МАТЕМАТИКА И АРХИТЕКТУРА

MATHEMATICS AND ARCHITECTURE

УДК 658

Автайкина Анна Андреевна, студентка архитектурно-строительного факультета КубГАУ

Научный руководитель: **Сергеев А.Э.,** кандидат физико-математических наук, КубГАУ.

Avtaykina Anna Andreevna, student of the Faculty of Architecture and Civil Engineering Kuban State Agrarian University, anya.avtaykina@mail.ru

Scientific adviser: **A. Sergeev**, Ph.D. in Physics and Mathematics, Kuban State Agrarian University.

Аннотация

В данной статье рассматриваются такие самостоятельные науки как математика и архитектура, определяется их роль в окружающем нас мире, а также приводятся факты, доказывающие их тесную связь.

S u m m a r y

This article examines such independent sciences as mathematics and architecture, defines their role in the world around us, and also provides facts proving their close connection.

Ключевые слова: язык науки, пространство, гиперболический параболоид, золотое сечение, развитие, конструкция.

Keywords: language of science, space, hyperbolic paraboloid, golden ratio, development, construction.

Ф. Бэкон: «В природе существует много чего, что не может быть ни достаточно глубоко понято, ни достаточно убедительно доказано, ни достаточно умело и надежно использовано на практике без помощи и вмешательства математики. Это можно сказать о перспективе, музыке, …, архитектуре».

Что такое математика? Это очень важный вопрос, который до сих пор вызывает интерес и активно обсуждается и математиками, и философами, и историками науки. Известно классическое определение математики, сформулированное Ф. Энгельсом: «Чистая математика имеет своим объектом пространственные формы и количественные отношения действительного мира».

Это определение правильно указывает не только на предмет математики, но и на его происхождение - реальный мир. Однако математика интенсивно развивается, и данное определение нуждается в уточнении.

Новое определение математики предложила группа французских математиков, объединившихся под псевдонимом Никола Бурбаки, которая определяет математику как науку о математических структурах: группах, кольцах, полях, векторных пространствах и т.д.

Определение математики, предлагаемое Бурбаки, имеет существенный дефект: оно не отражает отношение математики к окружающему миру. Еще Галилей отмечал, что «книга природы написана на языке математики». В то же время отмечал Ф. Энгельс: «но совершенно неверно, будто в чистой математике разум имеет дело только с продуктами своего собственного творчества и воображения. Понятия числа и фигуры взяты не откуда-нибудь, а только из действительного мира. Зародившись в реальном мире и пройдя путь абстракции и развития в самой математике, математические понятие вновь «спускаются на землю» и идут по ней в своем триумфальном шествии. Именно «земным происхождением» и объясняется поразительная эффективность математики в естествознании».

Так что же такое математика и в чем ее особая красота? «Математика - это больше, чем наука, это язык науки», - так определил место математики в системе наук знаменитый датский физик Нильс Бор (1885-1962 гг.). Математика может стать языком любой науки. В этом универсальность, могущество математики и особая красота, ибо ее язык точен, краток, обоснован. Действительно, как только любая из наук переведет свои проблемы на язык математики, так тут же она может использовать весь огромный арсенал математики, обладающий многими общими методами и способами решать конкретные задачи.

Язык математики - это особый язык науки. В отличие от естественного языка (например, русского), который в основном классифицирует предметы и потому является языком качественным, язык математики в основном количественный. Количественный язык представляет собой дальнейшее развитие и уточнение обычного качественного языка, и он не исключает, а дополняет последний.

Эталоном простоты и красоты в математике является знаменитая формула Пифагора: квадрат, построенный на гипотенузе, равен сумме квадратов, построенных на катетах, т.к. если длина гипотенуза равна c, а длина катетов a и b, то $c^2 = a^2 + b^2$; в частности $5^2 = 3^2 + 4^2$. Значение теоремы Пифагора в математике трудно переоценить: например, Эвклидова геометрия основывается фактически на этой теореме.

Эталоном простоты и красоты в современной физике стала знаменитая формула Эйнштейна $E = mc^2$, где E - энергия, m - масса, а c - скорость света, выражающая в простой и изящной математической форме глубокие физические идеи.

