строительстве показали хорошую сходимость с результатами компьютерного моделирования.

Однако аварии последних лет (обрушения Трансвааль-парка и Басманного рынка в Москве и крытого бассейна в Катовице) показывают несовершенство программных расчетных комплексов; недостаточное подкрепление расчетных положений экспериментальными исследованиями.

Действительно, пик экспериментальных исследований арок пришелся на 60-е годы прошлого столетия. Исследованиями железобетонных арок занимались такие ученые, как: Н.В.Ахвледиани, Г.С.Джапаридзе, А.Л.Хизанишвили, М.П.Ерохина, В.Г.Щелкунова, Е.Г.Мельникова и других [4, 5, 6, 7, 8, 9]. Устойчивости арок посвящены труды профессора А.Н.Динника [10]. В настоящее время экспериментальным исследованиям работы арочных конструкций уделяется гораздо меньше внимания как в Украине [11], так и в странах ближнего зарубежья [12, 13]. Как правило, в настоящее время работы по исследованию арок, в основном, сводятся к численным экспериментам.

В основном, арочные элементы исследовались с точки зрения работы по первой группе предельных состояний [4, 5, 6, 8]. Мало внимания уделялось поведению арочного элемента под равномерно распределенной нагрузкой, с учетом работы бетона и арматуры на разных стадиях нагружения, возникающим напряжениям в разных точках сечения по длине арки. Особенно мало внимания уделялось изучению пологих бесшарнирных арок (кругового очертания) при действии равномерно распределенной нагрузки. Считается, что пологие круговые арки обладают значительными горизонтальными составляющими усилий на опорах. И, следовательно, нужно предусматривать мощное опирание для их восприятия. А значит, такие конструкции применяются реже. Однако, пологая круговая арка является образующим элементом оболочек покрытия. Например, цилиндрическую оболочку можно представить в виде арки большой ширины. Отсюда следует необходимость продолжения исследований ее работы.

Выводы:

1. Приведены примеры возведения и расчета арочных конструкций с применением современных строительных и проектных технологий.
2. Целесообразно дальнейшее экспериментальное исследование арочных конструкций с учетом новых теоретических разработок в области железобетона.

Литература

1. James G., Karoumi R. Monitoring of the New Svinesund Bridge. Report 1. Instrumentation of the arch and preliminary results from the construction phase/Dept. of Structural and Architectural Engineering. KTH Stockholm, Sweden, December 2003. – 90 p.
2. Plos M., Movaffaghi H. Finite Element Analysis of the New Svinesund Bridge. Report 04:12. Design model conversion and analysis of the arch launching/ Dept. of Structural Engineering and Mechanics Concrete Structures. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden, 2004. – 37 p.
3. Данилов В. Формообразующая технология для моста и храма//Строительство и недвижимость. - № 29. – 2003//www.nestor.minsk.by/
4. Ахвледиани Н.В. Несущая способность железобетонных арок и оболочек-покрытий некоторых типов. Автореферат дисс. докт. техн. наук. – Тбилиси: Изд-во АН ГрузССР, 1962. – 13 с.
5. Джапаридзе Г.С. Исследование рациональных форм железобетонных арок на основе теории предельного равновесия. Автореферат дисс. канд. техн. наук. – Тбилиси, 1968. – 29 с.
6. Хизанишвили А.Л. Экспериментально-теоретическое исследование несущей способности железобетонных арок с учетом перераспределения усилий вследствие пластических деформаций арматуры и бетона. Автореферат дисс. канд. техн. наук. – Тбилиси, 1967. – 22 с.
7. Ерохин М.П. Экспериментально-теоретические исследования железобетонных арок при длительных воздействиях нагрузки. Дисс. канд. техн. наук. – Ленинград: ЛИСИ, 1970. – 24 с.
8. Щелкунов В.Г. Напряженное состояние арочных конструкций с учетом длительных процессов//Сб. трудов НИИСК «Строительные конструкции». – Вып. VI. – К.: Будівельник, 1967. – С. 165-178.
9. Мельников Е.Г. Исследование перераспределения усилий в двухшарнирных пологих железобетонных арках. Автореферат дисс. канд. техн. наук. – Саратов, 1971. – 22 с.
10. Динник А.Н. Устойчивость арок. – М.-Л.: ОГИЗ, 1946. – 127 с.
11. Кислюк Д.Я. Методика експериментальних досліджень роботи двохшарнірних залізобетонних арок при повторних навантаженнях//У зб. “Ресурсо-економні матеріали, конструкції, будівлі та споруди”. - Вип. 12. – Рівне, 2005. – С. 169-174.
12. Канте Сейду. Исследования работы стрельчатых цилиндрических оболочек из легкого бетона при статических нагрузениях : Дис. ... канд. техн. наук. - Владимир, 2003.
13. Нугуманов Д.Т. Устойчивость двухшарнирных трубобетонных арок при кратковременном нагружении. Дисс. канд. техн. наук. - Усть-Каменогорск, 1997.