

ЛИНЕЙЧАТЫЕ ПОВЕРХНОСТИ КАК КОНСТРУКТИВНОЕ, ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ И ХУДОЖЕСТВЕННОЕ СРЕДСТВО В АРХИТЕКТУРЕ ГАУДИ

О.И. Лексина

Московская государственная художественно-промышленная академия им. С.Г. Строганова, Москва, Россия

Аннотация

Статья посвящена линейчатым поверхностям, являющимся одним из «инструментов» органического формообразования Гауди. Анализ зарубежных англоязычных публикаций последних лет, посвященных творчеству Гауди, позволяет сделать вывод о том, что к сложившемуся представлению о Гауди как гениальном архитекторе в мире постепенно добавляется осознание того, что он был и гениальным конструктором, обладавшим авангардным проектным мышлением. В заключительный период творчества Гауди создал на основе линейчатых поверхностей свой собственный архитектурный язык, который в середине XX века открыли для себя многие выдающиеся архитекторы, и который продолжает жить и в XXI веке. Это является свидетельством того, что созданный Гауди архитектурный язык имеет «надстилевой», вневременной характер. Этот феномен, в свою очередь, может быть объяснен тем, что в основе этого языка - некие универсалии нашего мира, в суть которых еще в XIX веке смог проникнуть гений Гауди.

Ключевые слова: Гауди, линейчатые поверхности, гиперboloид, гиперболический параболоид, геликоид, коноид

RULED SURFACES AS A STRUCTURAL, FUNCTIONAL AND ARTISTIC INSTRUMENT OF GAUDI'S ARCHITECTURE

O. Leksina

The Moscow State Art-Industrial Academy behalf SG Stroganoff, Moscow, Russia

Abstract

The article is devoted to ruled surfaces used by Gaudi to create the so-called organic shapes. Analysis of recently published foreign papers devoted to Gaudi's heritage makes it clear that in addition to the common notion of Gaudi as of a brilliant architect he is becoming recognized as a great designer possessing a vanguard thinking. During his last working period Gaudi invented a new architectural language based on ruled surfaces, which has been taken over by many outstanding architects of the XX century and persists in the XXI century. This fact demonstrates that the architectural language invented by Gaudi rests beyond the style and the time. This phenomenon (in its turn) may be explained by the fact, that this language is based on a universal regularity that Gaudi's genius could comprehend.

Keywords: Gaudi, ruled surfaces, hyperboloid, hyperbolic paraboloid, helicoid, conoid

Гауди и «органическая архитектура». Антонио Гауди – один из самых ярких представителей «органической архитектуры» - течения, основателем которого считают Ф.Л. Райта. Следует отметить, что термин «органическая архитектура» появился позже. Сам Райт, развивая идеи Л. Салливена, «...выдвинул принцип архитектуры *органичной*»

[1, с.168], причем для него «органичное» означало «...существенное, внутреннее, присущее чему-либо, целостность в философском смысле» [1, с.181].

Помимо неустойчивости термина «органичная» – «органическая» архитектура, содержание этого понятия также подвижно, разнообразно и неоднозначно. Не имеющее поначалу в концепции Райта отношения к растительному и животному миру (впоследствии он не раз отходил от этого принципа), понятие «органичная архитектура» постепенно приобрело расширенную трактовку (соответственно трансформировался и сам термин), и теперь в большей степени связывается с криволинейной, имеющей сходство с природной пластикой архитектуры. Объекты, созданные Гауди в зрелый период творчества, которые относят к органическим (Каса Баттло, Каса Мила, Парк Гуэль, Крипта Колонии Гуэль, храм Саграда Фамилия и здание бывшей приходской школы при храме) в разной степени сочетают в себе черты и первоначальной, и расширенной трактовки «органической архитектуры».

Однако, последние три объекта имеют особенность: их отдельные «органические» черты в значении «природоподобные» или весь облик в целом (в этом же значении) обусловлены применением в конструкции линейчатых поверхностей, являющихся «продуктом» линейчатой геометрии – раздела геометрии, «...в котором рассматриваются в качестве *элементов пространства* прямые линии» [2]. Эти прямые линии образуют *линейчатые поверхности: гиперболоид вращения, гиперболический параболоид, геликоид и коноид*. Таким образом, в определенном смысле можно говорить о прямой, производящей «органической архитектуры» Гауди – прямой, порождающей поверхности с криволинейной пластикой (не разворачивающиеся на плоскости).

«Органичной» назвал архитектуру Гауди В.С. Глазычев, видя в ней не имитацию «...созданного природой, а подражание ее творящей силе» [3, с.76]. По нашему мнению, «органичность» Гауди и, как следствие, его архитектуры, определяется и тем, что он воспринимал мир как некую целостность, и в разных формальных аспектах этой целостности видел черты единства. Об этом свидетельствует и принадлежащая ему фраза, приведенная его младшим соратником Сезаром Мартинелем: «У каталонцев есть природное чувство пластичности, которое дает им представление о вещах как о целом и о связи вещей между собой» [4, с.201].

Связь природы и геометрии. Гауди был широко образованным человеком, что помогало ему находить связи между различными явлениями. Обладая фундаментальными знаниями в нескольких областях, в частности, биологии и геометрии, и, вероятно, глядя на природу сквозь «призму» геометрии, еще и благодаря интуиции, он смог уловить связь между природными формами и отмеченными выше геометрическими поверхностями. Так, по свидетельству Х. Бергоса (ученика и соратника мастера), Гауди видел параболоиды в сочленениях пальцев рук друг с другом, геликоиды – при развороте предплечья или туловища [5, с.61]. К природным объектам, чья форма с математической точки зрения близка к рассматриваемым линейчатым, относятся, к примеру, скелет некоторых видов радиолярий, представляющих собой шар с многочисленными отверстиями в форме гиперболоида (что обеспечивает скелету невероятную прочность); поверхность веерообразного листа растения крокосмии [6, с.48], который, разворачиваясь в процессе роста, приобретает форму, близкую к гиперболическому параболоиду.

Конечно, связь природы и геометрии осознали и до Гауди. Так, в 1917 году был опубликован фундаментальный труд «О росте и форме» Д'Арси Томпсона, шотландского биолога и математика, к тому же специалиста по греческой античной философии и литературе. В ней автор, в частности, приводит афоризм, приписываемый Галилею: «Книга природы написана геометрическими символами», но при этом добавляет, что, возможно, он был известен еще со времен Платона или Пифагора, или даже восходит к мудрости Древнего Египта [7, с.1026]. Известно, что Гауди был знаком с этим трудом – на это указывает Д. К. Англес, около 50 лет проработавший в мастерской моделей Храма Саграда Фамилия [6, с.36], но трудно сказать, насколько серьезное влияние могла

оказать эта книга на Гауди, поскольку многое из того, что содержится в ней, несомненно, было известно ему и раньше (в частности, катенарная арка). Тем не менее, тот факт, что книга присутствовала в его «арсенале», говорит о том, что он был в курсе современных научных исследований. Книга Д'Арси Томпсона выдержала пять изданий и до сих пор не утратила актуальности, и представляет интерес для биологов, математиков, архитекторов, художников. В ней природные объекты рассматриваются с точки зрения конструирующих их форму сил; исследуется явление филлотаксиса – соответствие ряду Фибоначчи числа левозакрученных и правозакрученных спиралей в цветах и плодах растений; анализируются органические формы, их конструкции, процесс роста с точки зрения математики и механики, в том числе – с целью изучения возможностей использования выявленных закономерностей в конструкциях, создаваемых человеком, и многое другое.

Известно и выражение Н.И. Лобачевского, являющееся косвенным подтверждением приведенного афоризма: «...нет ни одной области математики, как бы абстрактна она ни была, которая когда-нибудь не окажется применимой к явлениям действительного мира» [8, с.55]. Каким же образом можно приложить этот тезис Лобачевского к творческому процессу Гауди и как сам Гауди мог применить математику (а именно, линейчатую геометрию) к природным объектам? В материалах экспозиции храма Саграда Фамилия «Гауди и природа» в Барселоне этот процесс объясняется следующим образом: «В студенческие годы Гауди обратил внимание на огромные возможности линейчатых поверхностей и начал интенсивное изучение их, а сравнение их с геометрией, которую он открывал в природе, вдохновило его на применение этих поверхностей в архитектуре».

Однако это не дает исчерпывающего ответа на вопрос, каким образом в проектном сознании Гауди осуществился этот синтез, позволивший создать на основе абстрактных моделей реальные конструкции, (даже если к музейному толкованию добавить то, что Гауди наверняка размышлял над механикой природных форм). Это остается тайной гения, и нельзя не согласиться с утверждением В.С. Глазычева: «Гениальность тем отличается от выдающегося таланта, что не находит себе выражения в методе. У Антонио Гауди нет метода, и это в том смысле, что у него не было и не могло быть метода, которого возможно выявить, обособить, описать и преподать. Его метод неотделим от его личности» [3, с.77]. Можно лишь сделать формальный вывод: увиденные в природе формы (и досконально изученные), осмысленные с точки зрения линейчатой геометрии и механики, Гауди сделал «слагаемыми» своей и «органической», «органичной архитектуры» заключительного периода творчества.