Итак, математика - это не только самостоятельная наука о математических структурах, но и язык других наук, универсальный, общий язык, точный, простой, а потому красивый. Об этом хорошо сказал знаменитый русский математик С.Л. Соболев, в 31 год ставший академиком: «Есть одна наука, без которой невозможна никакая другая. Это математика.

Ее понятия, представления служат языком, на котором говорят, пишут и думают другие науки, Она объясняет закономерности сложных явлений, сводя их к простым, элементарным явлениям природы. Она предсказывает и предвычисляет далеко вперед с огромной точностью ход вещей».

В то же время существующая современная математика замечательна и прекрасна, как отметил английский математик Г. Харди (1877-1947 гг.): «Творчество математика в такой же степени есть создание прекрасного, как творчества живописца или поэта, - совокупность идей, подобно совокупности красок или слоев, должна обладать внутренней гармонией. Красота есть первый пробный камень для математической идеи; в мире нет места для уродливой математики».

Архитектура - древнейшая среда человеческой деятельности и ее результат. В ней тесно переплетены и взаимосвязаны наука, техника и искусство. Только гармоничное единство этих начал делают возводимое человеком сооружение памятником архитектуры на все времена, подобно совершенным памятникам литературы, ваяния, музыки. Но архитектура не только древнейшая сфера человеческой деятельности, не только «искусство строить», как определил ее средневековый итальянский архитектор Альберти, но и результат такой деятельности.

Архитектура - это совокупность зданий и сооружений, это пространство, созданное человеком и необходимое для его жизни и деятельности. Поэтому архитектура зарождается вместе с человеком и сопровождает человечество на всем его историческом пути. По образному замечанию Н.В. Гоголя, «... архитектура - тоже летопись мира, она говорит, когда уже молчат и песни, и предания и когда уже ничто не говорит о погибшем народе. Пусть же она хоть отрывками является среди наших городов в таком виде, в каком она была при отжившем уже народе, чтобы при взгляде на нее осенила нас мысль о минувшей жизни и погрузила бы нас в его быт, в его привычки и степень понимания, и вызывала бы у нас

благодарность за его существование, бывшее ступенью нашего собственного возвышения.»

Архитектура сочетает в себе логику ученого, ремесло мастера и вдохновение художника. «Прочность - польза – красота» - такова знаменитая формула единого архитектурного целого, сформулированная два тысячелетия тому назад древнеримским теоретиком зодчества Витрувием (I в. до н.э.). Роль математики в формировании «прочности» и «пользы» архитектуры очевидна. Она такова же, какова роль математики в естественных науках и технике, в которых со времен Галилея она «царица всех наук» и ей принадлежат только первые роли.

Математика и архитектура развивались одновременно. Развитие математики требовало знание архитектуры и наоборот.

Развитие земледелия, строительства требовало различных строительных материалов, способов их обработки, умения измерять длины предметов, вычислять площади и объемы различных фигур и тел, а также свойств различных фигур. Об этом свидетельствуют древние египетские папирусы, вавилонские клинописные глиняные таблички, древнекитайские трактаты и индейские книги.

Простейшей и древнейшей архитектурной конструкцией является стоечно-балочная система. Ее прототипом был дольмен-культовое сооружение, состоящее из двух больших хорошо обтесанных камней, вертикально наставленных камней, на которых горизонтально помещалась большая плоская каменная плита. Со временем дольмен перерос кромлех - сооружение, служившее, по-видимому, для ритуальных торжеств. Кромлех состоял из огромных отдельно стоящих камней, которые накрывались горизонтальными камнями и образовывали одну или несколько концентрических окружностей.

