

---

---

УДК 624.04 (72.03)

## ИНЖЕНЕРНАЯ МОДЕЛЬ КАК СПОСОБ ДЕМОНСТРАЦИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГОТИЧЕСКИХ СОБОРОВ

**Луконина Александра Сергеевна**, студент, направление подготовки 07.03.03 Дизайн архитектурной среды, Оренбургский государственный университет, Оренбург  
e-mail: lukonina262@gmail.com

**Макеева Арина Петровна**, студент, направление подготовки 07.03.03 Дизайн архитектурной среды, Оренбургский государственный университет, Оренбург  
e-mail: arina.makeeva8@yandex.ru

Научный руководитель: **Дырдина Елена Васильевна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механики материалов, конструкций и машин, Оренбургский государственный университет, Оренбург  
e-mail: dyrdinaev@gmail.com

***Аннотация.** Проблема определения приоритетности функциональности или формы архитектурных произведений является актуальной на протяжении многих веков. Особенно остро она проявляется в дискуссиях вокруг готических соборов, которые длятся не одно десятилетие. Целью данной работы является выявление соотношения функции и формы в работе конструкции готического собора и анализ способов и приемов, используемых строителями этих сооружений для достижения гармонии. В качестве основного метода архитектурного анализа используется выявление конструктивной основы сооружения, включая работу материалов, из которых оно построено, конструктивных элементов и их сочетаний, передающих и распределяющих нагрузку. В результате проведенного исследования авторами выполнена инженерная модель готического собора в материале, которая наглядно демонстрирует работу конструкций, передачу нагрузок и погашение распора. Практическая значимость модели заключается в ее высокой информативности при изучении арочных конструкций архитектурных сооружений.*

***Ключевые слова:** готический собор, инженерная модель сооружения, арочные конструкции, распор, контрфорс, аркбутан.*

***Для цитирования:** Луконина А. С., Макеева А. П. Инженерная модель как способ демонстрации конструктивных особенностей готических соборов // Шаг в науку. – 2022. – № 4. – С. 49–54.*

## ENGINEERING MODEL AS A WAY TO DEMONSTRATE DESIGN FEATURES OF GOTHIC CATHEDRALS

**Lukonina Alexandra Sergeevna**, student, training program 07.03.03 Architectural environment design, Orenburg State University, Orenburg  
e-mail: lukonina262@gmail.com

**Makeeva Arina Petrovna**, student, training program 07.03.03 Architectural environment design, Orenburg State University, Orenburg  
e-mail: arina.makeeva8@yandex.ru

Research advisor: **Dyrdina Elena Vasilyevna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanics of Materials, Structures and Machines, Orenburg State University, Orenburg  
e-mail: dyrdinaev@gmail.com

***Abstract.** What is more important in an architectural work, functionality or form – this problem has been relevant for many centuries. It is especially evident in the discussions around Gothic cathedrals, which have been going on for decades. The purpose of this work is to identify the relationship between function and form in the construction of a Gothic cathedral and to analyze the methods and techniques used by the builders of these structures to achieve harmony. As the main method of architectural analysis, the identification of the structural basis of a structure is used, including the work of the materials from which it is built, structural elements and their*

*joints that transmit and distribute the load. As a result of the study, the authors made an engineering model of a Gothic cathedral in the material, which clearly demonstrates the operation of structures, the transfer of loads and the repayment of thrust. The practical significance of the model lies in its high information content in the study of arched structures of architectural structures.*

**Key words:** Gothic cathedral, engineering model of the building, arched structures, horizontal force, buttress, *arkbutan*.

**Cite as:** Lukonina, A. S., Makeeva, A. P. (2022) [Engineering model as a way to demonstrate design features of gothic cathedrals] *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 4, pp. 49–54.

При исследовании архитектурных произведений важно помнить золотое правило Витрувия «Прочность-Польза-Красота». Выражение красоты через работу конструкций (прочность) в архитектуре называют тектоникой. Говоря о тектонике и работе конструкций в сооружениях, необходимо иметь в виду, что конструктивное решение (здесь могут предполагаться, как материалы для строительства сооружения, конструктивные узлы, так и соединительные конструктивные элементы, передающие и распределяющие нагрузку) – есть совокупность таких характеристик здания, при которых обеспечивается физическая жесткость, без которой невозможна основательность и надёжность.

Что более первично «красота» или «прочность» конструкций? Существуют противоположные точки зрения при обсуждении этого вопроса.

Проблема восприятия баланса функции и формы в работе конструкций архитектурных памятников является *актуальной* по сей день. Особенно ярко эта проблема проявляется в дискуссиях вокруг готического собора, которые длятся не одно десятилетие. Еще в 19 веке об этом спорили известные историки архитектуры Виолле ле Дюк и Поль Абраам, которые имели противоположные точки зрения. Описание основных аргументов этого известного в истории архитектуры спора приводится в работах [4] и [6].