Однако с позиции нашего времени, когда уже известно, что парабола и гипербола (являющиеся сечениями гиперboloида и гиперболического параболоида) представляют собой своего рода универсалии нашего мира¹, можно предположить, что Гауди был наделен особым чутьем, которое позволило ему увидеть в них сущностные характеристики миропостроения, и именно в этом состоит «органичность» его архитектуры.

Суть открытия Гауди. Не рассматривая линейчатую геометрию Гауди с точки зрения ее связи с природной, испанский архитектор Сантьяго Уэрта² оценивает как особый вклад Гауди в архитектуру то, что он «...перевел формы начертательной геометрии в действующую конструкцию»³ [9, с.332].

Добавим, что определенную роль в этом превращении «форм начертательной геометрии в действующую конструкцию» Гауди могла сыграть обыкновенная винтовая лестница. Из

¹ К примеру, траектории второй и третьей космических скоростей, позволяющих телу освободиться от гравитационного воздействия, описываются, соответственно, параболой и гиперболой.

² Высшая техническая школа архитектуры, отделение структурного дизайна, Мадрид.

³ Имеются в виду линейчатые поверхности: гиперboloид, гиперболический параболоид и геликоид, описание и чертежи, которых были приведены в трактате по начертательной геометрии С.Ф.А. Лероя, опубликованном в 1855 году.

материалов Музея Гауди в Реусе известно, что ему приходилось видеть «...винтовую лестницу, ведущую на колокольню монастырской церкви...». Согласно О. Шуази, винтовая лестница, известная под названием «винт св. Жилья», была типичной еще для романской эпохи [10, с.352], и она (лестница) представляет собой не что иное, как материальное воплощение абстрактной геометрической формы – геликоида. Существование ее в эпоху средневековья является иллюстрацией того, что практика часто опережает теорию: практическое использование линейчатых поверхностей (воплощение геликоида в архитектурную конструкцию) началось задолго до их научного описания. Существование этой линейчатой поверхности в конструкции винтовой лестницы – в числе других формообразующих импульсов – могла дать толчок для последующих исследований Гауди, которые и вывели его на реализацию других математических абстракций (гиперболоида, гиперболического параболоида и коноида) в его собственных архитектурных конструкциях.

Суть же открытия Гауди в том, что оно позволяет создавать устойчивые конструкции с криволинейной динамикой из прямолинейных элементов, а это существенно упрощает строительство (заметим, что то же открытие - в отношении гиперболоида – совершил Шухов, независимо от Гауди). Официальный сайт Саграда Фамилия так оценивает линейчатые поверхности Гауди: они обеспечивают – благодаря двоякой кривизне и богатые экспрессивные визуальные качества архитектуры, и жесткость конструкции [11].

В отечественной литературе информация о сути такого рода конструкций Гауди (основанных на линейчатых поверхностях) практически отсутствует, есть лишь отдельные упоминания в некоторых изданиях.

Нужно отметить, что конструкциям Гауди до последнего времени не было уделено должного внимания, в том числе и на родине мастера, в Каталонии. Отчасти это можно объяснить тем, что в творчестве Гауди зачастую конструктивные и художественные начала слиты в неразрывном единстве, а его архитектура – это яркий пример синтеза формы, фактуры, цвета, света, поэтика которых заставляет забыть о конструкции. Однако, в этом синтезе – в особенности это относится к объектам, на основе линейчатых поверхностях, – лежит конструкция, и именно конструкции мы обязаны тому впечатлению, которое производят объекты Гауди.

Изменить представление о месте конструкции в творчестве мастера была призвана состоявшаяся в Барселоне в честь сто пятидесятой годовщины со дня его рождения, в 2002 году, объявленном международным годом Гауди, масштабная выставка: «Gaudí. La recerca de la forma. La busqueda de la forma. Exploring form». Она была организована городским Историческим музеем Барселоны, городским Советом Барселоны, Институтом Культуры и Политехническим университетом Каталонии. В последующие шесть лет выставка была представлена в Леоне (Испания), Женеве, Токио, Сан-Паоло, Неаполе, Пекине и Шанхае.

Куратор выставки Д. Джиралт-Миракле, директор постоянной экспозиции «Пространство Гауди» в Каса Мила, один из авторитетнейших испанских критиков и историков искусства, дизайна и архитектуры. Он поясняет, что ее организаторы ставили задачу – приблизиться к **научным** основам работы Гауди, показать, что он был «по существу геометром», который создал новый язык архитектуры, произвел революцию в архитектуре своего времени и открыл новые возможности в строительстве [12]. Основную часть экспозиции составили модели конструкций на основе линейчатых поверхностей, которые Гауди использовал в крипте Колонии Гуэль, храме Саграда Фамилия и здании бывшей приходской школы при Саграда Фамилия.

Вопросам конструкций Гауди, в том числе связанным с линейчатыми поверхностями, и процессам создания этих конструкций в соответствии с проектом Гауди в ходе продолжающегося строительства храма Саграда Фамилия была посвящена выставка «Gaudi Unseen. Completing the Sagrada Familia», проходившая во Франкфурте-на-Майне

осенью 2007 года. Выставка была организована Немецким Музеем Архитектуры (DAM), Архитектурной лабораторией пространственных данных (SIAL) Королевского Мельбурнского Института Технологии (RMIT) и конструкционным бюро Искупительной церкви Саграда Фамилия.

Краткая характеристика линейчатых поверхностей. Напомним, что линейчатая поверхность – это поверхность, образуемая движением прямой (образующей) по некоторой линии (направляющей). Линейчатые поверхности разделяются на развертывающиеся (к ним относятся, к примеру, цилиндр и конус) и не развертывающиеся на плоскости (косые). Последние представляют наибольший интерес (Рис. 1(а-d)). Гиперболоид вращения или однополостный **гиперболоид** (далее – гиперболоид) – это поверхность, образованная движением наклонной прямой вдоль окружности (или эллипса) вокруг оси симметрии. **Гиперболический параболоид** – поверхность, которая производится движением прямой, лежащей на двух других прямых, не принадлежащих одной плоскости. Эту поверхность часто называют седлом. **Геликоид** – это винтовая линейчатая поверхность, производимая движением прямой (образующей), которая вращается вокруг некоторой оси с одновременным перемещением вдоль этой оси. Причем, в том случае, когда образующая пересекает ось под прямым углом, генерируемая поверхность называется прямым геликоидом (или винтовым коноидом). Существуют разные виды коноидальных поверхностей, но наиболее распространенным является прямой **коноид**, который образуется движением прямой, образующей вдоль двух направляющих – прямолинейной и криволинейной.

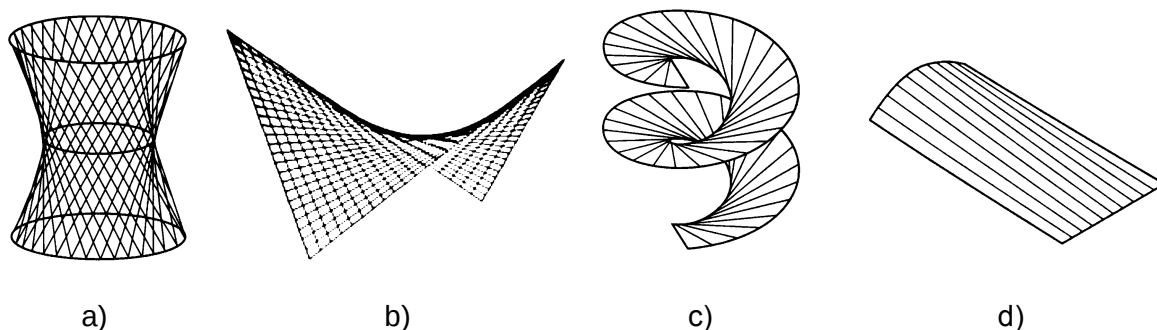
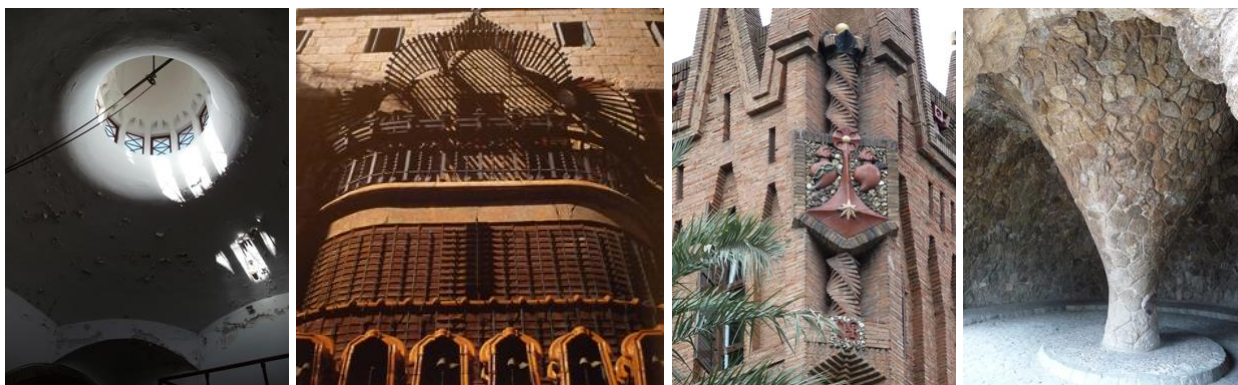