В плодотворной, очень длинной и узкой долине Нила, с обеих сторон окруженной пустыней, развилась цивилизация Древнего Египта. Там с незапамятных времен люди занимались земледелием. Древние египтяне были

хорошими своего времени математиками и инженерами. Им удалось построить огромные пирамиды - гробницы египетских царей - фараонов. Она сложены из громадных в десятки тонн весом - обтесанных каменных глыб в форме прямоугольных параллелепипедов. Все пирамиды имеют форму правильной четырехугольной пирамиды, что в условиях земного тяготения обеспечивает самую устойчивую, прочную конструкцию. И вот уже более чем 4500 лет стоят пирамиды, непоколебимо сохраняя свою форму, не разрушаясь. Пирамида фараона Хеопса в Гизе самая большая, ее первоначальная высота 147 метров. Это самое высокое из рукотворных сооружений вплоть до XIX века. Пирамиду Хеопса строили 100 тысяч египтян в течение 20 лет.

Перенесемся теперь в эпоху античности. Выдающиеся памятники архитектуры оставили нам зодчие Древней Греции. И среди них первое место принадлежит Парфенону. Храм Афины - Парфенон был построен в честь победы эллинов над персами в 448 - 438 г. до н.э. архитекторами Иктином и Калликратом под руководством Фидий. Парфенон имеет 8 колонн по коротким сторонам и 17 по длинным, его длина 70 метров и ширина 31 метр; стороны расположены под прямым углом; колонны достигали почти 10-метровой высоты и сделаны из мрамора. Парфенон был и остается совершеннейшим из архитектурных сооружений античного зодчества.

Родившись в Месопотамии и Персии, арочно-сводчатая конструкция была доведена римлянами до совершенства и стала основной древнеримской архитектуры. Арочно-сводчатая конструкция позволяла римлянам возводить гигантские сооружения. Это, например, Колизей, построенный в 75-80 гг. До н.э., - самое высокое (48 м.) из сохранившихся сооружений античного Рима, вмещавшее 56 тысяч зрителей. И также вершина древнеримского строительного искусства - Пантеон - храм всех богов.

В интерьере Пантеона достигнута завораживающая гармония между высотой и диаметром сооружения, которая имеет простое математическое выражение: высота стен Пантеона равна радиусу полусферы его купола, т.е.

весь Пантеон как бы наброшен на 43-метровый шар. Толщина стен Пантеона достигала 7 метров.

Римские арки, своды и купола были неизменно полуциркульными; видимо, здесь сказывалось влияние пифагорейской философии, считавшей круг и сферу идеальными фигурами, но использовались также плоскости и цилиндры. Рим пал, разгромленный варварами, а вместе с Римом пало и рабовладение. Затем крестоносцы вместе с пленниками-сарацинами привезли в Европу секреты возведения стрельчатых арок. Так новая конструкция породила новую архитектуру - готику. Стрельчатая арка по сравнению с полуциркульной является более совершенной конструкцией; она требует меньший расход камня как строительного материала.

В средние века были построены величественные соборы, у которых стрельчатая форма арок подчеркивала стремление этих сооружений ввысь. Самые высокие своды имели соборы северной Франции: собор в Амьене (1288г., 43 м.) и собор в Бове (1347 г., 48 м.).

Для дальнейшего прогресса в архитектуре нужен был новый материал для каркаса сооружений, более технологичный и дешевый, чем камень. Такой материал появился лишь в XIX веке. Это был металл. XIX век стал “железным веком” в истории человечества: появились железные дороги и паровые машины, первые железный мост через Темзу (1816 г.), первые застекленные металлические крыши, металлические купола и т.д.

В 1889 г. к открытию Всемирной выставке в Париже была построена из железных колес знаменитая Эйфелева башня по проекту французского инженера Гюстава Эйфеля (1832-1923). Она вдвое перекрыла все рекорды по преодолению высоты, взметнувшись вверх на 312,6 метра!

«Век железа» в архитектуре оказался недолгим. С новым XX веком пришел и новый замечательный материал - железобетон, совершивший новую революцию в зодчестве. Первый жилой дом с железобетонным каркасом, с большими остекленными проемами появился в 1903 году в Париже, его спроектировал О. Перре.

Железобетон открыл новые возможности перед архитекторами, он был сравнительно дешев, обладал необходимой прочностью, мог непрерывно переходить из одной формы в другую. Архитекторы стали в строительстве использовать поверхности, образованные движением прямой в пространстве и называемые линейчатыми поверхностями: это цилиндры, конусы, однополостные гиперболоиды, гиперболические параболоиды.

