
Проф. Г. И. ПОКРОВСКИЙ

АРХИТЕКТУРА И ЗАКОНЫ ЗРЕНИЯ

К ТЕОРИИ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ
И ПРОПОРЦИЙ



ИЗДАТЕЛЬСТВО
ВСЕСОЮЗНОЙ АКАДЕМИИ АРХИТЕКТУРЫ

19 ★ МОСКВА ★ 36

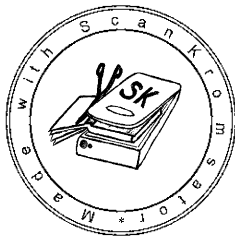
П р о ф. Г. И. П О К Р О В С К И Й

АРХИТЕКТУРА И ЗАКОНЫ ЗРЕНИЯ

К ТЕОРИИ
АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ
И ПРОПОРЦИЙ



ИЗДАТЕЛЬСТВО
ВСЕСОЮЗНОЙ АКАДЕМИИ АРХИТЕКТУРЫ
1 9 ★ МОСКВА ★ 3 6



Scan AAW

ПРЕДИСЛОВИЕ

Из всех видов искусств архитектура требует синтеза разнообразнейших отраслей человеческой культуры в наиболее глубокой и ответственной форме. В частности, приложение математики к архитектуре было одним из древнейших видов практического использования этой дисциплины. Этим путем еще в античную эпоху (сознательно или бессознательно) были достигнуты изумительные результаты в области архитектурных пропорций, акустики и т. п. В настоящее время, особенно в нашем Союзе, задачи архитектуры и средства для их разрешения неизмеримо возросли по сравнению с античностью или эпохой Возрождения. Однако некоторые области архитектуры, например учение о пропорциональности, весьма мало продвинулись вперед по сравнению с трудами Витрувия, Альберти и других теоретиков классических периодов архитектуры.

Настоящая работа имеет целью не столько восполнить этот пробел, сколько показать, какими плодотворными средствами современной науки о физиологии глаза может воспользоваться архитектор при решении своих задач. Автор был бы счастлив, если бы изложенные здесь основы нашли себе применение как в дальнейшем развитии архитектуры, так и в более глубоком изучении памятников прошлого. Без сомнения, данная работа, являясь первым шагом в несколько необычном направлении, содержит ряд недочетов, и автор просит всех читателей сообщать ему свои соображения и критику, касающиеся затронутых здесь вопросов.

Проф. Г. И. Покровский

Военно-инженерная академия РККА им. Куйбышева

1. ЗНАЧЕНИЕ ФИЗИОЛОГИИ ЗРЕНИЯ ДЛЯ АРХИТЕКТУРЫ

В настоящее время можно считать безусловно доказанным, что роль тех или иных количественных соотношений между элементами архитектурных композиций издревле была весьма значительной и учитывалась сознательно многими зодчими. Достаточно назвать здесь труды Витрувия¹ и Альберти², чтобы стало ясным, сколь длительная традиция связывает математику с архитектурным искусством, совершенно независимо от технической стороны дела. За последнее столетие появилось много работ, анализирующих как историю вопроса, так и пытающихся дать этому вопросу то или иное теоретическое истолкование. Здесь можно упомянуть труды Цейзинга³, Пфейфера⁴, Дегио⁵, Тирша⁶, Гика⁷, Тиммердинга⁸, Рафаэля⁹, Вольфа¹⁰, Хэмбиджа¹¹, Тексье¹², Гримма¹³ и Брунова¹⁴.

¹ Marci Vitruvii Pollionis de architectura libri decem ad Augustem Caesarem.

В и т р у в и й, Об архитектуре. СПб. 1790—1797.

² Leonis-Battistae Alberti de re aedificatoria libri decem. Л. Б. А л ь б е р т и, Десять книг о зодчестве. Перевод В. П. Зубова, М. 1935.

³ A. Zeising, Aesthetische Forschungen. Leipzig 1855.

⁴ H. Pfeifer, Der goldene Schnitt. Augsburg 1885.

⁵ G. Dehio, Ein Proportionalitätsgesetz der antiken Baukunst. Strassburg 1895.

⁶ A. Tiersch, Handbuch der Architektur, IV, Leipzig 1904.

⁷ M. Ghyka, Esthétique des proportions dans la nature et dans l'art. Paris 1927.

⁸ Г. Т им е р д и н г, Золотое сечение. СПб. 1924.