Как отмечает в своей статье В. Ф. Маркузон [4], французский архитектор Виолле-ле-Дюк в середине 19 века дал свое определение готики как рационально-логической системы. Виолле-ле-Дюк и его последователи считали, что конструктивная часть собора ориентирована на устойчивость крупных масс. Он изучал приёмы, основываясь на которые, зодчие могли уменьшить размеры готического собора и увеличить полезность распределения нагрузки, что делало конструкцию ажурной. По его мнению, основой готического зодчества является оригинальность конструкций, в состав которых входят: аркбутаны, контрфорсы, нервюры, стрельчатые арки, нефы, пинакли.

Однако в середине 20 века французский архитектор Поль Абраам подверг серьезной критике

теорию Виолле-ле-Дюка. Он считал, что приписывавшиеся готическому стилю конструктивные функции не связаны с действующими силами в конструкциях собора. Абраам считает эту систему идеально художественной, основанной на несуществующей действительности сил. Исследование Пауля Франкля, австрийско-американского историка и теоретика искусства (середина 20 в.), дополняет теорию Абраама и предполагает, что декоративная форма утверждает и меняет внутреннюю и внешнюю составляющие готического собора [6].

Мы согласны с историком архитектуры, профессором В. Ф. Маркузоном [4], который утверждает, что «Готический собор доказывает нам, что невероятные конструкции и художественная составляющая это цельный образ и одно без другого существовать не сможет».

Проблема, что первично конструкция или образ, их взаимное влияние, остается актуальной по сей день.

**Объект исследования** – европейская средневековая архитектура (середины 12 века), а именно готические соборы.

**Предмет исследования** – конструктивные особенности готических соборов.

**Цель** – представить способ, наглядно демонстрирующий особенности тектоники готических соборов и позволяющий провести сравнительный анализ наиболее известных романских и готических соборов.

Выбирая методы исследования, мы опирались на рекомендации кандидата искусствоведения, профессора Мусатова А. А.<sup>1</sup>, согласно которым анализ любого архитектурного сооружения складывается из следующих этапов:

- «поиск, отбор, структурирование материала по избранной тематике;
- анализ конструктивных и тектонических систем особенности романской и готической архитектуры;
- изучение наиболее выдающихся романских и готических соборов Франции, Германии, Англии, Италии, выявление влияния романского стиля на готический стиль;

<sup>1</sup> Мусатов А. История архитектуры и градостроительства – М.: ГА МАРХИ, 1977. – 56 с.

– сравнение, комплексный анализ источников, систематизация и обобщение полученной информации»<sup>1</sup>.

Особенности работы конструкций готического собора:

- передача восприятия распора арок (арочных сводов) посредством системы аркбутанов и контрфорсов;
- несущий каркас.

В романской архитектуре (предшествующей готическому стилю) несущей частью сооружения являются стены. Когда архитектор желал увеличить размер свода, то сразу же увеличивался вес здания, а также толщина стен. Строители искали способ облегчения сводов. Вместо внушительных стен в готических соборах выстраиваются рядами

контрфорсы, а позднее, для восприятия и перераспределения горизонтальных усилий (распора) используют аркбутаны. Увеличивая высоту стрельчатых арок, архитекторы добивались уменьшения распора. Для того, чтобы линии действия внутренних усилий проходили внутри несущих столбов, по краям арочной конструкции, на контрфорс сверху устанавливают каменные башенки – пинакли. Сочетая в себе все эти конструкции, готический собор приобрёл ажурный вид. Эта система обеспечивает достаточную прочность и создаёт из аркад нефа и контрфорсов чередующийся шаг, объединяющийся во внутренний ритм храма. На рисунке 1 представлен сравнительный анализ распределения сил в конструкциях романского и готического соборов и их планов.

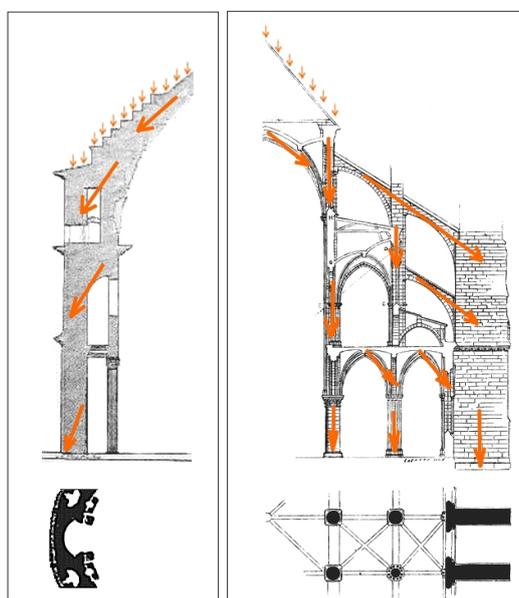


Рисунок 1. Сравнительный анализ распределения сил в конструкциях романского и готического соборов и их планов

Источник: Каркасная система готической архитектуры // Википедия – <https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения: 25.05.2022).