Рис. 1(а-d). Линейчатые поверхности: а) гиперболоид; б) гиперболический параболоид; с) геликоид (винтовой коноид); d) прямой коноид

Конструкции с использованием линейчатых поверхностей появляются в архитектуре Гауди уже в начале его творческой деятельности (Рис. 2(а-d)). Так, в конюшне усадьбы Гуэль (1884 г.) в конструкции свода использован гиперболоид (Рис. 2а) – окна, расположенные по верхнему его краю, обеспечивают «центрическое распределение света» [13]. Над балконами Дворца Гуэль (1886-1889 гг.) устроены жалюзи на основе коноида (Рис. 2b), защищающие от солнца и создающие живописные светотеневые эффекты. В Коллеже Святой Терезы (1888-1889 гг.) углы в верхней части здания акцентированы геликоидальными колоннами с гербом Коллежа (Рис. 2с); такой же конструкции несущая колонна расположена внутри здания. В жалюзи Дворца Гуэль и колоннах Коллежа читается «графика» линейчатых поверхностей, сообщающая декоративность объектам.

В Парке Гуэль (1900-1914 гг.) в конструкции колонны, поддерживающий свод своеобразного «грюта» для разворота экипажей использован гиперболоид (Рис. 2d). Здесь вес свода распределяется на значительную по размерам площадь верхнего основания гиперболоида и концентрируется в узкой нижней части, которая передает его на землю и служит одновременно осью, вокруг которой происходит разворот экипажей. Эта конструкция позволяет сосредоточить функцию разворота на небольшой площади и одновременно эстетически организовать необходимое для этого пространство. Таким

образом, в этих работах линейчатые поверхности решают разные задачи, в большинстве случаев совмещая все три: функциональные, конструктивные, формальные.



a)

b)

c)

d)

Рис. 2(а-d). Примеры локального использования линейчатых поверхностей:

а) гиперboloид – световой фонарь конюшни усадьбы Гуэль; б) коноид - жалюзи Дворца Гуэль; с) геликоидальные колонны Коллежа Святой Терезы; d) гиперboloид в «гроте» Парка Гуэль

Линейчатые поверхности в Крипте Колонии Гуэль. Первым сооружением Гауди, где линейчатая поверхность, применявшаяся прежде локально, получила развитие, стала Крипта Колонии Гуэль. Здесь широко и многофункционально (в первую очередь благодаря структурной жесткости) используется **гиперболический параболоид**: в конструкции сводов и стен Крипты, а также – сводов портика Крипты (Рис. 3(а-d)).

Крипта – первое в истории архитектуры сооружение, в своде которого применены гиперболические параболоиды [14, с.23]. Они «...образуют три нефа и четыре перетекающих друг в друга пространства» [15, с.15], однако, пластику гиперболических параболоидов почти невозможно разглядеть за частыми ребрами арок. Как известно из многочисленных источников, посвященных Гауди, Крипта – это результат реализации нижней части полифуникулерной модели, которую Гауди использовал с целью спроектировать здание, в котором все элементы имеют форму и наклон, позволяющий выдержать вес всего сооружения с максимальной эффективностью.

Инвертированная модель представляет собой сложную в плане конструкцию с треугольными выступами и уступами, которые образуются из-за разницы нагрузок в разновысоких арках (Рис. 3а). Гауди «...решал проблему их соединения посредством гиперболических параболоидов, укладывая каждый ряд кирпичной кладки таким образом, что участок соединения представлял собой гиперболический параболоид» [16, с.225] (Рис. 3b), – пишет Йос Томлов⁴. Далее Й. Томлов отмечает, что Гауди «...искал непрерывности формы и нашел решение в использовании линейчатых поверхностей», «комбинируя прямые линии с замысловатыми поверхностями сложного сечения – параболическими и гиперболическими» [16, с.226].

Своды портика Крипты представляют собой композицию из пересекающихся под разными углами гиперболических параболоидов (Рис. 3с). Несмотря на ее фантазийный вид, эта конструкция имеет вполне определенную логику и смысл. Как считает Й. Томлов, здесь Гауди «...предложил свободную интерпретацию проблемы объединения сводом трех наклонных арок» [16, с.229]. В портике Крипты, как и в конструкции стен, гиперболические параболоиды играют связующую роль, только здесь они использованы с целью объединения несимметричных, разноуровневых частей свода. Но одновременно с их

⁴ Историк искусства и архитектуры, Университет Прикладных Наук г. Циттау, Германия.

помощью Гауди решает и пластические задачи, создавая фантастическую для того времени форму.

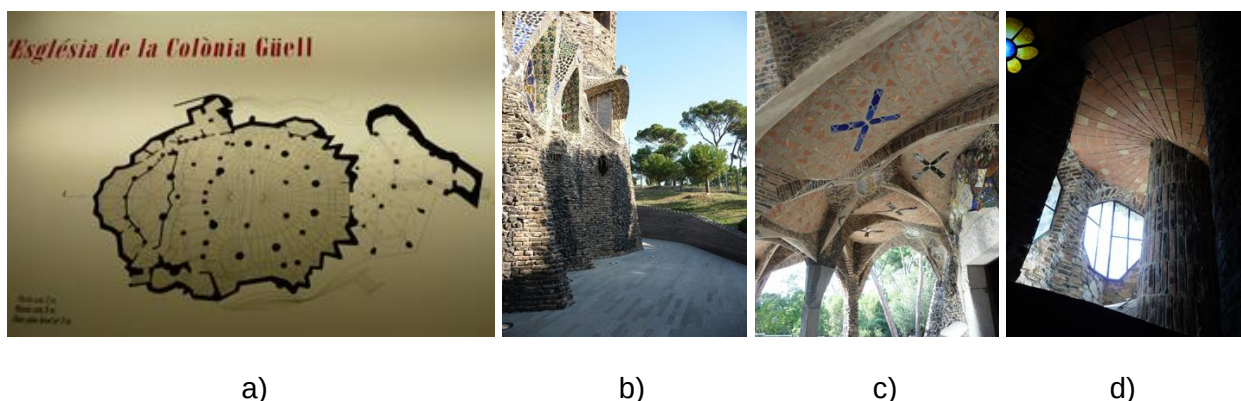


Рис. 3(a-d). Линейчатые поверхности в конструкции Крипты Колонии Гуэль:

а) план крипты; б) гиперболические параболоиды в конструкции стен; с) гиперболические параболоиды в сводах портика; d) геликоид лестницы

Конструктивная выразительность сводов усиливается декоративным оформлением поверхности. Композиция декора подчинена конструкции гиперболического параболоида: грани противоположно направленных самых крупных треугольников, параллельные друг другу, уложены в направлении его образующих, таким образом выявляя его конструкцию. Тринадцать секций свода портика отмечены Андреевскими крестами. Й. Томлов считает, что крест здесь – не только традиционный религиозный символ, но и символ, иллюстрирующий способ формообразования, который использовал Гауди [16, с.228], поскольку лучи крестов также показывают направление образующих и направляющих скрытой конструкции.

Еще один вид линейчатых поверхностей, использованный в конструкции Крипты, пластически обогащающий ее интерьер – геликоид оставшейся незавершенной лестницы, ведущей на второй уровень церкви (Рис. 3d).

Линейчатые поверхности в конструкции здания приходской школы. Следующим примером использования линейчатых поверхностей является здание приходской школы Саграда Фамилия, построенное Гауди в 1909-1910 годах (Рис. 4(a-d)). Хотя существующее сейчас здание не оригинальное, а третье по счету (первое разрушено в 1936 г.), оно построено в соответствии с проектом Гауди. На выставочном стенде во дворе Саграда Фамилия говорится, что «...благодаря простоте, функциональности и красоте формы, в основе которых поверхности двойной кривизны, конструкция расценивается сегодня как флагман современной архитектуры». В отечественной переводной литературе есть отдельные заметки об этом здании [17, с.213; 18, с.282], смысл которых можно обобщить следующими строками: «Не очень впечатляя внешне, школа, несомненно, остается маленьким чудом функционального архитектурного мышления своего создателя» [19, с.79].

