

Поддерживающие линии и математическое обоснование архитектуры арок

Научный руководитель – Скворцова Елена Владимировна

Мерзликін Тимофей Алексеевич

Абитуриент

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, Россия

E-mail: t.merzlikin@bk.ru

Работа посвящена изучению устойчивых строительных сборок типа Египетских Пирамид, в которых нет скрепления блоков. Части таких конструкций лежат одна на другой под действием только силы тяжести и реакций опор. Работа по этому направлению проводится четвёртый год. Сначала были изучены устойчивые строительные арки из одинаковых прямоугольных блоков [1,2]. Потом был построен устойчивый купол из круговых секторов, но тоже одинаковой ширины [3]. Недостатком двух изученных конструкций было ограничение по длине строительных блоков [4]. Новая задача появилась из архитектурного требования внешнего вида сооружения. В этой работе изучаются только арки, но уже из различных прямоугольных блоков. Архитектор задаёт внешний вид арки. Математик должен рассчитать, какую часть материала под внешним обводом можно удалить, чтобы арка не обрушилась, то есть прямоугольные блоки продолжали устойчиво лежать друг на друге, как в Египетских Пирамидах. Математически задача свелась к вычислению координаты центра тяжести любой вышележащей части арки над любым горизонтальным сечением. Этот центр тяжести не должен выходить за лежащую под ним опору, иначе конструкция опрокинется. Консультация с математиками не дала результата, специалисты сказали, что надо решать интегральное уравнение. Но для простейшего случая, для треугольной арки, задачу удалось решить геометрическим методом на основе теоремы Фалеса и подобных треугольников (рис.1). Более сложные внешние архитектурные обводы были изучены компьютерным методом по специальному разработанному алгоритму (рис.2). Оказалось, что каноническая архитектура куполов храмов интуитивно была учтена новым математическим направлением – поддерживающими кривыми и поверхностями (рис.3). В работе показаны примеры архитектурного проектирования интерьера по заданному внешнему виду арки. Компьютерная программа сначала была проверена на известном результате, то есть для треугольной арки. Потом были изучены ещё три вида арок. Арка типа высотного моста имеет поддерживающую линию, которая похожа на параболу, но пока это гипотеза. Математическими методами удалось изучить пример архитектурного авангардизма в виде обратной треугольной арки, лежащей на вершине, а не на основании треугольника. На этом примере было показано, что не каждое архитектурное требование имеет технологическую поддерживающую основу, блоки не будут лежать один на другом под действием силы тяжести, их надо дополнительно закреплять в общей конструкции. Наконец, главным результатом работы стало обоснование луковичной формы арок, как куполов храмов. Оказалось, что древние зодчие интуитивно предчувствовали существование поддерживающих кривых и поверхностей, которые применяли на практике.

Источники и литература

- 1) Андреев Н.Н., Коновалов С.П. и др. Лестница в бесконечность / Математические этюды. – Раздел: Этюды. – Электронный ресурс: <https://etudes.ru/etudes/stairway-to-heaven/>

- 2) Тимофей Мерзликин. Устойчивые строительные сборки. 09.02.2022. Электронный ресурс (видеоролик 6:12): <https://youtu.be/hPPX5vYfAqM>
- 3) Тимофей Мерзликин. Конструкция устойчивого строительного купола. – 26 августа 2023 г. – Эл. ресурс (видеоролик 4:09): <https://youtu.be/ibAdH6h4idw?si=AtZXx4-dXtAWhYSc>
- 4) Мерзликин Т.А. Устойчивые укладки строительных материалов / V Всероссийская с международным участием школа-конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Материалы и технологии XXI века». 30 ноября – 2 декабря 2022 г. - Отв. ред. А.В. Герасимов. [Электронный ресурс] – Казань.: КФУ, 2022. – С.287. - https://kpfu.ru/portal/docs/F2043986325/Book.of.abstracts.MT21_2022._1_.pdf

Иллюстрации

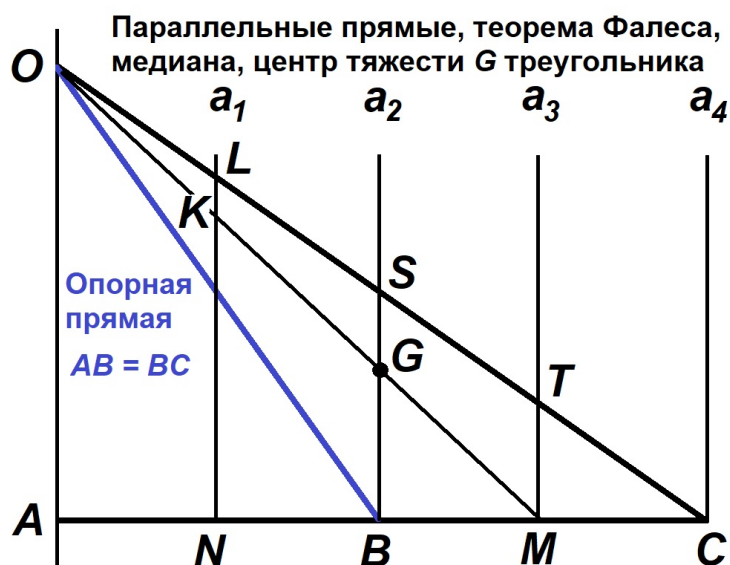


Рис. : 1. Геометрический расчёт поддерживающей линии треугольной арки.

EXCEL-алгоритм (рекурсия)

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

А7	В	С	Д	Е	Ф	Г	
7	35	14,1651	20,8349	24,5826	16,5675	35	
С7	А	В	С	Д	Е	Ф	Г
6	30	11,7762	18,2238	20,8881	14,1651	30	
7	35	14,1651	20,8349	24,5826	16,5675	35	
Д7	А	В	С	Д	Е	Ф	Г
7	35	14,1651	20,8349	24,5826	16,5675	35	
Е7	А	В	С	Д	Е	Ф	Г
7	35	14,1651	20,8349	24,5826	16,5675	35	
Ф7	А	В	С	Д	Е	Ф	Г
7	35	14,16511	20,83489	24,58255	16,56754	35	

Рис. : 2. Алгоритм расчёта поддерживающей линии по внешнему контуру арки.

Цифровая модель внешнего контура и результаты расчёта луковичной арки

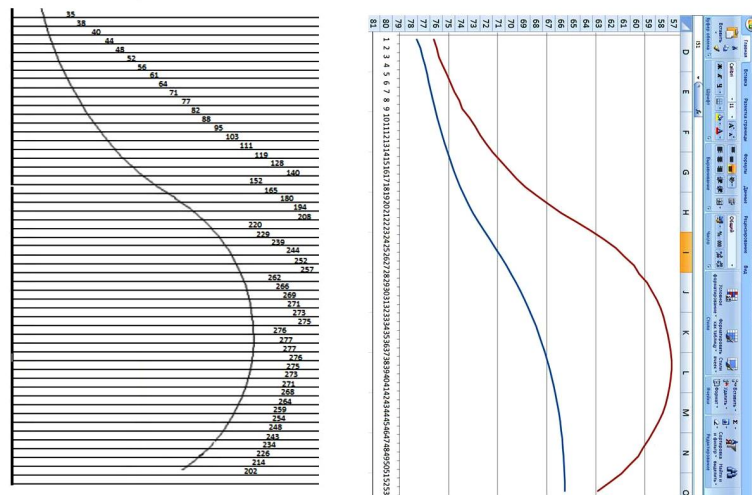


Рис. : 3. Пример расчёта поддерживающей линии луковичной арки.