

Научно-исследовательская работа

География

МОСТЫ В УСЛОВИЯХ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Выполнил:

Ефимов Владимир Михайлович

учащийся 10 класса,

МБОУ «Лицей №83-центр образования», Россия, г. Казань

Руководитель:

Кильдеев Хамзя Абдрахманович

учитель географии,

МБОУ «Лицей №83-центр образования», Россия, г. Казань

Содержание:

1. Введение.....	3
2. Теоретическая часть	
Глава 1 Исторический аспект строительства мостов.....	4
Глава 2 Идеальный мост.....	9
3. Практическая часть	
Глава 1 Объекты и методы исследования.....	12
Глава 2 Эксперименты.....	18
4. Результаты и выводы	28
5. Практическая значимость	29
6. Список литературы.....	30
7. Приложение.....	32

Введение

Зачастую решая техническую или конструкторскую задачу, изобретатели в разных уголках Света независимо друг от друга предлагают одинаковые решения. В чем причина? В общей схожести человеческого мышления? В объективных причинах, связанных с той функцией, которую призваны решать изобретенные конструкции?

Например, недавний патентный спор корпораций Apple Co. и Samsung, самолет Concorde и советский Ту-144, автомат Калашникова и немецкая штурмовая винтовка Stg-44, советский космический челнок – «Буран» и американский «Space Shuttle».

В таких ситуациях бывает довольно трудно докопаться до правды и отстоять достижения отечественной науки, техники и производства, доказать, что мы не создавали копии западных разработок.

Данная работа дает инструмент для сравнительного анализа, помогает отследить, как развивалась инженерная мысль в различном культурно-историческом контексте, поставленная перед одной и той же инженерной задачей, решить которую нужно было, используя одни и те же материалы.

Целью данной работы было на примере древних арочных каменных мостов, показать, что конструкторская мысль, поставленная перед одной и той же инженерной задачей, с использованием одних и тех же материалов может развиваться одинаково даже в различном культурно-историческом контексте.

Задачи исследования:

1. Выбрать корректный объект исследования, в данном случае древние каменные арочные мосты, расположенные в различных уголках Света.

2. Подобрать метод математической обработки изображения внутренней арки моста, обеспечивающий достоверность и наглядность получаемых данных.

3. Определить формы кривых, соответствующих внутреннему абрису анализируемых мостов.

Теоретическая часть

Глава 1. Исторический аспект строительства мостов

История арок насчитывает уже более двадцати пяти веков и за это время многое изменилось, конечно, кроме принципа их действия. Уже в третьем веке до н.э. в Азии у шумеров строились храмы с применением арочных сводов. Но одними из самых ранних достоверных находок археологов являются акведуки. Эти сооружения состояли из целых систем арок и простирались на большие расстояния. Водопроводы занимали особое место в благоустройстве городов, рост которых требовал все большего количества питьевой воды. Самым древним известным акведуком можно считать акведук Джерванский в Ниневии (столица древней Ассирии), построенный в 700 до н.э. Его арки достигали высоты пяти метров и были выполнены из камня. Акведук Аква Клавдия был сооружен в 311 до н.э. Аппием Клавдием. Он подавал до 200 куб. м воды в сутки и протягивался на 60 км от гор до Рима. Его аркады из туфа и травертина с пролетами около 15 м опирались на столбы-опоры высотой до 20 м.

Самые первые мосты, которые начал возводить человек, были призваны решить стандартную задачу — помочь переправиться с одного берега на другой. И только намного позже внешнему виду моста стали уделять особое внимание, делать из него предмет эстетического наслаждения и культурные памятники.

На сегодняшний день существует несколько типов мостовых конструкций, чаще всего используют балочные, балочно-консольные, арочные, висячие и вантовые. С античных времен человек продолжает возводить арочные и висячие мосты — эти виды и являются самыми древними типами мостовых переходов. Арочные мосты в процессе эволюции стали одними из самых популярных и удобных.

В далеком 7 веке в Китае, один из инженеров совершил прорыв в мостостроении, осознав, что арочный мост можно делать не только

полукруглым, но и пологим. Чтобы понять принцип нового арочного моста, представьте себе огромный круг, утопленный в землю так, что на поверхности видна только его верхушка. Она и образует пологую арку. Такие мосты требуют на свое возведение меньше материала, чем классический полукруглый мост, также они прочнее.



Рис.1

Очень много мостов было построено в эпоху Римской империи. Некоторые из античных арочных каменных мостов сохранились до сих пор. На территории Европы известно о примерно трехстах мостах, построенных еще римлянами. Самым древним мостом можно считать, возведенный при правлении Октавиана Августа в 45 году до н. э., Римский мост в Кордове.

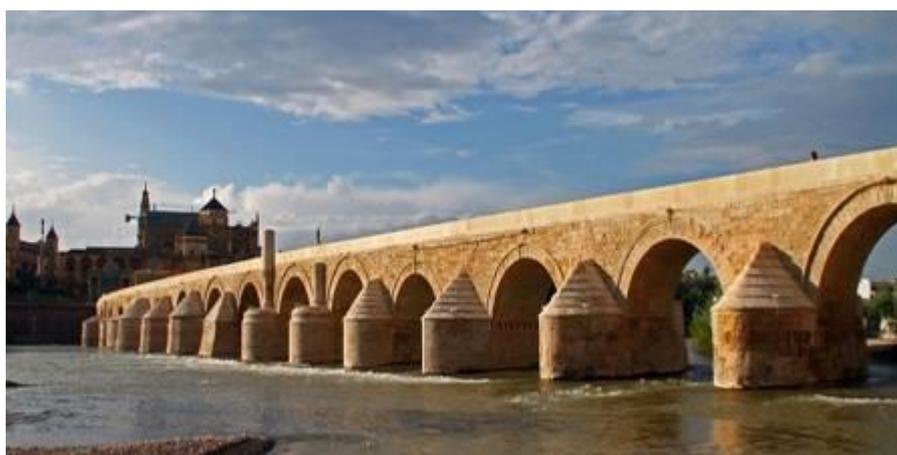


Рис.3. Римский мост в Кордове 45 г. до н.э. (Испания)

Из старинных мостов имеется еще каменный мост в Китае, возведенный в 610 году. Его построил Ли Цзюнь и пользуются переходом до сих пор. В Китае мосты находились на особом положении и несли символический характер. В контексте ландшафта мосты несли в себе образ луны или заходящего солнца. Верх совершенства — мост Луны, мост с аркой правильным полукругом. Мост Луны (Хунань, Китай) вместе со своим отражением в воде он образует совершенный круг.