В этом здании с особой силой, на наш взгляд, проявилось необыкновенное пространственное мышление Гауди: внешняя оболочка здания представляет собой пространственную композицию из линейчатых поверхностей – коноида и гиперболического параболоида [12], и именно эта оболочка, одновременно являясь частью конструкции, обеспечивает выразительность здания. Причем, следует учитывать, что эта конструкция, не имеющая аналогов в истории, которую часто называют «простой», сначала была создана в уме проектировщика, воплощена в здании школы, а уже потом стала казаться простой.

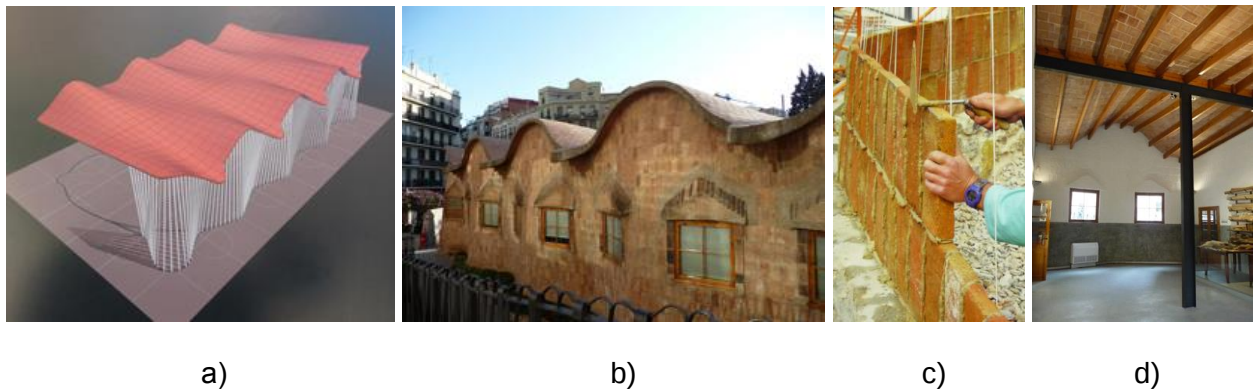


Рис. 4(a-d). Здание школы при храме Саграда Фамилия: а) схема линейчатой поверхности стены (коноид, переходящий в торцевой части в параболоид); b) коноидальные фасад и крыша; c) процесс возведения коноидальной стены; d) несущая конструкция и «графика» коноида крыши

Основой несущей конструкции является горизонтальная металлическая балка, установленная на трех опорах вдоль продольной оси здания (Рис. 4d), но, как можно судить по представленным в экспозиции музея Саграда Фамилия фотографиям, зафиксировавшим начальную стадию строительства (Рис. 4с), сначала возводятся стены переднего и заднего фасадов. Ориентиром для стены являются тросы, закрепленные между двумя направляющими: синусоидальной, проложенной по земле, и прямой – на месте будущей крыши. Эта конструкция представляет собой линейчатую поверхность – коноид, соответственно, и возводимые стены, следуя заданному направлению, обретают волнообразную форму коноида. Причем, по мере увеличения высоты стены амплитуда синусоиды уменьшается, и на уровне крыши стена становится плоской, – таким образом, стены, синусоидальные у основания, подведены под крышу по прямой, образуя в плане прямоугольник; кроме того, стены наклонены в сторону интерьера (что повышает устойчивость конструкции) на величину максимума синусоиды.

При этом верхний край стены обрезается также по линии синусоиды, в итоге стена оказывается ограниченной двумя синусоидами, расположенными во взаимно перпендикулярных плоскостях, а верхние синусоиды противоположных стен находятся в противофазе, то есть максимуму синусоиды одной стены соответствует минимум другой. На несущую балку, перпендикулярно ей, укладываются деревянные стропила, концы которых автоматически располагаются по синусоидам противоположных стен, образуя коноид. На крышу укладывается черепичное покрытие, при этом сама «графика» коноида остается видимой внутри помещения (Рис. 4d). Конструкция крыши, помимо формальной выразительности, обеспечивает дополнительную ее функциональность – отвод воды с обеих сторон.

Фасадные стены соединены с помощью участков гиперболических параболоидов, которые образуют боковые стены (Рис. 4b). Гиперболический параболоид и здесь, как и в конструкции Крипты, служит для связи участков стен, обеспечивая их непрерывность, которая, по мнению биографа Гауди Г. Хенсбергера, является «наиболее важным элементом творческого склада Гауди» [18, с.297]. Уникальность этого здания, на наш взгляд, в том, что здесь художественная форма практически совпадает с конструкцией (хотя определенная роль в создании архитектурной формы принадлежит и «каталонской технике», в которой выполнены и стены, и крыша). Х. Роджерс отмечает, что в здании школы Гауди «...использовал конструкцию одновременно и как силовой элемент, и как эстетический» [20]. Можно сказать, что Гауди сделал конструкцию основой художественности – по словам Д. Джиральт-Миракле, он «...поставил технику на службу эстетике» [26, с.246].

Конструкция этого здания волновала многих архитекторов в XX веке и продолжает волновать в XXI. Ле Корбюзье, посетив Барселону в 1928 году, вероятно, одним из первых почувствовал и оценил ее новизну и назвал здание школы «вехой на пути архитектуры двадцатого столетия» [18, с.281]. Влияние Гауди можно почувствовать в конструкции церкви эквадорского архитектора Эладио Диесте в г. Атлантида (1958-60 гг.). Автор, рассматривающий конструкцию Э. Диесте с точки зрения использования в ней современных технологий и материалов, отмечает: «...решение конструктивной системы уникально, но в ней намек и на каталонский свод, и на школу у Храма Саграда Фамилия» [21, с.83] (Рис. 5(a,b)).



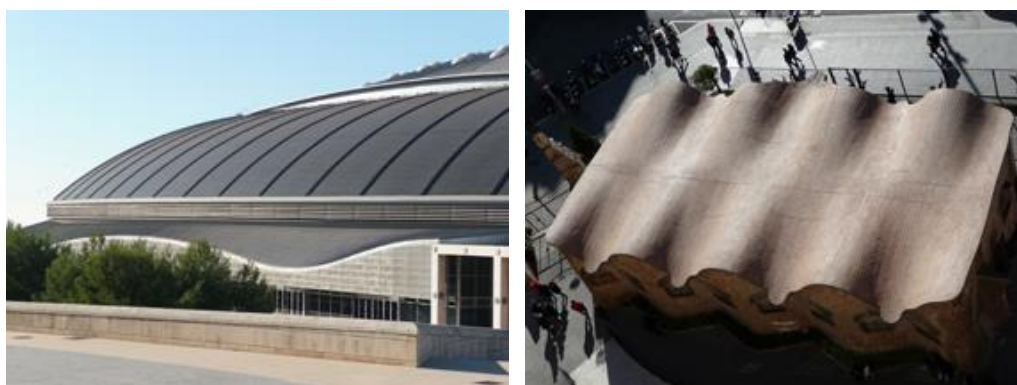
a)

b)

Рис. 5(a,b). Коноидальная конструкция стены: а) школа Саграда Фамилия А. Гауди; б) церковь Э. Диесте

Решение Э. Диесте гораздо более динамичное. В школе Гауди синусоидальное движение стен начинается у земли и «гасится» при приближении к крыше, а у Э. Диесте – наоборот, на земле синусоида только зарождается и достигает максимума под крышей, и в то время как у Гауди здание кверху сужается, у Диесте – расширяется, что делает конструкцию более интригующей.

Несомненным «реверансом» в сторону здания школы Гауди является решение крыши с коноидальными участками в построенном А. Исодзаки в Барселоне Дворце Сан-Жорди (Рис. 6(a,b)). А. Исодзаки, как следует из материалов Музея Гауди в Реусе, относится к Гауди с большим почтением.



a)

b)

Рис. 6(a,b). Использование коноидов в конструкции крыши:
а) А. Исодзаки, Дворец Сан-Жорди; б) А. Гауди, школа Саграда Фамилия

С. Калатрава в комплексе винных погребов «Бodegaс Исиос» (Испания, 1998-2001 гг.) использовал решения, найденные Гауди почти сто лет назад. Конечно, решение С. Калатравы технически более совершенное – без опорной балки посередине здания и более динамичное – с «взлетающим» козырьком по центру. Тем не менее, сквозь экспрессивные формы С. Калатравы видна принципиальная конструкция Гауди, примененная в школе Саграда Фамилия. Примечательно, что не все обратили на это внимание. Так, в статье испанских авторов, касающейся создания современных органических архитектурных форм из бетона (на основе линейчатых поверхностей), указывается, что С. Калатрава «использовал в своих впечатляющих винных погребах Бodegaс Исиос ту же самую геометрию, базирующуюся на коноидах, что и Гауди в своей маленькой школе у Саграда Фамилия в Барселоне» [22, с.66]. В то же время в книге Ф. Ходидио о С. Калатраве, где эта конструкция подробно рассматривается [23, с.70-73], она не связывается с Гауди (Рис. 7(а-е)).