Линейчатое свойство однополостного гиперболоида положено в основу конструкции Шаболовской радиобашне в Москве, построенной по проекту замечательного инженера В.Г. Шухова (1853-1939). Башня Шухова состоит из нескольких поставленных друг на друга частей однополостных гиперболоидов.

Ни один из видов искусств так тесно не связан с геометрией, как архитектура. Знаменитый архитектор XX века Ле Корбюзье так говорил о геометрии: «Окружающий нас мир - это мир геометрии чистой, истинной, безупречной в наших глазах».

«Все вокруг - геометрия. Никогда мы не видим так ясно такие формы, как круг, прямоугольник, угол, цилиндр, гипар (гиперболический параболоид), выполненных с такой тщательностью и так уверенно». И далее Ле Корбюзье продолжает: «Все вокруг - геометрия. Дух геометрического и математического порядка станет властителем архитектурных судеб».

Как известно, стереометрия является частью геометрии. С ней связан продолжительный опыт Франции по штудированию лучших образцов итальянской классической архитектуры, заложенный в эпоху Ренессанса. А именно виртуозность владения стереотомическими навыками способствовали созданию феномена французского классицизма как совершенно «нового искусства неизвестного ни древним, ни иностранцам», по словам Ш.-А. Жомбера. Трактат «Секрет архитектуры» и многие другие французские увражи с руководствами позволяли французским мастерам возводить постройки с особыми конструктивными, инженерными и планировочными решениями [5].

Вся история архитектуры - это история поисков гармонического единства «функции - конструкции – формы», это история непрерывного восхождения на пути к вершине, имя которой прочность - польза - красота. Красота архитектуры также в математическом моделировании. Математическое моделирование – описание реальной действительности в математической форме [3].

Красоту архитектурному сооружению может предавать его симметричность. Слово симметрия произошло от греческого слова symmetria - соразмерность. В архитектуре интерес представляет геометрическая симметрия - симметрия формы как соразмерность частей целого. При выполнении определенных преобразований над геометрическим фигурами, их частями, переместившись в новое положение, вновь будет образовывать первоначальную фигуру. При осевой симметрии части, которые, если можно так сказать, взаимозаменяет друг друга, образованы некоторой прямой, ее называют осью симметрии. Аналогично в пространстве обычно рассматривается симметрия относительно плоскости симметрии. Кроме описанной зеркальной симметрии рассматривается центральная или поворотная симметрия. В этом случае переход частей в новое положение и образование исходной фигуры происходит при повороте этой фигуры на определенный угол вокруг точки, которую называют центром поворота.

Выдающиеся архитектурные сооружения в большей своей массе симметричны. Они приятны для глаза, их люди считают красивыми, так что соблюдение симметрии - одно из правил архитектора при проектировании сооружения.

Например, стоит посмотреть на великолепное произведение А.Н. Воронихина - Казанский собор в Санкт-Петербурге, чтобы убедиться в его симметрии. Если мы мысленно проведем вертикальную линию через шпиль на куполе и вершину фронтона, то увидим, что с двух сторон от нее абсолютно одинаковые части сооружения (колонны и здания собора).

С понятием красоты в архитектуре связано математическое понятие «золотого сечения». Золотое сечение - гармоническая пропорция, это такое пропорциональное деление отрезка на неравные части, при котором весь отрезок так относится к большей части, как сама большая часть относится к меньшей; или другими словами, если длины этих отрезков соответственно a, b, a-b, то $\frac{a}{b} = \frac{b}{a-b}$, откуда $\frac{a}{b} = \frac{1+\sqrt{5}}{2} \approx 1{,}618$.

Если отрезок принять за 100 частей, то большая часть отрезка приближенно равна 62, а меньшая 38 частям. Золотое сечение дает наиболее приятно воспринимаемое соотношение размеров тех или иных длин. Элементы золотого сечения можно обнаружить в деталях Парфенона и других архитектурных шедеврах античности.