Рис.4. Мост Луны (Хунань, Китай)

Или Мост Нефритового Пояса (Юйдайцяо) расположенный у западного берега Куньминского озера в Летнем дворце императора Цяньлуна. Этот каменный мост, сооружённый в 1751-64 гг., устроен таким образом, чтобы пропускать под собой императорскую ладью.



Рис.5. Мост Юйдайцяо (Китай) 1751-1764гг

Но в культуре Древнего Китая присутствуют и серьезные сооружения. Самый древний в мире известный историкам однопролетный каменный мост, который сохранился и по сей день функционирует, – это мост Чжаочжоу («Большой каменный мост») в провинции Хэбэй.



Рис.6. Мост Чжаочжоу в провинции Хэбэй, 610 г.

Мост соорудили в 610 году под руководством архитектора Ли Чуня и дошел до нас практически без изменений. Длина центральной арки составляет 50 м. В Европе такую технику мостостроения освоили только в 14 веке.

Другой древнейший арочный мост сохранился в пригороде Пекина. Мост Лугоуцзяо служит переправой на реке Юньцинью уже более 900 лет. Длина построенного из гранитного массива моста равна 260 м. Мост стал известен во всем мире благодаря венецианскому путешественнику Марко Поло, пораженного красотой моста и описавшего его в своих путевых заметках. Поэтому мост называют также мостом Марко Поло.



Рис.7. Мост Лугоуцзяо (мост Марко Поло, пригород Пекина , Китай)

Арочные мосты были популярными всегда, и до сих пор различные их формы все еще остаются в большой моде. Если говорить о простых арках в форме полукруга, широко применявшихся во времена древнего Рима и в Средние века, то в них неукоснительно выполнялось одно неперемное требование: высота арки составляла около половины длины пролета. Таким образом, пролет в 30 м требовал высоты арки по крайней мере в 15 м. Если мост нужно построить на плоской местности, то он будет либо слишком "горбат", а потому неудобен и опасен, либо потребует длинных и дорогих наклонных съездов. Проблема стала особенно острой с появлением железных дорог: для поездов нежелательны "горбатые" мосты, как и вообще перепады высоты, а для строительства пологих съездов серьезным препятствием служит высокая стоимость земляных работ. Если мы придаем арке менее крутую форму, уменьшая отношение ее высоты к пролету, боковое давление вдоль арки на клинчатые камни, как и следовало ожидать, увеличивается. Именно этим вызвано строительство мостов со множеством небольших арок. Не случайно почти все длинные средневековые мосты многоарочные. Недостатками таких мостов являются высокая стоимость возведения многочисленных быков

(обычно под водой и часто в топком грунте), а также большое количество перегораживающих фарватер опор, которые создают неудобства и опасность для судоходства.

Глава 2. Идеальный мост

Решений у задачи постройки моста может быть довольно много: например просто навалить камни так, чтобы верхние камни выступали из воды. Если мост планируется перекинуть через реку – в основание постройки нужно уложить крупные валуны так, чтобы между ними оставались промежутки, достаточные для протока воды. Можно найти или изготовить длинный и узкий камень и перекинуть его с одного берега на другой. Длинные и узкие камни от сплошного гранитного монолита (скалы) умели откалывать еще древние египтяне. Но такой мост может легко сломаться две части под действием собственной тяжести. Понятно, что «балочный» мост из тонкого камня будет крайне ненадежным, а длинный и толстый монолитный камень будет очень трудно транспортировать к месту строительства из-за его веса.

Итак, исходные ограничения, накладываемые на проектировщика таковы:

1. Используемый материал легко разрушается при растяжении, хотя и очень прочен на сжатие.
2. Необходимо использовать для постройки минимальное количество материала – материал и силы всегда в дефиците.

Оптимальным решением для формы моста, с учетом приведенных выше ограничений, является арка, концами стоящая на берегах.

Думается, что такое решение человек «подсмотрел» у природы. Часто каменистые насыпи возникшие естественным путем или насыпанные искусственно размывались водой так, что образовывался свод.



Рис.8.

Нужно отметить, что подобные арки не являются чем-то уникальным – на этом пляже есть еще одна – поменьше. Буквально на днях разрушилась арка на о. Гоцо, Мальтийского архипелага. Стоит вспомнить также знаменитую арку в Новом Свете – Аризонскую Скалу-Арку (Arizona Arch Rock):



Рис.9.

Или знаменитая Лунная скала в провинции Гуанси в Китае (Moon Hill/Peak, Guangxi province, China):



Рис.10.

Возникает закономерный вопрос – какая кривая будет оптимальна для внутренней поверхности арки. Подобных кривых может быть множество: сегмент круга, множество перевернутых парабол разной «выпуклости», синусоиды и множество других. Принцип математичности был сформулирован Галилео Галилеем: «Книга природы написана на естественном языке разума – языке математики» Математика способна снабдить нас практически неисчерпаемым набором «арок». Какую выбрать?

Заставим природу саму ответить на поставленный вопрос. Для этого возьмем цепочку и, держа ее за концевые звенья, дадим середине свободно провисать. Плавная дуга провисающей цепи и есть та идеальная кривая для арки моста.

Похоже, что был в истории человек, который размышлял подобным образом и построил «идеальный» арочный мост:

Однако, нужно понимать, что кривые, описываемые разными уравнениями могут быть очень похожи друг на друга – так сразу и не определишь. Поэтому, поначалу мы решили найти точный математический подход к определению уравнения кривой и определить тип кривой для различных мостов, построенных в различных уголках света в те времена, когда обмен идеями был невозможен или затруднен. Мы хотели понять, как развивалась инженерная мысль в различном культурно-историческом контексте, поставленная перед одной и той же инженерной задачей, решить которую нужно было, используя одни и те же материалы?