⁹ M. Rafael, Der dorische Tempel. Augsburg 1930.

¹⁰ O. Wolf, Tempelmasse. Wien 1932.

¹¹ G. Hambridge, Practical application of dynamic symmetry. New Haven 1932.

¹² М. Т е х и е р, Géométrie de l'architecture. Paris 1934.

¹³ Г. Д. Г р и м м, Пропорциональность в архитектуре. Л. 1935.

¹⁴ Н. Б р у н о в, Пропорции античной и средневековой архитектуры. М. 1935.

Перечисленные труды, которые представляют малую часть того, что вышло по этому вопросу из печати за последнее столетие, показывают многообразие и сложность вопроса о пропорциях в архитектуре.

Несмотря, однако, на многочисленность исследований, многие весьма существенные стороны данной проблемы остаются вовсе не освещенными. Действительно, подавляющее большинство авторов рассматривает приложение математики к архитектуре чисто описательно и довольствуется констатированием наличия в исследуемых ими памятниках тех или иных алгебраических или геометрических закономерностей. Именно подобный описательный метод и служит причиной значительного количества работ в этой области, так как он не дает возможности свести наблюдаемое формальное многообразие к основным законам физики и механики, достаточно простым и немногочисленным. Вместе с тем, при формально-математическом методе утрачивается существенное влияние исторических и социально-экономических факторов на архитектуру в целом и на системы архитектурной пропорциональности, в частности.

Среди громадного многообразия факторов, влияющих на архитектурные формы, можно выделить отдельные группы, особенно легко поддающиеся систематическому анализу. Так, можно указать на физико-механические факторы, рассматриваемые О. Шуази¹ и затрагиваемые в последних работах Ю. К. Милонова². Подробнее мы их касаться здесь не будем. Это — большая самостоятельная область, где, безусловно, можно ставить множество отдельных задач, из которых каждая заслуживает особой монографии.

Не менее существенной областью является связь архитектуры с законами зрения. Еще Леонардо да Винчи указывал на то, что «глаз... породил архитектуру»³. Это означает, что физиологические законы зрения определяют в известном отношении законы архитектурных форм. Поэтому можно рассматривать архитектуру с точки зрения физики и физиологии зрения и выводить ее законы из физики и физиологии глаза. Такая, казалось бы, ясная и давно уже высказанная мысль имеет в настоящее время все основания для своего развития, так как законы физиологии глаза теперь достаточно хорошо разработаны и обоснованы⁴. Другие области искусства, как музыка и живопись, уже связаны с физиоло-

¹ О. Шуази, История архитектуры. Т. I. М. 1935.

² Ю. К. Милонов, «Архитектура СССР», № 4 за 1934 г., № 3 за 1935 г.; «Академия архитектуры», № 3 за 1935 г.

³ Леонардо да Винчи, Избранные произведения. II. М. 1935, стр. 73.

⁴ См., например, «Handbuch der Experimentalphysik». Отдел: Physiologische Optik.

гией трудами Гельмгольца¹ и Оствальда². Между тем, в области архитектуры, кроме ряда отдельных высказываний (например о влиянии иррадиации на диаметры колонн у О. Шуази в его «Истории архитектуры», т. I), мы не имеем не только законченной системы, но даже и простейших основных положений. Восполнить этот пробел и является целью данной работы. При этом здесь не ставится задача приложения получаемых изложенным путем закономерностей к исследованию архитектурных произведений с одновременным учетом социально-исторических и технических факторов. Подобный комплексный метод, повидимому, мог бы быть исключительно интересным и плодотворным, но сначала необходимо обосновать исходные положения в отдельных областях и, в частности, еще не разработанные зрительные законы архитектуры.

Этому вопросу и посвящается данное исследование.

Описанные здесь физиологические факторы занимают совершенно определенное место в теории архитектуры, но сами по себе ни в какой мере еще не определяют ни эстетической ценности, ни содержания архитектурного сооружения, ни впечатления, им производимого. Физиологические факторы служат одним из средств архитектора и должны войти в общий синтез, так как архитектура в большей степени, чем другие искусства, есть синтез разнообразнейших факторов. В этом синтезе требования физиологии и гармоничности могут быть учтены или даже отброшены и преодолены, в зависимости от требований целого. Безусловно неправы такие теоретики архитектуры, как, например, Бориссавлевич³, видящий в архитектуре некое почти автоматическое выполнение требований физиологии зрения. Но неправ также, скажем, и Николаев⁴, не признающий в механизме образования архитектурных форм иных причин, кроме деформаций материала.