В размерении интерьеров древнерусских храмов X-XV веков было обнаружено: применение задачи «квадратура круга», по которой выстраивались габариты церквей с пропорциями 8:9, 10:13, 2:3, 5:8; наличие «Животворящего столпа» в центре подкупольного квадрата, горизонтальная проекция которого равна по площади подкупольному квадрату в 3/4 храмов, а высота до центральной точки свода кратна его диаметру в соотношениях 1:3, 1:4, 1:5 [4].

Имеется связь с основной теоремой арифметики. Евклид тоже имел отношение к архитектуре и частный случай основной теоремы арифметики был сформулирован и доказан Евклидом в восьмой книге его «Начал» еще в третьем веке до нашей эры [2].

Известный русский архитектор М. Казаков в своем творчестве систематически использовал «золотое сечение». Например, соотношения золотого сечения можно обнаружить в архитектуре здания сената в Кремле.

Еще один архитектурный шедевр Москвы - дом Пашкова, созданный по проекту архитектора В. Баженова в начале XIX века. Прекрасное творение В. Баженова прочно вышло в ансамбль центра современной Москвы,

обогатило его. Наружный вид дома почти без изменений сохранился до наших дней. О своем искусстве.

В. Баженов говорит так: «Архитектура - главнейшие имеет 3 предмета: красоту, спокойность и прочность здания… К достижению сего служит руководством знание пропорций, перспектива, механика или вообще физика, а всем им общим вождем является рассудок».

Проведем итоги. Математика предлагает архитектору на выбор ряд общих правил организации частей в целое планируемого им сооружения, которое помогает:

1. Расположить эти части в гармонический порядок.
2. Установить определенные соотношения между размерами частей и создать для изменения размеров (уменьшения или увеличения) единую закономерность, обеспечивающую прочность и эстетичность сооружения.
3. Выделить определенное место в пространстве, где будет размещаться сооружение, наделить его определенной математической формой, которая позволит выделить его из других сооружений, создав новый архитектурный ансамбль.

В заключении можно констатировать, что теоретическая математика в большей или меньшей степени может быть связана с практическими задачами реальной жизни [1].

Литература

1. Сергеев А.Э. Практически-ориентированное обучение при изучении математики. В сборнике: Практико-ориентированное обучение: опыт и современные тенденции. Сборник статей по материалам учебно-методической конференции. 2017. С. 100.
2. Лаптев В.Н., Сергеев А.Э., Сергеев Э.А. Основная теорема арифметики и некоторые ее приложения. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 113. С. 127-132.

3. Патов А.М., Сергеев А.Э. Экономико-математические модели и методы в землеустройстве. В сборнике: Студенческие научные работы инженерно-землеустроительного факультета. сборник статей по материалам студенческой научно-практической конференции. 2017. С. 95 – 100.
4. Венгерова М.Э. Философско-геометрические системы мер длины храмостроения Древней Руси X-XV веков. Архитектура и современные информационные технологии. 2019. № 3 (48). С. 23-37.
5. Клименко Ю.Г., Искусство стереотомии во французской архитектуре нового времени //Архитектура и современные информационные технологии. 2017. № 4 (41). С. 88-106.

Literature

1. Sergeev A.E. Practice-oriented learning in the study of mathematics. In the collection: Practice-oriented learning: experience and current trends. Collection of articles based on the materials of the educational-methodical conference. 2017.S. 100.
2. Laptev V.N., Sergeev A.E., Sergeev E.A. The main theorem of arithmetic and some of its applications. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2015. No. 113. S. 127-132.
3. Patov A.M., Sergeev A.E. Economic and mathematical models and methods in land management. In the collection: Student scientific work of the engineering and land management faculty. a collection of articles based on the materials of the student scientific-practical conference. 2017.S. 95 - 100.
4. Vengerova M.E. Philosophical and geometric systems of measures of length of temple building in Ancient Rus X-XV centuries. Architecture and modern information technologies. 2019. No. 3 (48). S. 23-37.
5. Klimenko YG, The art of stereotomy in the French architecture of modern times // Architecture and modern information technologies. 2017. No. 4 (41). S. 88-106.