Практическая часть

Глава 1. Объект и методы исследования

В качестве **объектов исследования** в данной работе были выбраны мосты. Мосты возводились со времен древности, когда взаимное проникновение культур, новых технологий было затруднено вследствие неразвитости транспорта и плохого либо полного отсутствия сообщения между отдельными континентами и народами. При этом материал, доступный технологам-строителям мостов древности практически одинаков по своим характеристикам для любой точки планеты. Материал этот – камень, а свойства его: слабость на разрыв и высочайшая прочность на сжатие. Используя материал с определенными свойствами, мостостроителям требовалось соединить два берега или две опоры прочной связью, которая должна выдерживать не только свой, но и дополнительный, иногда весьма значительный, вес. Выбранный в работе объект исследования замечателен и тем, что конструкция мостов довольно наглядна, и идеи, лежащие в ее основе, могут быть проанализированы исходя из внешнего вида моста. Это позволило использовать в работе фотографии мостов и мостовых конструкций из различных источников. Однако линии абриса мостов не так уж просты – оказалось, в анализе этих кривых кроется «красивая математика».

План исследования:

1. Подобрать ряд каменных арочных мостов, сохранившихся без или с минимальными изменениями до наших дней, проектирование которых было осуществлено независимо друг от друга. Этому критерию удовлетворяют мосты, на момент постройки находившиеся в географически удаленных или изолированных друг от друга регионах. Подобная изоляция гарантирует отсутствие или незначительный уровень культурного и технологического обмена.

2. Найти изображение моста, конструкция которого подлежит исследованию, в ракурсе обеспечивающем корректную математическую обработку. Желательно иметь фотографическое изображение моста т.к. фотография обладает т.наз. документальностью. Это тем более важно, что при художественном отображении, форма кривых может претерпеть существенное искажение. В отдельных культурах или временных эпохах о достоверности изображения вообще не приходится говорить. Говоря о ракурсе, следует отдавать предпочтение мостам, снятым «в лоб» т.е. линия направления взгляда должна быть перпендикулярна боковой плоскости моста; фотограф должен находиться достаточно далеко и на уровне примерно отвечающем середине высоты моста, чтобы минимизировать перспективные искажения и искажения даваемые фотообъективом. Найти такие изображения оказалось непросто т.к. такой ракурс является наименее выразительным с художественной точки зрения и крайне редко используется хорошими фотографами. К счастью, оказалось, что существуют и «плохие» фотографы.
3. Подобрать метод математической обработки изображения, обеспечивающий достоверность и наглядность получаемых данных. Следует помнить высказывание известнейшего математика современности Гилберта, что часто «математика является отличным способом водить самого себя за нос». Он имел в виду, что часто математические выкладки могут быть «притянуты за уши» для весьма сомнительных доказательств того, чего на самом деле нет.
4. На основе полученных результатов сделать выводы о том, может ли инженерная мысль нескольких конструкторов независимо двигаться в одном направлении.

Прежде всего, обсудим метод математической обработки изображения, обеспечивающий достоверность и наглядность получаемых данных.

Первоначально планировалось проводить обработку следующим образом: получить ряд координат точек, лежащих на дуге арки моста с помощью графического редактора растрового изображения (фотографии) изучаемой конструкции. Это легко осуществимо в известной программе «Photoshop» любой версии. При наведении курсора на любую точку изображения в нижней строке отображается текущая координата курсора. Для удобства вид курсора можно сменить со стандартной «стрелочки» на более удобное для этой цели «перекрестие». Полученные координаты нужно вручную собрать в таблицу «Excel» и аппроксимировать полиномиальной кривой. После аппроксимации мы получаем вид уравнения кривой в аналитическом виде. Дальнейшие выводы планировалось делать на основе сравнения этих уравнений.

Недостатки подобного подхода были сразу же обнаружены при попытке его практической реализации. Во-первых, существует чисто техническая сложность и трудозатратность «ручного» переноса данных из окна одной программы в другую. Во-вторых, нужно принимать во внимание тот факт, что различные изображения имеют различное расположение моста на снимке и разрешение. С первым «справиться» довольно просто: нужно для всех массивов точек координат кривых каждого из мостов поместить левую крайнюю точку кривой арки в начало координат графика в «Excel», для чего необходимо вычесть значение абсциссы и ординаты для каждой из точек.

Из-за различного разрешения, находящихся в свободном доступе файлов фотографий мостов приходилось все графики нормировать – подбирался коэффициент при умножении на который координат всех точек максимальное значение координаты точки по оси абсцисс оказывалось равным 100.

Совсем скверным оказалось то, что полиномиальная, да и любая другая, доступная в «Excel-е» кривая, наложенная на картинку моста, не совпадала с абрисом арки. Это делало бессмысленным всю дальнейшую работу, основанную на полученных уравнениях кривых.

Важным результатом этого этапа работы стало то, что, уже обладая достаточно репрезентативным набором снимков мостов и накладывая на стекле распечатки кривых и фотографий, мы обнаружили, что арки подавляющего большинства мостов, как будто представляют собой часть окружности. К несчастью математический аппарат, заложенный в пакет «Excel» не позволял проверить это предположение. Успешные попытки рисовать циркулем окружности, совпадающие с кривой арки моста прямо на снимках мостов, еще более убедили нас в том, что мы находимся на правильном пути. Однако, у нас не было метода количественной оценки близости абриса арки к окружности, равно как и уверенности, что нарисованная нами данная окружность максимально точно совпадает с арочным изгибом.

Поиск в сети интернет показал, что задача нахождения точки равноудаленной от ряда заданных точек является довольно распространенной инженерной задачей. Например, когда на плане земельного участка нужно найти место для какого-либо опасного объекта (типа газовой котельной или емкости с горючей жидкостью) равноудаленного от прочих объектов (угла жилого дома, дымовой трубы, трансформаторной будки и прочего). По сути это то, что нам и требуется – расставив точки на кривой арки, мы с помощью подобного алгоритма сможем найти центр искомой «оптимальной» окружности. Анализируя квадраты расстояний от центра до экспериментальных точек, мы сможем понять, насколько близка дуга арки к геометрически идеальной дуге найденной нами окружности. Поиск в сети интернет позволил довольно быстро найти программный пакет позволяющий аппроксимировать точки окружностью с количественной оценкой степени аппроксимации в программном продукте «AutoCAD» методом наименьших квадратов, а также к описанию математической, сути реализованного в программе алгоритма.