Удобным объектом для демонстрации влияния различных факторов на архитектурные формы является колонна, особенно дорийская. Для образования ее формы потребовалось, как известно, взаимодействие громадного числа различных факторов.

Прежде всего, социальные условия античной Греции и ее колоний позволяли использовать в значительном объеме труд рабов и производить в больших объемах трудоемкие работы по обработке мрамора. Социально-исторические условия позволили господствующим классам развить высокую культуру,

¹ Н. Helmholtz, Die Lehre von den Tonempfindungen.

² W. Ostwald, Farbenlehre. 1918—1921.

³ M. Borissavlévitch, Les théories de l'architecture. Paris 1926.

⁴ Б. Николаев, Физические начала архитектурных форм. СПб. 1905.

методы точных измерений и изощренное чувство формы. Все это привело к созданию весьма тонко взвешенных архитектурных образов. Географические факторы привели к тому, что для архитектуры мог быть использован мрамор — прекрасный материал для создания точно построенных форм. Климатические условия создали возможность строить открытые портики. Наличие яркого солнечного света лишний раз заставило уточнить все формы, одевая сооружение системой из четких теней и тончайших рефлексов, особенно хорошо видимых на светлом мраморе. Сейсмические условия привели к необходимости создавать устойчивые колоннады. Вместе с тем, наличие скалы, как основания сооружений, позволило не бояться создавать тяжелые сооружения и применять опоры, собственный вес которых, так же как и несомых ими частей, был относительно незначителен.

Возможно, что строителям приходилось видеть на деревянных и глинобитных сооружениях естественно создаваемый пластической деформацией энтазис — уширение конической колонны в ее средней части. Это явление и было тотчас же использовано в мраморной колонне уже сознательно, так как оно прекрасно соответствовало требованиям физиологии зрения, рассматриваемым далее и особенно обостренно чувствующимся при восприятии четкой формы из мрамора при ярком освещении южного солнца. Вот здесь вполне и проявилась рассматриваемая дальше закономерность, определяющая величину энтазиса. Однако если в колонне была использована пластическая деформация, то именно лишь потому, что она входила как элемент в синтез множества других факторов. Если бы она не вошла в этот синтез, она была бы отброшена строителем. Так, например гораздо более часто наблюдаемым результатом пластической деформации является прогиб балок архитрава. Однако нигде и никогда, по крайней мере в тех памятниках, которые построены в античных средиземноморских странах, такой прогиб не воспроизводится сознательно. Вместе с тем, этот прогиб противоречил бы закономерности, определяющей энтазис, как это будет показано далее. Вероятнее всего именно поэтому здесь влияние пластической деформации не отображается. Оно не включается в общий синтез и потому теряет само по себе всякую силу.

Можно привести, однако, и прямо противоположные примеры. В японской и китайской архитектурах, хотя и построенных на тех же основных закономерностях архитектурного синтеза, но обладающих особым, специфическим, «беспокойным» характером силуэта, некоторые дисгармонические особенности сознательно подчеркнуты и усилены. Так, вместо легкого выгиба антаблемента кверху, как в Парфеноне, мы видим резко подчеркнутый прогиб карнизов и поднятые кверху углы крыши. Таким образом, иногда не соблюдение, а на-

оборот, нарушение физиологической экономии при восприятии сооружения, становится методом эстетического оформления последнего.

В частности, «дисгармонический» прогиб карнизов в китайской и японской архитектурах как нельзя лучше сочетается с характером орнаментальной обработки архитектурных деталей и иногда весьма сложным сочетанием их друг с другом. Все это имеет, видимо, глубокие исторические и социально-экономические корни, а также определяется рядом технических факторов.

Все сказанное приводит к заключению, что рассмотренные в этой книге обстоятельства ни в какой мере сами по себе не обосновывают, а тем более не исчерпывают архитектурную эстетику. Но они должны быть так или иначе учтены как положительное или отрицательное слагаемое при всяком серьезном архитектурном исследовании. Архитектура является таким синтезом, в котором ни один элемент не может быть отброшен. Именно как элемент синтетической теории архитектуры и следует рассматривать изложенные здесь физиологические закономерности.

* * *

Настоящее исследование строится по следующему плану. Сначала рассматриваются основные законы зрительного восприятия, в частности, то чрезвычайно важное обстоятельство, что формы, обладающие значительными размерами, воспринимаются движением глаза.