На рисунке 2 представлен анализ габаритных размеров известных готических соборов в зависимости от временного отрезка. Мы видим, что готические соборы достигают колоссальных размеров (например, высота Миланского собора составляет 108 метров, что приблизительно равно высоте трех девятиэтажных домов). Архитекторы всегда понимали, как использовать особенности человеческого сознания, возводя огромные сооружения, они создавали эффект величия и величественности здания (храма божия) по сравнению с «маленьким», «ничтожным» человеком.

Целью данной работы является выявление соотношения функции и формы в работе конструкции готического собора и анализ способов и приемов,

используемых строителями этих сооружений для достижения гармонии. В качестве основного метода архитектурного анализа используется выявление конструктивной основы сооружения, включая работу материалов, из которых оно построено, конструктивных элементов и их сочленений, передающих и распределяющих нагрузку.

Чтобы выявить работу конструкции и материала, авторы изученных публикаций обычно используют следующие приемы: выделение соответствующих элементов или линий передачи усилия; анализ путем сопоставления фасада и разреза, что повышает наглядность. Иногда работу конструкций показывают с помощью перспективного или аксонометрического изображения памятника ар-

хитектуры, при этом работу конструкций, передачу нагрузок, погашение распора демонстрируют цветными стрелками<sup>2</sup>.

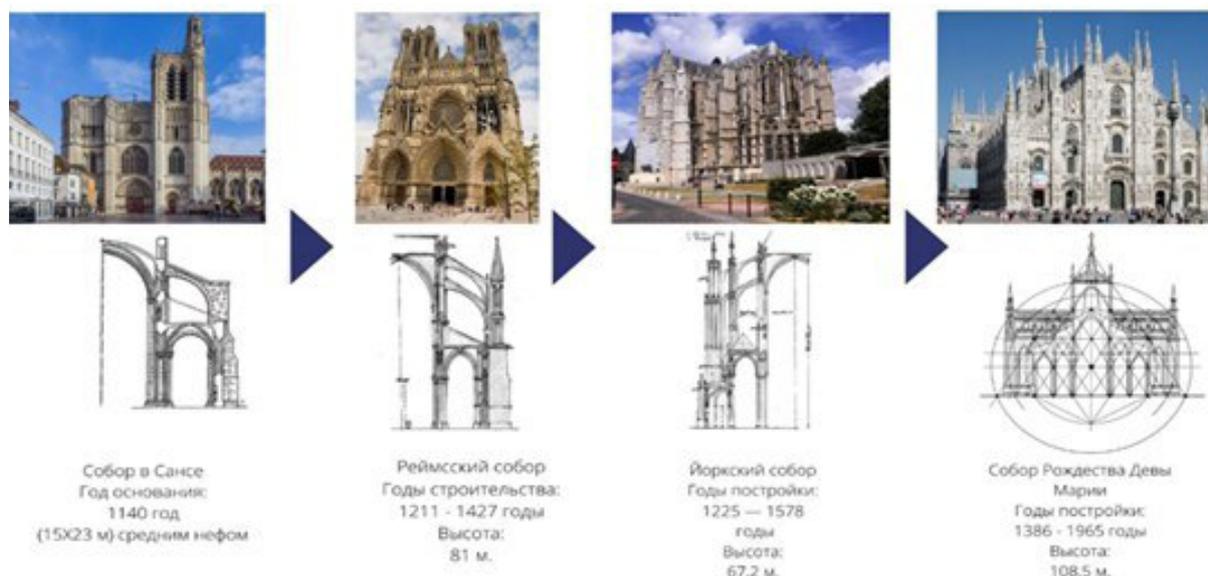


Рисунок 2. Сравнение габаритных размеров известных готических соборов  
 Источник: взято из [1], [5], [7]

Авторами статьи, в качестве альтернативного и более информативного способа анализа работы конструкции, выполнена инженерная модель готического собора в материале, которая наглядно демонстрирует работу элементов конструкций, передачу нагрузок и погашение распора. Идея модели представлена профессором университет Ватерлоу (Канада) [7].