Найденный пакет написан на языке LISP; листинг программы приведен в приложении к данной работе. Программа позволяет, открыв в «AutoCAD» растровое изображение, прямо на рисунке расставить желаемое количество

точек на изображение арки и далее, запустив алгоритм, получить рисунок найденной окружности, наложенный на изображение моста (см. рисунок).

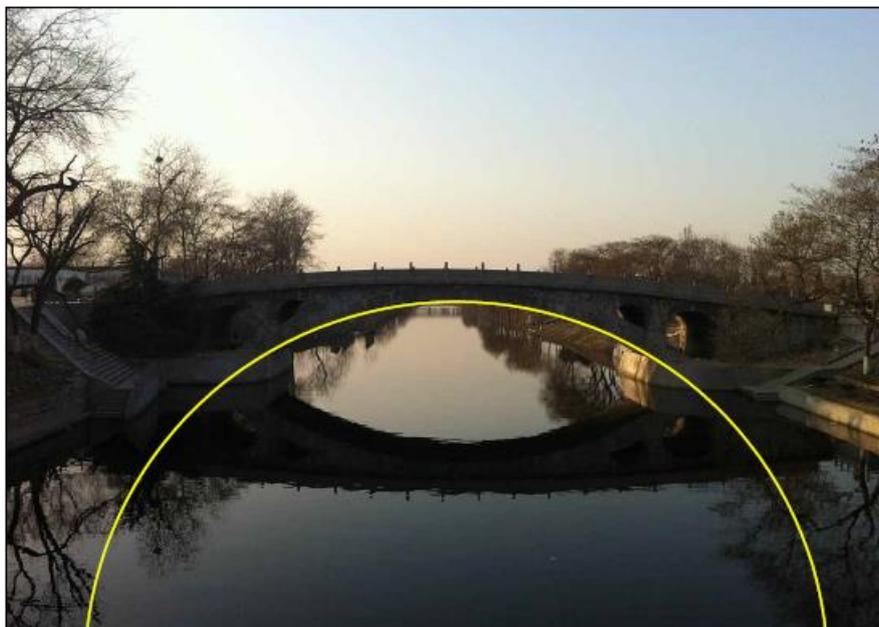


Рис.11.

Программа также выдает координаты центра найденной окружности, значения отклонения расстояния от окружности до данной точки и сумму отклонений. Таким образом, мы получаем в свое распоряжение действенный инструмент для решения нашей задачи и получения количественной оценки близости кривой арки моста к кривой окружности.

Принт-скрины этапов работы с изображением:

Глава 2. Эксперименты

Начнем наше «путешествие» с древнего Китая. Китай всегда славился политикой изоляционизма, считая все народы и племена, не принадлежащие народности Хань, дикарями и варварами. Это, вкуче с географической отдаленностью Китая и Европы делает сравнение этих двух культур наиболее подходящим для нашей работы.



Рис.12.

В провинции Хэбэй до наших дней прекрасно сохранился и используется один из древнейших каменных мостов созданных человеком. Это Мост Андзи, более известный как Мост Жаожоу – старейший мост в Китае, построенный в эпоху династии Суй, в период между 595 и 606 г.г. н.э. Мост соединяет берега реки Сиао в местечке Жао. (Читайте отличную статью по древним мостам Китая на ресурсе[12]).

Мы проанализировали еще ряд наиболее древних мостов КНР. Данные обмеров сведены в таблице 1. Нами было обнаружено, что в основе арки китайских каменных мостов лежит дуга правильной окружности. Этому правилу подчиняется подавляющее большинство китайских арочных мостов, от

самых древних до декоративных мостов современных китайских парков. Существуют исключения, как например уже упоминавшийся Лунный Мост из императорского дворцового комплекса в Пекине (см. рис. 13). Такая форма арки, однако, была специально спроектирована для того, чтобы высокая ладья императора могла свободно проходить под пролетом моста, перекинутого между двумя довольно близкими берегами.

Оставался вопрос, является ли круглая форма арки результатом инженерных прикидок и расчетов или же какие-либо иные факторы могли повлиять на ход мысли проектировщика? Общеизвестно, что китайцы обожают любоваться луной и, обустривая ландшафт, всегда пытаются «обыграть» тему луны, ее отражения в воде, стараясь, чтобы рукотворные постройки и деревья являлись красивым дополнением и обрамлением «главной сцены». В связи с этим, геометрически безупречная форма круга, рисуемая аркой моста и ее отражением в воде, неизбежно привлечет внимание китайского конструктора. Поэтому если мост был расположен в месте отдыха, в саду или просто на фоне красивого ландшафта – от обработки такого снимка мы отказывались, хотя он всегда подтверждал доказываемые нами тезисы.

В этом смысле Мост Андзи имеет особую ценность т.к. при большой длине пролета, расположению на оживленной торговой дороге он должен был быть, прежде всего, функциональным, а не декоративным сооружением. Можно быть уверенным в том, что его проектировщик руководствовался не соображениями эстетики, а в технологичности процесса постройки и надежности при эксплуатации. Стабильность конструкции в течение почти полутора тысячелетия отличное подтверждение сказанному.

По сходной же причине мы не взяли для анализа мосты эпохи расцвета Рима. Желание создать постройки монументальные, поражающие воображение и заставляющие восхищаться мощью Рима при избытке рабочих рук и средств делают мосты Рима скорее памятниками богатства империи, а не математических знаний и представлений строителей той эпохи. Мы старались

подбирать мосты из провинций Рима и виадуки, где материал экономили, а рабочие руки были в дефиците – это являлось гарантией создания рациональной конструкции.

Хорошей находкой стал мост Кемера или Кемер на территории современной Болгарии. Этот мост сохранился до наших дней почти в первозданном состоянии.



Рис. 13 Лунный Мост

На европейской части континента мы выбрали для анализа следующие мосты: римский мост Кемера на территории современной Болгарии, мост I в. до н.э. в долине Аоста в северной Италии, безымянный мост римской эпохи над каньоном на территории современной Турции недалеко от Анталии, Понте-Веккьо – буквально «Старый Мост» во Флоренции (1345 г.), мост и акведук Понт-дю-Гард в Провансе, которому уже более 2000 лет и мост Риальто в Венеции (1588-1591г.г.).