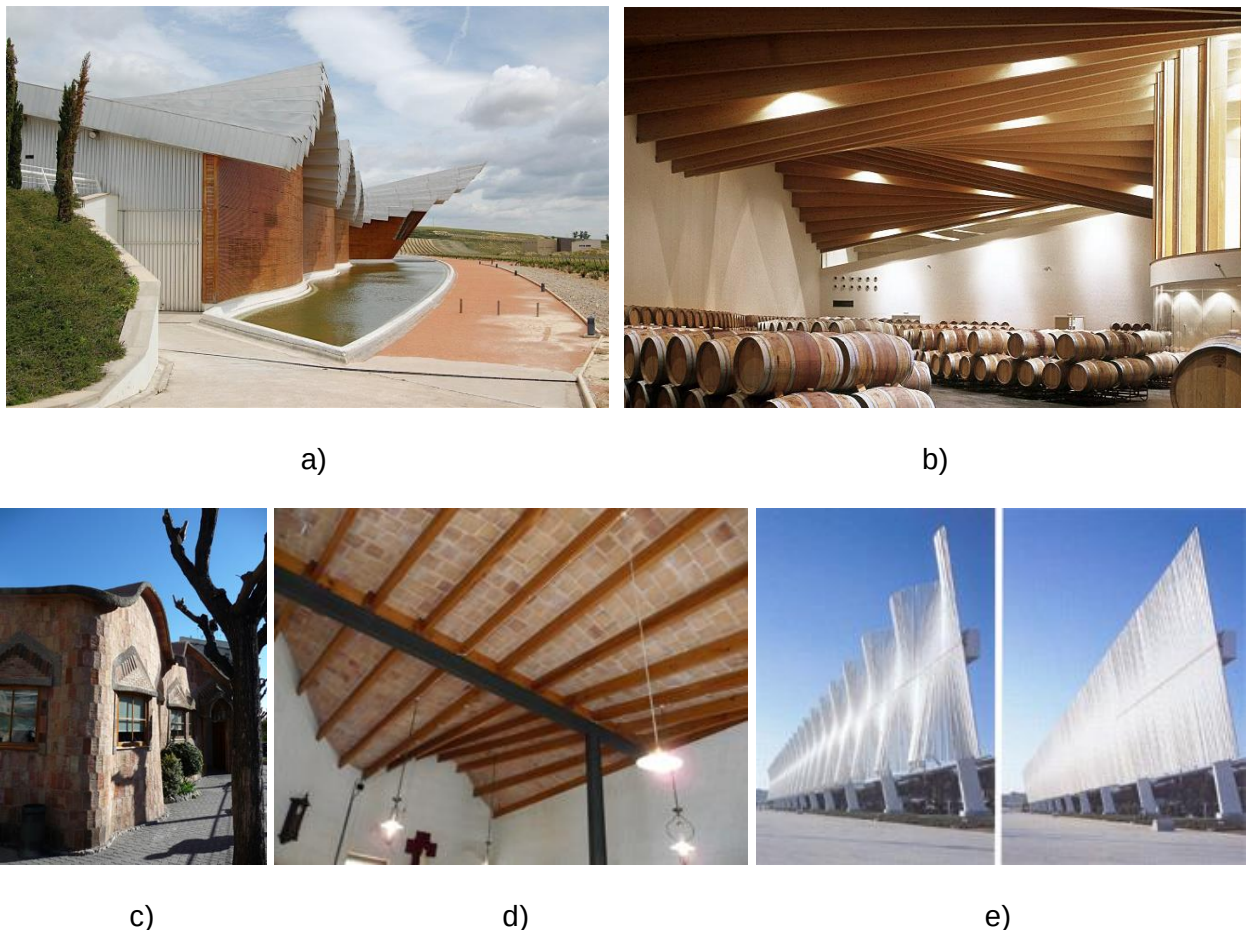


Рис. 7(а-е). Коноидальные конструкции С. Калатравы и А. Гауди: а), b) винные погреба «Бodegaс Исиос», С. Калатрава; c), d) школа Саграда Фамилия, Гауди; e) Стена Наций, С. Калатрава

Добавим к этому, что изобретенная Гауди коноидальная конструкция приобрела самостоятельное значение (превратившись в своего рода гештальт), когда С. Калатрава использовал ее в решении стены Наций в Афинах (2004 г.). Ф. Ходидио описывает Стену Наций как «...стальную трубчатую скульптуру длиной 250 м и высотой 20 м» [23, с.79]. Гауди принадлежат слова: «красота и конструкционная логика не признают границ исторических стилей», и то, что конструкция, разработанная им, в том или ином виде используется до настоящего времени, является их подтверждением.

Линейчатые поверхности в конструкции храма Саграда Фамилия. Максимальное развитие эти поверхности получили в конструктивном решении храма Саграда Фамилия.

Необходимость доведения строительства храма до конечного результата, вероятно, еще в большей степени, чем упомянутые выше выставки, повлияла в последние десятилетия на изменение представлений о Гауди как фигуре мирового художественного процесса. Признанию его конструктивного гения способствовало постепенное осознание грандиозности его замысла Саграда Фамилия как беспрецедентной пространственной композиции, представляющей собой перетекание друг в друга геометрических форм, главным образом, линейчатых поверхностей.

Серьезный вклад в этот процесс – осознания величия Гауди – внесли компьютерные технологии. Так, в 80-е годы прошлого века они впервые были привлечены для анализа частей Саграда Фамилия, которые были закончены при Гауди, а также – для реконструкции разрушенных в годы Гражданской войны гипсовых моделей, от которых остались отдельные фрагменты. Конструкторский гений Гауди оказался настолько велик, что над расшифровкой конструкции храма работали специалисты высочайшего уровня нескольких стран. «...Исследования показали, что в дизайне сохранившихся до наших дней моделей отдельных частей храма Гауди использовал систему геометрических форм, преимущественно гиперболоидов, гиперболических параболоидов, коноидов и геликоидов разных размеров и в различных сочетаниях» [25, с.7].

Применение специальных компьютерных программ в ходе совместной работы специалистов Университета королевы Виктории (Веллингтон, Новая Зеландия) и Каталонского политехнического университета позволило установить, что спроектированные Гауди экспериментальным путем, на уровне моделей, архитектурные формы на основе гиперболоида и гиперболического параболоида точно соответствуют математическому описанию этих поверхностей [24, вкладка XXII]. Однако, не все задачи, связанные с расшифровкой конструкции, можно было решить с помощью традиционных компьютерных технологий. Марк Бэри⁵ нашел способ применить «программное обеспечение, первоначально использовавшееся в кораблестроении, для перевода комплекса дизайнерских идей Гауди в 3D-набор данных» [25, с.7], на основе которых теперь продолжается работа каменщиков по завершению строительства храма.

Тот факт, что для распознавания составляющих конструкции проекта, созданного почти столетие назад, и для его последующего осуществления, потребовались компьютерные технологии, свидетельствует об авангардности проектного мышления автора. Саграда Фамилия – пятинефная (главный неф и четыре боковых) церковь базиликального типа, имеющая в плане форму латинского креста. Напомним, что Гауди был привлечен к работе над храмом в качестве ведущего архитектора проекта (вместо ушедшего Вийяра) уже в то время (1883 г.), когда строительство – в готическом стиле по проекту Вийяра шло полным ходом. Гауди имел вполне «...определенное представление о том, какую именно церковь он хотел построить – образ столь же поэтический и символический, сколь и практичный, поскольку он хотел максимально возможно приспособить его к потребностям культа и литургии» [26, с.209].

Гауди видел внутреннее пространство Храма как аллгорию леса: колонны имитируют стволы деревьев, сквозь листву которых днем пробивается солнечный свет, а ночью видны звезды. В поисках конструкции, соответствующей его видению литургического пространства, Гауди постепенно перешел от первоначального проекта в готическом духе, через второй, параболический, к третьему, окончательному (основанному в значительной степени на геометрии линейчатых поверхностей). Над последним, согласно материалам музея Саграда Фамилия, он работал с 1918 по 1926 год, и в соответствии с которым осуществляется строительство по сегодняшний день. Как считает Д. Джиральт-Миракле, «Многолетние эксперименты позволили ему достичь, наконец, гармоничной связи между несущими и несомыми элементами» [26, с.213].