При создании инженерной модели проводится анализ работы конструктивных элементов, составляющих каркас готических соборов. Эта разновидность моделей предполагает создание такой модели сооружения, с помощью которой можно продемонстрировать физические процессы, а также другие объекты и состояния. Качественное изготовление инженерных моделей зависит от понимания физических процессов, особенностей сооружения и поставленных задач. Отличие инженерной модели от классического архитектурного макета:

- архитектурный макет демонстрирует объемно-планировочное решение и оформление внешних фасадов по замыслу автора;
- главной задачей инженерной модели архитектурного сооружения является наглядная демонстрация распределения нагрузки и передачи

распора между различными элементами несущего каркаса.

Инженерная модель позволяет структурировать полученную информацию, визуализировать её, облегчить понимание, как передаются и распределяются нагрузки в конструктивной системе собора.

Инженерная модель обладает такими преимуществами, как:

- доступность и высокая частота использования;
- высокая насыщенность информацией и её визуализация;
- возможность различных сценариев сборки, в том числе неблагоприятных.

С помощью инженерной модели, по сути конструктора, можно рассмотреть разные варианты поведения конструкции в процессе возведения. Это замечательный способ понять, будет ли конструкция работать как задумано, ощутить влияние гравитации и прочувствовать «игру сил» в конструктивной схеме соборов готического и романского стилей.

Отличительной особенностью средневекового собора является наличие арочной конструкции, перекрывающей довольно большой пролет центральной

<sup>2</sup> Методика архитектурного анализа. Учеб. пособие для вузов по спец. «Архитектура» / Мусатов А. А., Кочергин В. В., Ревзина Ю. Е. и др.; под ред. Мусатова А. А.— Москва: МАРХИ, 2015. — 56 с.

ного нефа. В свою очередь, особенностью арки является то, что даже при действии только вертикальной нагрузки реакции в опорных сечениях имеют не только вертикальные, но и горизонтальные со-

ставляющие (которые принято называть распором). Арка стремится раздвинуть (опрокинуть) опоры – стены или стойки, на которые она опирается.



Рисунок 3. Фото модели, собранной по типу романского собора  
Источник: разработано авторами

Модель, собранная как показано на рисунке 3, демонстрирует, что горизонтальную составляющую опорной реакции (распор) воспринимают массивные, толстые стены (если уменьшить их толщину, конструкция разрушается).

Однако, если толщину стен распределить в про-

странстве, как показано на рисунке 4, конструкция сохраняет равновесие. Модель, собранная как показано на рисунке 4, демонстрирует, что горизонтальную составляющую опорной реакции (распор) можно перераспределить на дополнительные опоры, уменьшив толщину стен.



Рисунок 4. Фото модели, собранной по типу готического собора  
Источник: разработано авторами



Рисунок 5. Последовательность сборки модели, приводящая к обрушению во время возведения конструкции

Источник: разработано авторами

Разные варианты поведения конструкции в процессе возведения показаны на рисунках 5 и 6. Рисунок 5 демонстрирует, что если начать сборку

перекрытия с устройства арки над центральным пролетом, конструкция обрушится в момент возведения.



Рисунок 6. Правильная последовательность сборки модели готического собора  
Источник: разработано авторами

**Выводы.** Выполнение инженерного макета привело к пониманию и осознанию работы конструктивной системы готических соборов. Практическая значимость модели заключается в ее высокой информативности при изучении арочных

конструкций архитектурных сооружений.

Проведенное исследование позволяет глубже понять особенности пространственных и конструктивных особенностей сооружений периода готики.

#### Литература

1. Готические своды. Стрельчатая форма и ее значение // Архитектура и проектирование. Справочник – Режим доступа: <http://arh.novosibdom.ru/node/1524> (дата обращения: 12.05.2022).
2. Готический храм. Конструктивные решения. Скульптурное убранство. // Искусствoved.ru. – Режим доступа: <https://iskusstvoed.ru/2016/09/12/goticheskij-hram-konstruktivnye-reshe/> (дата обращения: 02.05.2022).
3. Лазарев М. А. Готический период: культура и искусство Западной Европы – М.: ИХОиК РАО, 2011 – 16 с.
4. Маркузон В. Ф. Готическая архитектура и проблема художественного образа // Архитектура СССР. – 1940. – № 6. – С. 62–66.
5. Насонова С. К. Феномен готики в системе культуры: дис. канд. культурологии. – СПб., 2004. – 141 с.
6. Рехт Р. Верить и видеть. Искусство соборов XII–XV веков: Пер. с фр. и науч. ред. О. С. Воскобойникова; пер. с фр. прил. «Предмет истории искусства» – М.: ГУ ВШЭ, 2018. – 352 с.
7. Wayne Brodland (2018) Gothic Cathedral. Available at: <http://www.civil.uwaterloo.ca/brodland/MechanicsModels/gcathedrals.html> (accessed: 20.05.2022) (In Eng.).

Статья поступила в редакцию: 30.05.2022; принята в печать: 25.10.2022.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.