Выбор этих мостов и этих временных рамок обусловлен невидимой границей, проведенной венецианским купцом и путешественником Марко Поло. После возвращения из семнадцатилетнего странствия по Китаю в в 1290-

1300 г.г., написанная Поло книга зародила интерес европейцев к Азии, после чего началась взаимная экспансия культур. Строго говоря, выбор моста Риальто уже не так безупречен, мы взяли его лишь потому, что его мраморная скоба, соединяющая берега Гранд Канала тысячемостовой Венеции, является, по нашему мнению, вершиной Европейского инженерного искусства в строительстве мостов.

Мы также постарались найти мостовые конструкции Японии или цивилизаций Нового света. Результат оказался таков:

В Японии мы обнаружили мост Меганебаши. Этот мост является одной из старейших каменных построек Японии и особо охраняется как памятник, круговая форма арки прекрасно вписывается в нашу гипотезу, однако на основе этих данных нельзя делать никаких выводов. Дело в том, что как выяснилось при более детальном анализе исторического контекста постройки этого моста, он был построен в 1634 году в порте Нагасаки, который еще в 1580 году был подарен дайме Омурой Сумитада «Обществу Иисуса» португальских купцов-мореплавателей как ворота для торговли португальцев со всей Японией. Это вполне европейский мост, в котором, в сущности, нет ничего японского. Для японцев было привычнее выполнять постройки из дерева, мосты из которого, увы, не подходят для нашего рассмотрения.

Цивилизации Нового света строили мосты, но не арочные. Через глубокие ущелья они перекидывали веревочные мосты, напоминающие современные подвесные. Строительство каменного моста, представляется слишком непосильной работой для небольших общин той цивилизации. С другой стороны индейцы, похоже, преуспели в технологии изготовления веревок из растительного волокна, чему способствует климат и растительность типа лиан, широко распространенная в тех местах. Подобных технологий и растительного сырья не было у европейцев, поэтому еще в эпоху Возрождения веревки были очень дороги: моток длиной в пару сотен метров являлся хорошим приданым. Эту историю вы можете в деталях прочесть у Ирвинга

Стоуна в романе «Муки и Радости» [13]. Через небольшие канавы индейцы перекидывали толстые каменные блоки, строя таким образом балочные мосты.

Во всяком случае, пересмотрев массу иллюстраций и фотографий городов Инков и Майя, мы не обнаружили чего-то похожего на арочные мосты и вообще арки (оконные и дверные проемы у них перекрыты массивными притолоками).

Результаты проделанных в работе измерений сведены в таблицу 1, изображения анализируемых по форме мостов приведены в Приложении:

Таблица 1.

№	Название моста	Страна	Время создания	Кол-во точек	Среднее арифметическое отклонение, рix	% отн. макс. откл. к радиусу	Комментарий
1	Андзи (Жао Жоу)	Китай, Хэбей	595-606 г.г. н.э.	12	0.0	0.25	Только косметические реставрации
2	Лугоу (Мост Марко Поло)	Китай, Пекин	XII в. н.э.	16	0.0	0.75	Третья арка справа, ракурс с юга на север
3	Бишуи	Китай, Шандонг	V в. н.э.	19	-0.001	1.3	Мост с родины Конфуция
4	Мост Дракона, В Янгшуо, Гуилин	Китай, Гуанси	XVII в. н.э. ?	16	0.0	0.9	
5	Древний Мост Шан Ли или Мост Эр Сиан	Китай	XVII-XVIII в. н.э. ?	22	-0.005	3.5	Значительно поврежден, ветхий
6	Меганебаши или «Мост-очки»	Япония, Нагасаки	1634	25	0.0	1.9	Уничтожен наводнением 1982 г. Восстановлен из найденных камней. Левое «очко».
7	Кемера	Болгария, дер. Борино	Эпоха Рима- раннее средневековье?	15	-0.026	2.3	Никогда не реставрировавшийся, расположен в «медвежьем углу» Европы
№	Название моста	Страна	Время создания	Кол-во точек	Среднее арифметическое	% отн. макс. откл. к	Комментарий

					отклонение, рix	радиусу	
8	Понте Веккьо	Италия, Флоренция	1345	14	0.0	0.1	Арка центрального пролета
9	Понт-дю-Гард	Франция, Прованс	Эпоха Рима	15	0.0	0.7	Справа вторая нижняя арка
10	Риальто	Италия, Венеция	1588-1591	18	0.0	0.4	
11	Римский мост над каньоном	Турция, Манавгат, Анталия	Эпоха Рима	18	-0.008	0.4	Был восстановлен, степень реставрации неизвестна
12	Мост Св. Мартина	Италия, Аоста	I в. до н.э.	15	-0.014	0.8	Дошел до нашего времени с минимальными изменениями

Анализ таблицы 1 показал:

Среднее арифметическое отклонение близко к нулю для всех объектов т.к. алгоритм поиска размещает окружность таким образом, чтобы равное количество точек оказалось внутри и за ее пределами, собственно в этом и состоит суть метода наименьших квадратов. Этот параметр говорит скорее о том, что алгоритм при работе не дал сбоя и можно продолжить более глубокий анализ.

Во всех без исключения случаях, визуально окружность легла точно на границу каменной кладки арки. Небольшие отклонения от идеальной окружности оцениваются по величине отклонения точки от аппроксимированной кривой. Файлы с фотографиями имеют различное разрешение, программа же возвращает радиус окружности и отклонения от окружности для каждой из точек в пикселях, поэтому мы рассчитали для одной точки, максимально «выбивающейся» из ряда, отношение отклонения к радиусу аппроксимированной окружности. Данная величина в % приведена в таблице. Учитывая, что точность в 1-3% является достаточно хорошей для измерения физических величин можно сказать, что во всех значимых случаях прослеживается четкое соответствие найденной окружности и «предполагаемой» окружности арки моста.