⁵ Архитектурная лаборатория пространственных данных Королевского института Технологий, Мельбурн, в последние годы – один из ведущих архитекторов в Саграда Фамилия.

Существенную роль в выборе этого конструктивного решения сыграл и положительный опыт сооружения церкви Колонии Гуэль, который не только убедил его в осуществимости проекта с наклонными колоннами (возможности распределения нагрузки посредством системы наклонных колонн), но и «...побудил использовать потенциал линейчатых поверхностей в полном объеме» [28, с.35].

Подчеркнем, что Гауди стремился в решении интерьера храма создать иллюзию нахождения в природе и, одновременно, уединения, и эту задачу ему удалось решить средствами конструкции (точнее, элементов конструкции), инспирированными природой. Несущая конструкция представлена наклонными колоннами, что избавляет от необходимости использовать контрфорсы и аркбутаны.

Разветвляющиеся на разных уровнях высоты храма колонны формируют сбалансированную, устойчивую конструкцию, которая несет вес свода, крыши и башен церкви. Колонны, расположенные на границе центрального и бокового нефа, наклонены в сторону центральной оси храма. Колонны, расположенные между двумя боковыми нефами и поддерживающие хоры (галереи певчих), словно прорастая сквозь них, наклонены в сторону последних.

По достижении определенной высоты – 45 м в центральном нефе и 30 м в боковых, несущая конструкция плавно переходит в несомую – свод, представляющий собой пересечение гиперboloидов и гиперболических параболоидов. Вместе они образуют устойчивую пространственную сеть, наглядно иллюстрируя непрерывность, как главную черту пространственной концепции Гауди. Как сообщает официальный сайт Саграда Фамилия, «...таким образом Гауди удалось достичь непрерывности, свойственной природе» [11].

Согласно материалам выставочной экспозиции в Саграда Фамилия, у Гауди сложилось собственное, символическое восприятие линейчатых поверхностей: гиперboloид олицетворяет собой свет; геликоид – символ восходящего движения, связующего Землю и Небо; гиперболический параболоид – «отец» геометрии и, одновременно, символ Святой Троицы. Это восприятие он воплотил, в частности, в конструкции свода, который на всех участках – в самом общем виде – представляет собой пересечение гиперboloидов и гиперболических параболоидов (Рис. 8(a-f)).

Устойчивость, жесткость системы сводов определяется самой структурой линейчатых поверхностей, которые генерируются прямой линией и пересекаются также по прямой. При этом пересечение полых и сплошных гиперboloидов (сплошных – в капителях колонн, как воронка «собирающих» нагрузки и передающих их колоннам, и являющихся средством соединения самой колонны и свода) и гиперболических параболоидов происходит таким образом, что образует недеформируемую сетчатую структуру (Рис. 8c,d) в пространстве – систему, в которой «каждый элемент работает одновременно и как поддерживающий, и как поддерживаемый» [28, с.46].



a)



b)

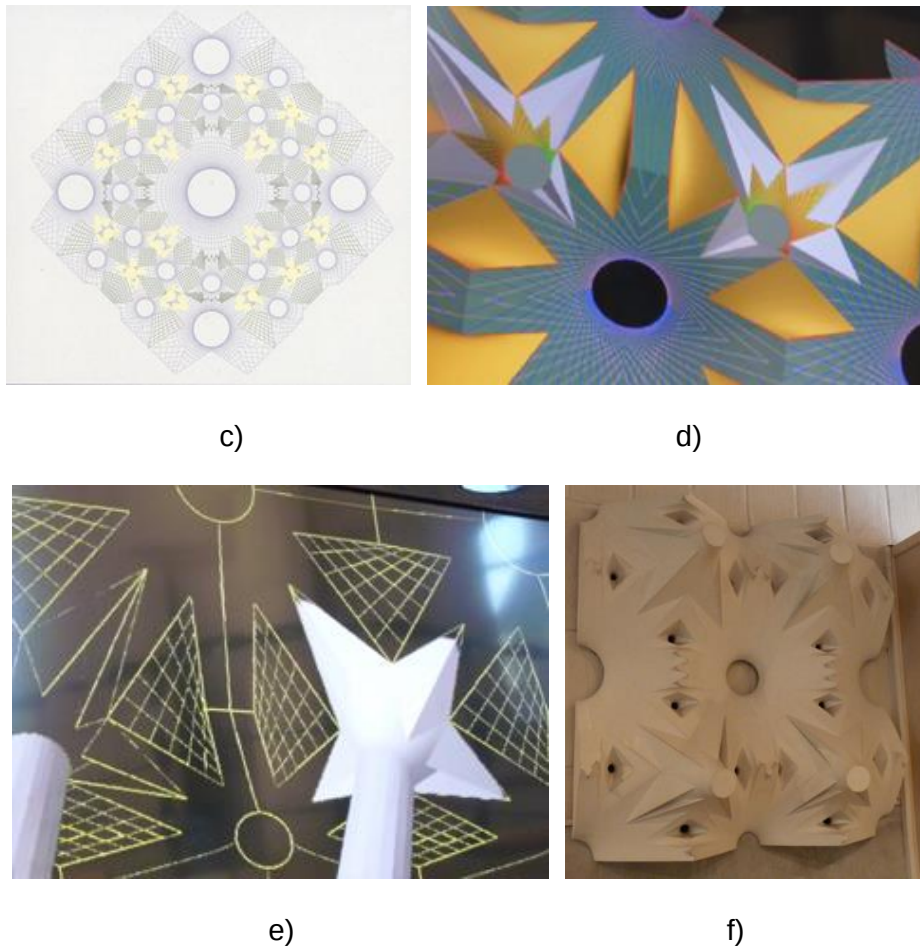


Рис. 8(a-f). Гиперboloиды в конструкции свода храма Саграда Фамилия: а) центральная часть свода (слева – светящийся гиперboloид апсиды); б) вид сверху в процессе строительства (слева – гиперboloид апсиды); в) схема средокрестия (пересечение гиперboloидов и гиперболических параболоидов); д) пересечение полых (сине-зелёного цвета) и сплошных гиперboloидов (капителей колонн, желтого цвета) с гиперболическими параболоидами (желтого цвета); е) вариант схемы пересечения гиперboloидов и гиперболических параболоидов (с графическим выделением последних); ф) гипсовая модель секции свода

Главным композиционным элементом свода является гиперboloид. Хотя основную функцию гиперboloида Гауди видел в «улавливании, «захватывании» света снаружи и распределении его в интерьере»⁶ [26, с.213]. В Саграда Фамилия он «работает» и как средство, «улучшающее распределение звука» [13], т.е. Гауди использовал и его акустические возможности, поскольку звуки пения и органной музыки являются важной составляющей церковной службы. В отдельные отверстия гиперboloидов установлено оборудование для искусственного освещения, чтобы ночью свод выглядел как звездное небо.

Рассмотрим подробнее строение свода на примере центрального нефа и трансепта, где гиперboloиды выполнены в технике «каталонского» свода. Свод «собирается» из гиперboloидов разного размера и по-разному организованных: линейно – в центральном нефе и трансепте, радиально – в апсиде и концентрическими окружностями – в средокрестии. Центром композиции – пунктом, откуда как бы «разбегается» свод, является средокрестие, расположенное на пересечении двух ветвей латинского креста,

⁶ Гиперboloид служит световым «каналом», его поверхность сложной кривизны способствует многократному отражению лучей света, и, следовательно, рассеиванию его.

образуемого центральным нефом (ведущим к апсиде) и трансептом (Рис. 8а). Здесь на уровне 45 м свод перекрывает пространство средокрестия, образуя своего рода купол над ним – при этом «...пространство явно фокусируется в центре» [29, с.131].

В центре этого купола расположен огромный гиперboloид – 4 м в диаметре. Эффект центральности подкупольного пространства достигается и конструктивно-композиционным решением купола: расположением гиперboloидов меньшего размера двумя концентрическими окружностями вокруг главного, четырехметрового в диаметре. В первом кольце – 12 гиперboloидов одного размера - (1,5 м в диаметре), расположенных под углом 15 градусов к центральной оси (таким образом формируя купол). Следующее кольцо образовано также двенадцатью гиперboloидами, четыре из которых, диаметром 3 м, расположены по осям центрального нефа и трансепта, между ними – остальные 8, диаметром 1,5 м [29, с.133] (Рис. 8b,c). Эти гиперboloиды поддерживаются двенадцатью ветвями четырех разветвляющихся колонн из порфира, артикулирующих смысловой центр храма.