Исходя из законов этого движения, строится теория гармонии кривых линий и рассматриваются коррекции кажущегося искривления прямых линий. Далее вводится представление о законе Вебера-Фехнера применительно к длинам воспринимаемых отрезков. Наконец, заключительной частью служит раздел о последовательности восприятия архитектурных форм во времени.

Излагаемые здесь закономерности могут найти также приложение в живописи, графике, скульптуре и вообще во всех областях, где так или иначе участвует человеческий глаз. В частности, весьма вероятно, что отмечаемое многими авторами¹ наличие определенных законов пропорциональности в строении человеческого тела и тела животных можно объяснить естественным отбором, регулируемым в известной мере физиологией² глаза. Впрочем, этот вопрос выходит далеко за пределы поставленной здесь задачи и мог бы стать темой специального большого исследования.

¹ Albrecht Dürer, Vier Bücher von menschlicher Proportion. Nürnberg 1528. Claude Audran, Les proportions du corps humain. Paris. 1683. A. Zeising, Neue Lehre von den Proportionen des menschlichen Körpers. Leipzig 1854.

² См, например, Б. Н. Николаев, Мирведение. Т. XVIII, 1929, № 1, стр. 1.

2. РОЛЬ ДВИЖЕНИЯ ГЛАЗА ПРИ ЗРИТЕЛЬНОМ ВОСПРИЯТИИ

Поле зрения глаза, находящегося в неподвижном состоянии, вообще довольно велико. Оно соответствует наиболее широкоугольным оптическим системам. На рис. 1 изображены схематически взаимно налагающиеся поля зрения двух глаз¹, причем размеры их даны в угловой мере (в градусах). Из этого рисунка видно, что поле зрения каждого глаза не вполне симметрично. Конечно, изображенная на рис. 1 конфигурация поля зрения только приближи-

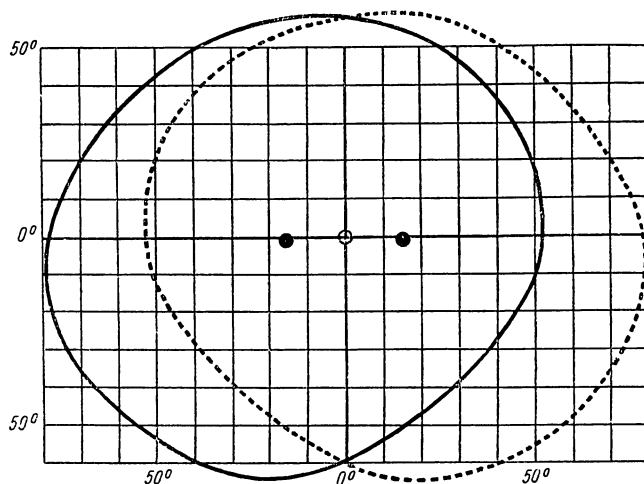


Рис. 1. Угловые размеры полей зрения правого и левого глаза

тельная, так как точность определения границы поля зрения невелика и самая граница может быть несколько различной, в зависимости от индивидуальных свойств зрения. На рис. 2 изображено сечение поля зрения вертикальной плоскостью, показывающее наглядно, какой значительный телесный угол одновременно захватывается глазом.

Однако, несмотря на значительные размеры поля зрения, восприятие более или менее протяженных объектов происходит всегда путем соответствующего движения глаз. Вызывается это тем обстоятельством, что резкое восприятие деталей возможно только на весьма малой части поля зрения. На рис. 3 пока-

¹ По Г. И. Покровскому и Л. А. Пашковой, Строительная светотехника. М. 1933.