Здесь, когда мы говорим о точности физических измерений, мы, в том числе, имеем в виду и то, что строителям, много веков назад, требовалось при возведении многометровых арок мостов сохранить точность около 1%, что представляется отличным результатом. Представьте, что для пролета моста Св. Мартина в 35 метров ошибка составила менее 0.8% или 28 см в самом «кривом» месте. Неплохо для моста возрастом более 2-х тысяч лет.

Для Понте Веккьо с центральным пролетом 30 метров эта величина еще меньше: 3 сантиметра, что сопоставимо с точностью позиционирования курсора при работе со снимком! В целом же прослеживается четкая корреляция

между рассматриваемой величиной и «ухоженностью» моста – тем как за ним следили, подвергался ли он реставрациям и прочее.

Подводя итог можно с уверенностью утверждать, что арки изученных мостов (Китайские и Европейские) практически идеально повторяют дугу окружности; отклонения вызваны возрастом и состоянием постройки, но не первоначальным замыслом архитектора. Величина отклонений не зависит от места постройки моста; в старые времена китайцы делали такие же по качеству вещи, что и европейцы.

Справедливости ради следует заметить, что для дуги арки моста существует более оптимальное конструкторское решение, отличное от части окружности – цепная линия. Почему-то строители древних мостов получили и реализовали неверное решение. Можно было бы предположить, что при дугах большого радиуса кривизны цепная линия и окружность визуально совпадают, однако это не совсем так, исходя из уравнений описывающих эти кривые (см. рис.19):

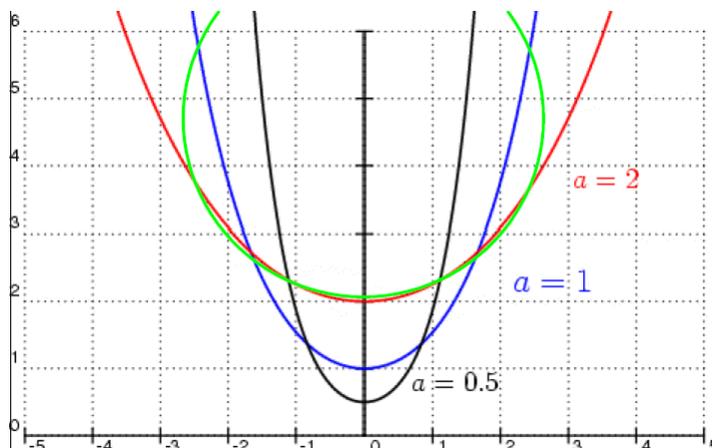
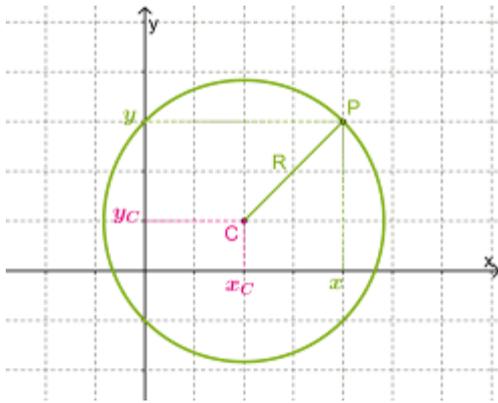


Рис.14 Черная, синяя, красная кривые – цепные линии, зеленая кривая - часть окружности.

Уравнение окружности :



$$(x-x_c)^2+(y-y_c)^2=R^2,$$

где центр окружности находится в точке $C(x_c;y_c)$, а радиус окружности равен R .

Если центр окружности находится в начале координат $(0;0)$, то уравнение имеет вид

$$x^2+y^2=R^2$$

Цепная линия — линия, форму которой принимает гибкая однородная нерастяжимая тяжёлая нить или цепь с закреплёнными концами в однородном гравитационном поле. Перевернутая цепная линия — идеальная форма для арок. Однородная арка в форме перевернутой цепной линии испытывает только деформации сжатия, но не изгиба.



Результаты и выводы

1. В данной работе на примере древних арочных каменных мостов показано, что конструкторская мысль нескольких людей/коллективов может независимо работать в одном направлении, приводя к одинаковым решениям, обусловленным законами природы, доступными технологиями и используемыми материалами даже при условиях географической изоляции.
2. В работе обнаружено, что строители древних мостов до эпохи великих географических открытий независимо друг от друга получили и реализовали одинаковое конструкторское решение для дуги арки моста.
3. Кривая арки каменных мостов, построенных в древнем Китае и Европе в период расцвета Римской империи до эпохи Ренессанса, представляла собой часть дуги правильной окружности.
4. Математический анализ внутреннего абриса древних мостов показал, что при их строительстве практически не встречалось такое оптимальное в подобных случаях инженерное решение, как использование «цепной линии». Мост Борго-а-Мощано является единственным исключением, построенным, по-видимому, гениальным конструктором, опередившим свое время.

Практическая значимость

Данное исследование на наглядном примере, используя для иллюстрации возможности точных наук, позволяет проиллюстрировать ограниченную применимость методологии визуального сравнения технических конструкций и изобретательских идей для выявления степени их родства на примере понятном школьнику. Воспитания у школьника средних и старших классов критического мышления.

На примере данной работы показано, что междисциплинарный подход к решению поставленных задач наиболее эффективен. Привлечение исторических и данных, а также применение знаний в области математики, физики и географии позволяет корректно делать выводы об уникальности тех или иных технических решений.