«Пересекающиеся гиперboloиды дополнительно связываются между собой с помощью гиперболических параболоидов (для достижения непрерывности и жесткости конструкции) по общей прямолинейной образующей» [29, с.133], что хорошо видно на схеме (Рис. 8е). Поскольку это соединение производится с наружной стороны свода, в интерьере свод представляет собой пересечение только гиперboloидов. Связующие гиперболические параболоиды «пробиты» насквозь самыми маленькими гиперboloидами, направленными внутрь храма. «Они спроектированы таким образом, что их оси сходятся в центре средокрестия, и, стоя в центре, можно видеть лучи дневного света, проникающего сквозь эти маленькие гиперboloиды» [29, с.135]. Они хорошо видны на гипсовой модели секции свода (Рис. 8f). Своды боковых нефов имеют конструкцию, аналогичную центральному нефу, но выполнены в другой технике и из других материалов.

Воплощение геометрических форм свода в материальные. Ниже (Рис. 9а) представлена графическая интерпретация (компьютерная, – экспонат выставки Музея Саграда Фамилия) части конструкции центрального нефа. Она, с одной стороны, является иллюстрацией той математической абстракции, которую Гауди превратил в реальную конструкцию. С другой стороны, красота этого графического решения отражает тот факт, что Гауди смог уловить эстетический потенциал линейчатых поверхностей (которые еще на стадии «голых» структур, обладая и положительной и отрицательной кривизной, уже гармонизированы по принципу контраста), а затем отразить его пластически, в синтезе - на основе конструкции, материалов, их фактуры и текстуры, цвета, свето-теневых эффектов.

Мы можем представить это движение к синтезу в виде последовательных шагов: геометрия – конструкция – архитектурная форма, однако, по-видимому, благодаря уникальному пространственному мышлению, в сознании Гауди эти процессы происходили одновременно. Д. Джиральт-Миракле приводит слова последователя Гауди, Сезара Мартинеля, о пластической интуиции Гауди, которая «...позволяла ему симультанно ощутить механику, конструкцию и форму» [26, с.208].

Наиболее ярким свидетельством художественных возможностей конструкции является пластическое решение свода в главном нефе и трансепте, в котором повторена «графика» самой конструкции – и, еще глубже, ее «первопричины», геометрической абстракции, послужившей прототипом конструкции (Рис. 9b). Здесь реализации графической идеи, выявляющей конструкцию, способствует традиционная «каталонская техника», позволяющая создавать криволинейные поверхности – «...метод, использующийся в конструкции перекрытий и лестниц. Три слоя черепицы (тонкого кирпича) накладываются один на другой (скрепляются с помощью раствора), образуя необычайно прочную слоеную комбинацию (Рис. 9с).

При этом используется вспомогательная металлическая конструкция гиперboloида. Внутренний слой кирпича (обращенный в интерьер) укладывается вдоль прямых образующих гиперboloида, формируя лучи. В пространство, остающееся между лучами, укладываются треугольные элементы, декорированные зеленым и золотым стеклом. Образующийся рисунок, [повторяющий конструкцию гиперboloида – О. Л.], символизирует пальмовые листья, как их представлял Гауди» [30, с.151] (Рис. 9d). Кроме нефа и трансепта, в этой же технике выполнены гиперboloиды в сводах средокрестия (на высоте 60 м), апсиды (на высоте 45 м) и на некоторых участках на высоте 30 м.



a)



b)



c)



d)

Рис. 9(a-d). «Графика» свода: а) графическая (компьютерная) интерпретация фрагмента свода; b) гипсовая модель гиперboloида – натянутые нити иллюстрируют природу геометрии линейчатой поверхности гиперboloида; c) фрагмент гиперboloида, выполненного в «каталонской технике»; d) декоративное покрытие сводов центрального нефа, повторяющее конструкцию гиперboloида

Гиперboloиды сводов боковых нефов и галереи певчих изготовлены промышленным способом, из бетона, методом отливки по шаблонам, которые, в свою очередь, сделаны в соответствии с геометрией гиперboloида. Заводским способом изготовлены и секции гиперболических параболоидов с «вписанными» в них гиперboloидами (наименьшего размера) [30, с.149].

Храм Саграда Фамилия можно назвать «симфонией» линейчатых поверхностей (Рис. 10(a-c)): помимо сводов, гиперboloиды использованы в конструкции окон эллиптической формы, заменяющих готическую «розу» центрального и боковых нефов (Рис. 10a); часовня Вознесения Богородицы, свод которой представляет композицию из гиперboloидов, а постамент – композицию гиперболических параболоидов; своды сакристий, каждый из которых образован пересечением 12-ти гиперболических параболоидов; трифорий, построенный «...исключительно на пересечении

гиперболических параболоидов» [31, с.66]; гиперболические параболоиды на стыках стен и сводов (Рис. 10b) и во множестве других случаев – как средство объединения поверхностей для создания впечатления непрерывности; наконец, геликоиды винтовых лестниц, расположенные в интерьере храма и придающие дополнительную динамику пространству, и внутри башен (Рис. 10с), придавая им прочность, в этом случае геликоид следует рассматривать как одно из формообразующих башню средств [13]. В этой «симфонии» сливаются не только разные виды линейчатых поверхностей, но разные их свойства – конструктивные и художественные.



a)

b)

c)

Рис. 10(а-с). Линейчатые поверхности в конструкции храма Саграда Фамилия:

а) гиперболоидные окна центрального нефа; б) гиперболические параболоиды на стыках стен и сводов; с) геликоидальная лестница внутри одной из башен храма

Однако, именно в гиперболоидных сводах Саграда Фамилия, на наш взгляд, Гауди удалось достичь максимального синтеза функциональных, конструктивных и художественных возможностей этих линейчатых поверхностей (не в последнюю очередь благодаря «каталонской технике», позволяющей создавать выразительную кривизну, соответствующую конструкции линейчатых поверхностей).

Таким образом, можно утверждать, что Гауди удалось на основе линейчатых поверхностей создать совершенно новый пластический язык, позволяющий с помощью конструкции решать не только функциональные, но и формальные задачи. Поддержкой этого утверждения может служить мнение американского историка искусства Дж. Коллинза, многие годы посвятившего изучению творческого наследия Гауди. Он отмечал, что многим работам Гауди свойственны «тождественность конструктивного дизайна и архитектурной формы» и оценивал эту тождественность, как «феномен, уникальный в истории архитектуры» [32, с.89].

Уникальные свойства линейчатых поверхностей использовали многие известные архитекторы XX века (открывая для себя язык Гауди или создавая собственный): Ле Корбюзье, Э. Дieste, Ф. Кандела, Э. Каталано, К. Танге, А. Исодзаки, и продолжают использовать в XXI веке (С. Калатрава). Это является свидетельством того, что созданный Гауди на основе линейчатых поверхностей архитектурный язык имеет надстилевой, вневременный характер. Этот феномен, в свою очередь, может быть объяснен тем, что в основе этого языка лежат некие универсалии нашего мира, в суть которых еще в XIX веке смог проникнуть Гауди.

Литература

1. Иконников А. В. Фрэнк Ллойд Райт / Мастера архитектуры об архитектуре. Под ред. А. В. Иконникова. – М.: Искусство, 1972. 590 с.
2. Позняк Э. Г. Линейчатая геометрия. Большая Советская Энциклопедия (в 30 т.), Изд-е 3-е. Т. 14. – М., «Советская Энциклопедия», 1973. – С. 463.
3. Глазычев В. Л. Послесловие // Нонель Х. Б. Антонио Гауди. – М.: Стройиздат, 1986. – С. 75-77.
4. Martinell C. Gaudi – His Life, His Theories, His Work. – Barselona, 1975. Цит. по: Габриэле Фар-Беккер. Искусство модерна. Перевод с нем. Изд-во Konemann, 2000. 425 с.
5. Бергос Ж. Гауди: личность и творчество. – М., 2004. - 309 с.
6. Cusso A. J. Gaudi's Sagrada Familia: A monument to natura. Editorial Milenio, 2011. – 101 с.
7. Thompson D'Arcy W. On growth and form. Cambridge at the University Press, 1942. – 1118 с.
8. Математики о математике. Математика и кибернетика // Новое в жизни, науке, технике. – М.: Знание, 1982, - с. 55.
9. Huerta S. Structural Design in the Work of Gaudi. University of Sydney. Architectural Science Review Volume 49.4, 2006. – С. 324-339.
10. Шуази О. История архитектуры. В 2-х томах / Пер. с франц. – 5-е изд. – М.: Издательство В. Шевчук, 2009. – Том 2. – 708 с.
11. [Сетевой ресурс]. – URL: www.sagradafamilia.cat
12. Gaudi. La recerca de la forma. La busqueda de la forma. Exploring form. DVD, Triangle Postals. ISBN 978-84-8478-314-5.
13. Gaudi: art and technique. An interactive visit to the Espai Gaudi. CD-ROM, Fundacio Caixa Catalunya. ISBN 84-89860-36-X.
14. González, J. L. and Casals, A. Gaudí's approach to building. Proceedings of the First International Congress on Construction History. Madrid, 20th-24th January 2003. Ed. S. Huerta, Madrid: Instituto Juan de Herrera. – С. 21-30.
15. González X. T. The colònia Guell church: Gaudí. Barcelona. La Terra, 2007. – 35 с.
16. Tomlow J. Gaudí's reluctant attitude towards the inverted catenary. Proceedings of the ICE - Engineering History and Heritage, Vol. 164, Issue 4, 01 November 2011, – С. 219 –233.
17. Цербст Райнер. Гауди. Жизнь, посвященная архитектуре. – М.: Арт-Родник, 2009. – 240 с.
18. Хенсберген Г. Гауди – тореадор искусства. – М.: Эксмо, 2004. – 352 с.
19. Криппа М. А. Антонио Гауди. О влиянии природы на архитектуру. – М.: Арт-Родник, 2004. – 96 с.