Список литературы

1. «Шаттл» против «Бурана». История соперничества - <http://www.npprusmet.ru/articles.php?id=126>
2. «Шаттл» и «Буран»: такие разные близнецы - <https://topwar.ru/37901-buran-i-shattl-takie-raznye-bliznecy.html>
3. Правда о создании автомата Калашникова и немецкой штурмовой винтовки Stg-44 - <https://topwar.ru/13006-pravda-o-sozdanii-avtomata-kalashnikova-i-nemeckoy-shturmovoy-vintovki-stg-44.html>
4. Энциклопедия для детей. Том16. Физика. Ч.1. Биография физики. Путешествие в глубь материи. Механическая картина мира. / Гл. ред. В.А. Володин. – М.: Аванта+, 2002. –С.291-292)
5. Энциклопедия для детей. Том16. Физика. Ч.1. Биография физики. Путешествие в глубь материи. Механическая картина мира. / Гл. ред. В.А. Володин. – М.: Аванта+, 2002. –С.425-426
6. Большая книга знаний. – Ред. В. Бологова. – М.: Махаон. – 2011. - С.363
7. Авиация: совпадения в дизайне летательных аппаратов, случайные и не очень.- <https://www.yaplakal.com/forum2/topic1506192.html>
8. Общая характеристика арочных систем - <http://vse-lekcii.ru/mosty-i-tonneli/metallicheskie-mosty/obshhaya-harakteristika-arochnyh-sistem>
9. Самые старые арочные мосты - <http://kerch-most.ru/samye-starye-arochnye-mosty.html>
10. Арочные мосты - <http://www.inmathematics.ru/inmats-1021-1.html>
11. Арочные конструкции - <http://www.krugosvet.ru/enc/arkhitektura/arochnye-konstruktsii?page=0,2>
12. Jessica Larson-Wang. «Top Bridges in Rural China You Must See». - <https://theculturetrip.com/asia/china/articles/top-bridges-in-rural-china-you-must-see/>

13. И. Стоун «Муки и радости» Пер. - Н.Банников.- Кишинев, "Картя молдовеняскэ", 1976. –456 С.

Компьютерная программа «Аппроксимация точек окружностью»

```
(setq koord '())

; Создание набора из точек
(setq repl (getkeyword "\nВыберите точки для определения отклонений: "))
(setq nab_point (ssget))
(setq i -1 nab_len1 (sslength nab_point))

; Цикл по количеству элементов набора nab_point
(repeat nab_len1
  (setq i (1+ i))

  ; Выбор следующего примитива и получение его списка
  (setq pointlist (entget (ssname nab_point i)))
  (setq koorpoint (cdr (assoc 10 pointlist)))

  ; Добавление координат точек к списку koord и имён к списку name

  (setq koord(append koord (list koorpoint)))
  );_end of repeat

(setq koor (mapcar 'list (mapcar 'car koord) (mapcar 'cadr koord)))
(setq X (mapcar 'car koord))
(setq Y (mapcar 'cadr koord))
(setq n (length koord))
(setq Xc (/ (apply '+ X) n))
(setq Yc (/ (apply '+ Y) n))

(setq Xni (mapcar '(lambda (x) (- Xc x)) X))
(setq Yni (mapcar '(lambda (x) (- Yc x)) Y))
(setq X2 (apply '+ (mapcar '* Xni Xni)))
(setq Y2 (apply '+ (mapcar '* Yni Yni)))
(setq XY (apply '+ (mapcar '* Xni Yni)))
(setq X3 (apply '+ (mapcar '* Xni Xni Xni)))
(setq Y3 (apply '+ (mapcar '* Yni Yni Yni)))
(setq P (apply '+ (mapcar '* (mapcar '* Yni Yni) Xni)))
(setq Q (apply '+ (mapcar '* (mapcar '* Xni Xni) Yni)))
(setq P (* 0.5 (+ X3 P)))
(setq Q (* 0.5 (+ Y3 Q)))
(setq F (- (* X2 Y2) (* XY XY)))
(setq An (/ (+ (* Y2 P) (* (- XY) Q)) F))
(setq Bn (/ (+ (* (- XY) P) (* X2 Q)) F))
(setq A (- Xc An))
(setq B (- Yc Bn))

(setq Rad(sqrt (+ (* An An) (* Bn Bn) (/ (+ X2 Y2) n))))
(setq cent (list A B))
```

```

(setq centr (list(list A B)))
; Печать результирующих списков
  (princ "\nРадиус Окружности!: ")
  (princ Rad)
  (princ "\nЦентр Окружности!: ")
  (princ cent)
(setq cen(append cent (cddar koord)))
(entmake (list '(0 . "CIRCLE") (cons 10 cen)(cons 40 Rad)))

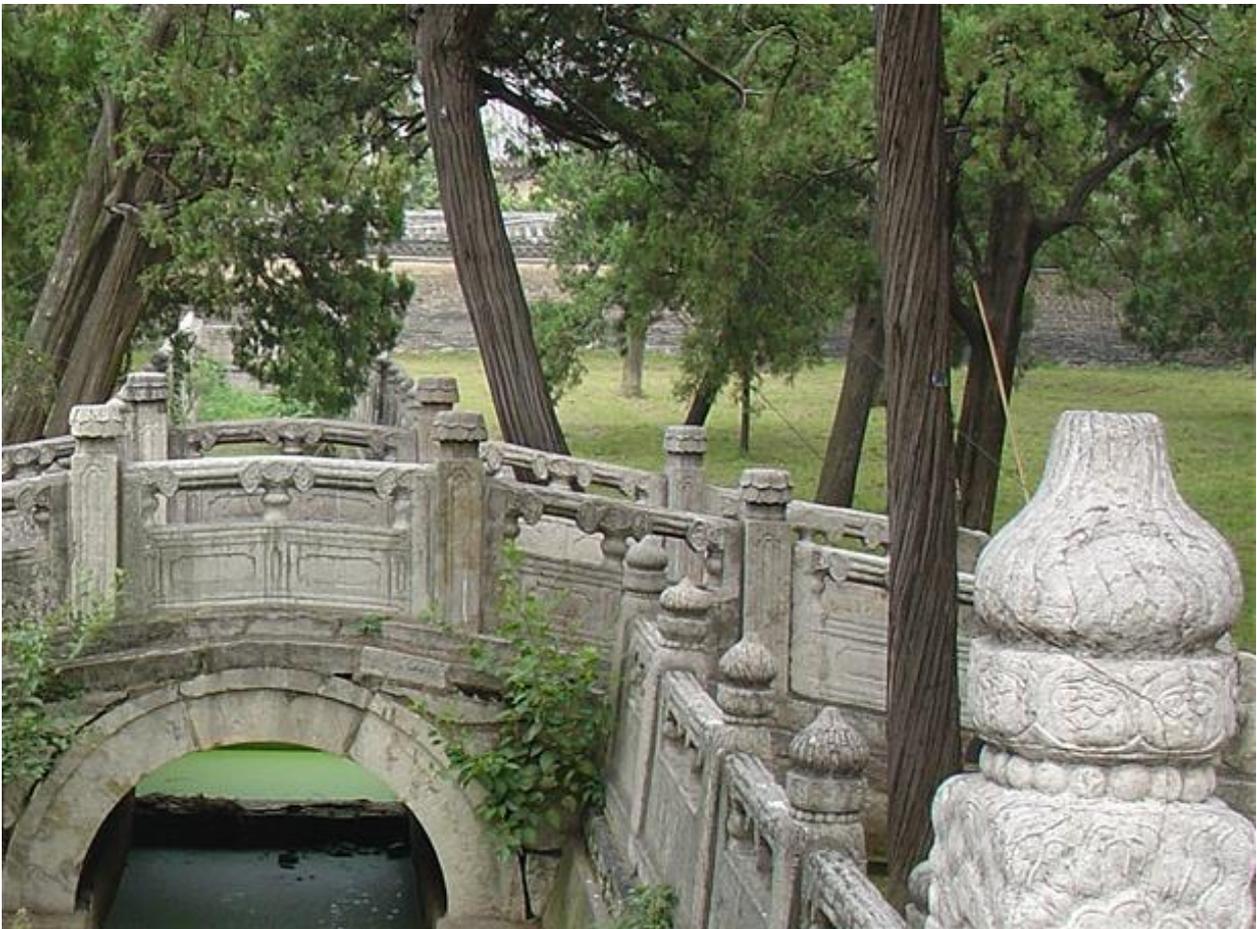
; Вычисление расстояний от центра до каждой точки
  (setq rast (apply (function append)
    (mapcar (function (lambda (a) (mapcar (function (lambda (b) (distance a b))) centr))) koor)
  ) ;_ end of apply
  ) ;_ end of setq

; Вычисление отклонений точек
  (setq otkl(mapcar '(lambda (x) (- x Rad)) rast))
  (setq otkl2(mapcar (function (lambda (x) (atof (rtos x 2 3)))) otkl))
  (setq mod_otkl (mapcar 'abs otkl2))
  (setq max_otkl(apply 'max mod_otkl))
  (princ "\nМаксимальное отклонение по модулю: " )
  (princ max_otkl)
  (setq min_otkl (apply 'min mod_otkl))
  (princ "\nМинимальное отклонение по модулю: " )
  (princ min_otkl)
(setq n(length otkl))
(setq sr_ar(/ (apply '+ otkl) n))
(setq sr_a(atof (rtos sr_ar 2 3)))
(princ "\nСреднее арифметическое отклонение: " )
  (princ sr_a)
(princ "\nКоличество измеренных точек: " )
  (princ n)
(princ "\nОтклонения точек: " )
  (princ otkl)
(princ)

```



Мост Лугоу или Марко Поло



Бишуи



Мост Дракона



Древний Мост Шан Ли или Мост Эр Сиан



Меганебаши или «Мост-очки»



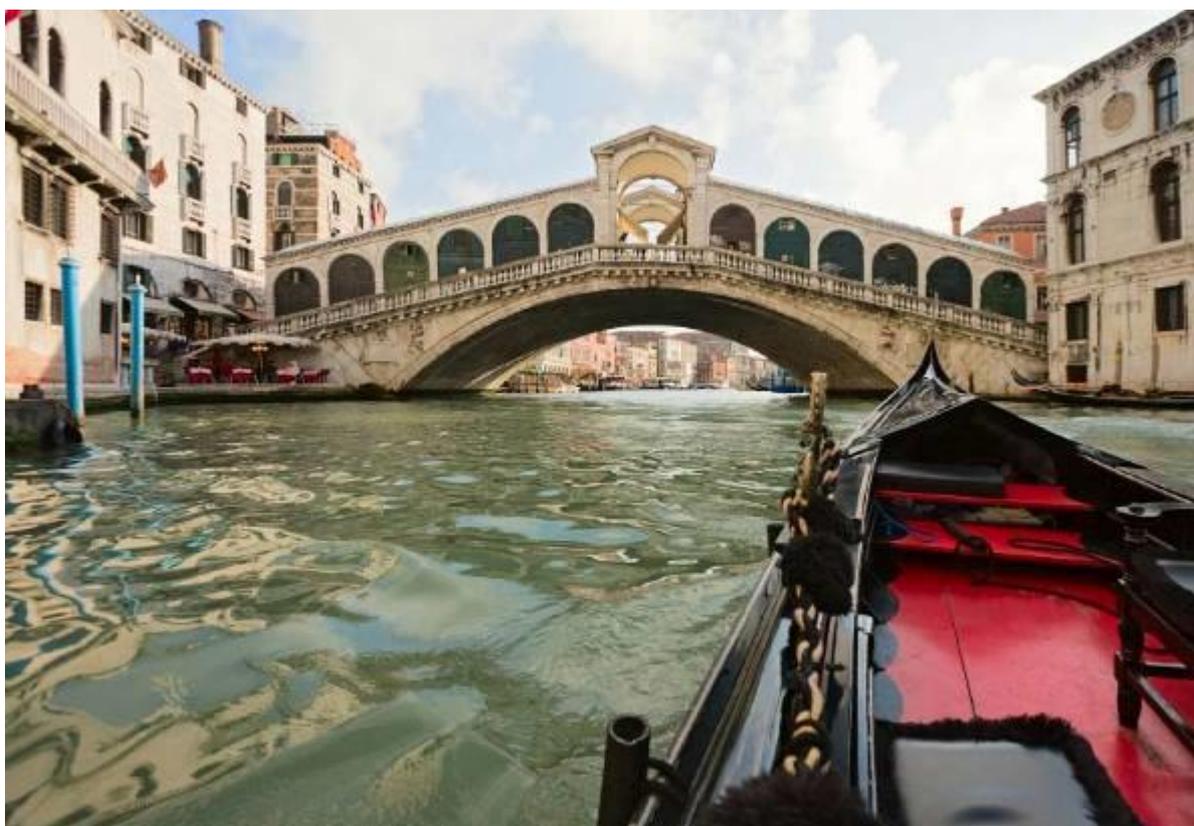
Мост Кемера, Болгария



Мост Понте Веккьо, Флоренция, Италия



Понт ду Гард



Мост Риальто, Венеция, Италия



Римский мост над каньоном, Турция, Анатолия



Мост Св. Мартина в долине Аоста, Италия