20. Rogers H. Structural Form in History and the Construction of Complex Forms. Proceedings of the Third International Congress on Construction History, Cottbus, May 2009 [Сетевой ресурс]. – URL: www.bma.arch.unige.it
21. Lovdal S. Tradition and innovation—tracing the influences of Eladio Dieste's vaulting techniques / APPROPRIATE TECHNOLOGIES. –С. 83-94 [Сетевой ресурс]. – URL: www.energyandbuilding.uc.cl
22. Barrallo J., Sánchez-Beitia S. The Geometry of Organic Architecture: The Works of Eduardo Torroja, Felix Candela and Miguel Fisac. Proceedings of Bridges 2011: Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture (2011), –С. 65-72 [Сетевой ресурс]. – URL: www.bridgesmathart.org
23. Ходидио Ф. Сантьяго Калатрава. Архитектор, инженер, художник. – М.: TASHEN/APT-РОДНИК, 2009. - 95 с.
24. Кастельяр-Гассоль Ж. Гауди. Жизнь провидца. – Барселона, 2000. - 142 с.
25. Schmal P.C., Forster Y. Foreword / Mark Burry. Gaudi Unseen. Completing the Sagrada Familia. The Catalog published on the occasion of the exhibition held at the Deutsches Architekturmuseum (DAM), Frankfurt am Main, 15 September 2007, to 2 December 2007. - Berlin: Jovis, 2007, – С. 6-7.
26. Giralt-Miracle D. Essential Gaudi. Librosdevanguardia, 2013. – 246 с.
27. La Sagrada Familia. Opus Magnum de Gaudi. HD DVD. Ineditas. Sagrada Familia. 2" two seconds.
28. Bonet J. The Essential Gaudi. The geometric modulation of the Church of the Sagrada Familia. English translation by M. Burry. Portic, 2001. – 159 p.
29. Coll J. G. The transept and crossing ceiling vaults/ Mark Burry. Completing the Sagrada Familia. – С. 131-137.
30. Espel R. R., Fauli J. O. The construction of the project / Mark Burry. Completing the Sagrada Familia. – С. 141-151.
31. Bonet J. A. The relationship between the Sagrada Familia and other works by Gaudi / Mark Burry. Completing the Sagrada Familia. – С. 66-70.
32. Collins G.R. Antonio Gaudi: Structure and form, 1963. Perspecta, 8, – С. 53-90.

References

1. Ikonnikov A. V. *Frjenk Llojd Rajt*. [Frank Lloyd Wright]. *Mastera arhitektury ob arhitekture*. Moscow, 1972, 590 p.
2. Poznjak Je. G. *Linejchataja geometrija* [Ruled geometry]. *Bol'shaja Sovetskaja Jeciklopedija*. Vol. 14, Moscow, 1973, p. 463.
3. Glazychev V. L. *Posleslovie* [Afterword] *Nonel' H. B. Antonio Gaudi*. Moscow, 1986, pp. 75-77.
4. Martinell C. *Gaudi – His Life, His Theories, His Work*. Barselona, 1975.

5. Bergos Zh. *Gaudi: lichnost' i tvorchestvo* [Gaudi: The Man and His Work]. Moscow, 2004, 309 p.
6. Cusso A. J. *Gaudi's Sagrada Familia: A monument to natura*. Editorial Milenio, 2011, 101 p.
7. Thompson D'Arcy W. *On growth and form*. Cambridge at the University Press. A new edition, 1942, 1118 p.
8. *Matematiki o matematike* [Mathematicians about mathematics]. Moscow, 1982 (8), p. 55.
9. Huerta S. *Structural Design in the Work of Gaudi*. University of Sydney. Architectural Science Review. Volume 49.4, 2006, pp. 324-339.
10. Shuazi O. *Istorija arhitektury* [History of architecture]. Moscow, 2009, Vol. 2, 708 p.
11. Available at: www.sagradafamilia.cat
12. Gaudi. *La recerca de la forma. La busqueda de la forma. Exploring form*. DVD, Triangle Postals. ISBN 978-84-8478-314-5.
13. Gaudi: art and technique. *An interactive visit to the Espai Gaudi*. CD-ROM, Fundacio Caixa Catalunya. ISBN 84-89860-36-X.
14. González J. L. and Casals A. *Gaudí's approach to building*. Proceedings of the First International Congress on Construction History. Madrid, 20th-24th January 2003, Ed. S. Huerta, Madrid: Instituto Juan de Herrera, pp. 21-30.
15. González X. T. *The colònia Guell church : Gaudí*. Barcelona. La Terra, 2007, 35 p.
16. Tomlow J. *Gaudí's reluctant attitude towards the inverted catenary*. Proceedings of the ICE - Engineering History and Heritage, Volume 164, Issue 4, 01 November 2011, pp. 219 – 233.
17. Cerbst Rajner. *Gaudi. Zhizn', posvjashhennaja arhitekturu* [A Life Devoted to Architecture]. Moscow, 2009, 240 p.
18. Hensbergen G. *Gaudi – toreador iskusstva* [Gaudi – the toreador of Art]. Moscow, 2004, 352 p.
19. Krippa M. A. *Antonio Gaudi. O vlijanii prirody na arhitekturu* [Antonio Gaudi. About nature influence on architecture]. Moscow, 2004, 96 p.
20. Rogers H. *Structural Form in History and the Construction of Complex Forms*. Proceedings of the Third International Congress on Construction History, Cottbus, May 2009. Available at: www.bma.arch.unige.it
21. Lovdal S. *Tradition and innovation—tracing the influences of Eladio Dieste's vaulting techniques*. APPROPRIATE TECHNOLOGIES, pp. 83-94. Available at: www.energyandbuilding.uc.cl
22. Barrallo J., Sánchez-Beitia S. *The Geometry of Organic Architecture: The Works of Eduardo Torroja, Felix Candela and Miguel Fisac*. Proceedings of Bridges 2011: Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture (2011), pp. 65-72. Available at: www.bridgesmathart.org
23. Hodidio F. *Sant'jago Kalatrava. Arhitektor, inzhener, hudozhnik* [Santiago Calatrava. Architect, engineer, artist]. Moscow, 2009, 96 p.

24. Kastell'jar-Gassol' Zh. *Gaudi. Zhizn' providca* [Gaudi. The life of the prophet]. Barselona, 2000, 142 p.
25. Schmal P.C., Forster Y. Foreword. Mark Burry. Gaudi Unseen. Completing the Sagrada Familia. The Catalog published on the occasion of the exhibition held at the Deutsches Architekturmuseum (DAM), Frankfurt am Main, 15 September 2007 to 2 December 2007. Berlin: Jovis, 2007, pp. 6-7.
26. Giralt-Miracle D. Essential Gaudi. Librosdevanguardia, 2013, 246 p.
27. La Sagrada Familia. Opus Magnum de Gaudi. HD DVD. Ineditas. Sagrada Familia. 2" two seconds.
28. Bonet J. The Essential Gaudi. The geometric modulation of the Church of the Sagrada Familia. English translation by M. Burry. Portic, 2001, 159 p.
29. Coll J. G. The transept and crossing ceiling vaults. Mark Burry. Completing the Sagrada Familia. pp. 131-137.
30. Espel R. R., Fauli J. O. The construction of the project. Mark Burry. Completing the Sagrada Familia. pp. 141-151.
31. Bonet J. A. The relationship between the Sagrada Familia and other works by Gaudi. Mark Burry. Completing the Sagrada Familia. pp. 66-70.
32. Collins, G.R. Antonio Gaudi: Structure and form, 1963. Perspecta, 8, pp. 53-90.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Лексина Ольга Игоревна

Канд. экономических наук, аспирант, кафедра «Коммуникативный дизайн», Московская государственная художественно-промышленная академия им. С.Г. Строганова, Москва, Россия

e-mail: o.leksina@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Olga Leksina

PhD (Economics), Post-graduate Student of the Communicative Design Department of The Moscow State Art-Industrial Academy behalf S.G. Stroganoff, Moscow, Russiae-mail:

o.leksina@mail.ru