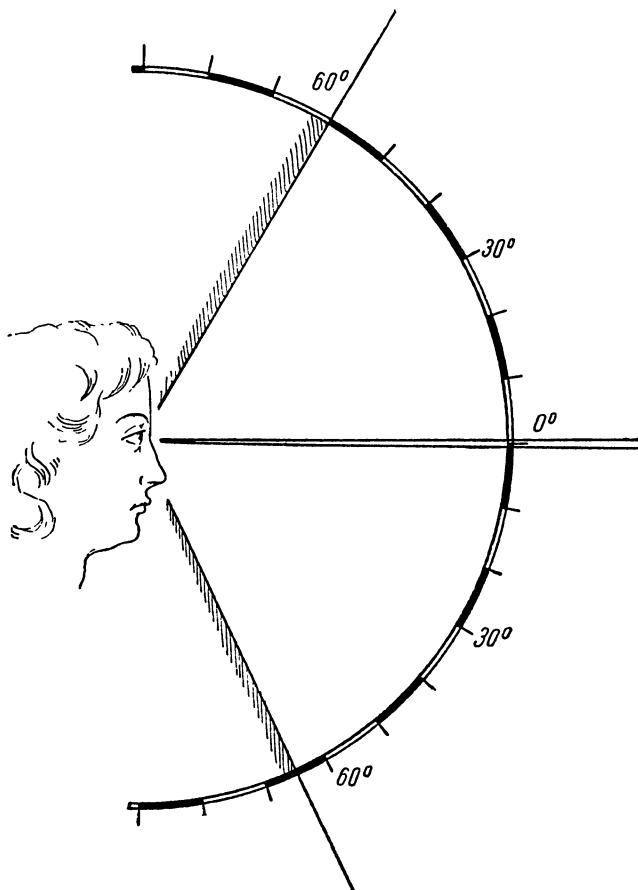


Рис. 2. Сечение полн зрения с выделением области резкого восприятия деталей

зана средняя разрешающая способность нормального глаза, в зависимости от углового расстояния точки поля зрения от центра поля ¹. Как видно из этого графика, область резкого зрения совершенно ничтожна и составляет весьма малую долю всего поля зрения. В подобном свойстве глаза легко убедиться, фиксируя какую-либо деталь в поле зрения, например букву в печатном тек-

¹ А. К ö n i g, Physiologische Optik., «Handbuch der Experimentalphysik», XX, Leipzig 1929.

сте. Тогда буквы соседних слов будут плохо видны, и детали их без соответственного перемещения глаза различить будет уже совершенно невозможно.

На рис. 4 изображен архитектурный мотив в том виде, в каком он должен восприниматься неподвижно фиксирующим одну точку глазом (или двумя глазами). На малой центральной части поля зрения ясно выделяются детали, в то время как по мере перехода к периферии фиксируются лишь все более и более крупные части. Конечно, нужно иметь в виду, что рис. 4 дает несколько схематическое изображение действительного восприятия. В частности, резкость восприятия уменьшается на этом рисунке не равномерно, а скачкообразно, по мере перехода от одной концентрической зоны к другой. Эти зоны введены для более удобного выполнения рисунка и фактически, конечно, отсутствуют.

Совершенно очевидно, что получаемое в действительности впечатление от объектов значительной протяженности совершенно не соответствует рис. 4. Вообще зрительное впечатление может объединять значительные размеры воспринимаемого объекта с рез-

ким отображением деталей на всем протяжении поля зрения. Это оказывается возможным только вследствие движения глаза, осуществляемого весьма быстро и бессознательно. Если в поле зрения имеются линии или какие-либо отрезки, то глаз движется так, чтобы соответствующее изображение на сетчатке глаза скользило по ее наиболее чувствительной центральной части (*fovea centralis*)¹. Таким образом, механическое движение глаза, точнее, вращение глазного яблока, является основным физиологическим актом, сопровождающим зрительное восприятие более или менее протя-

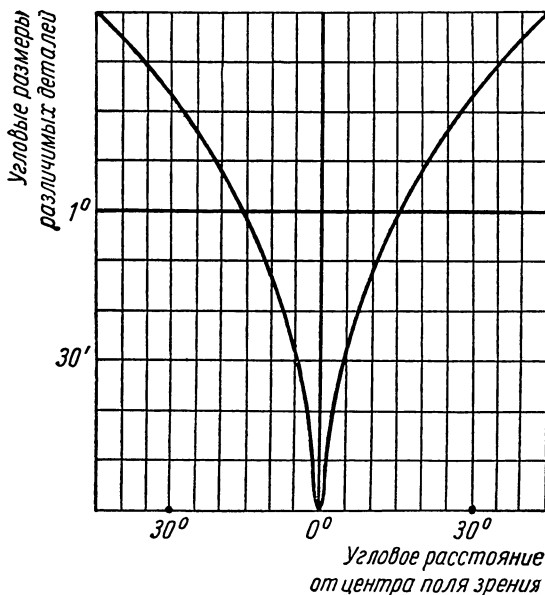


Рис. 3. Разрешающая сила глаза в зависимости от углового расстояния от центра поля зрения

¹ A. K ö n i g, Physiologische Optik.

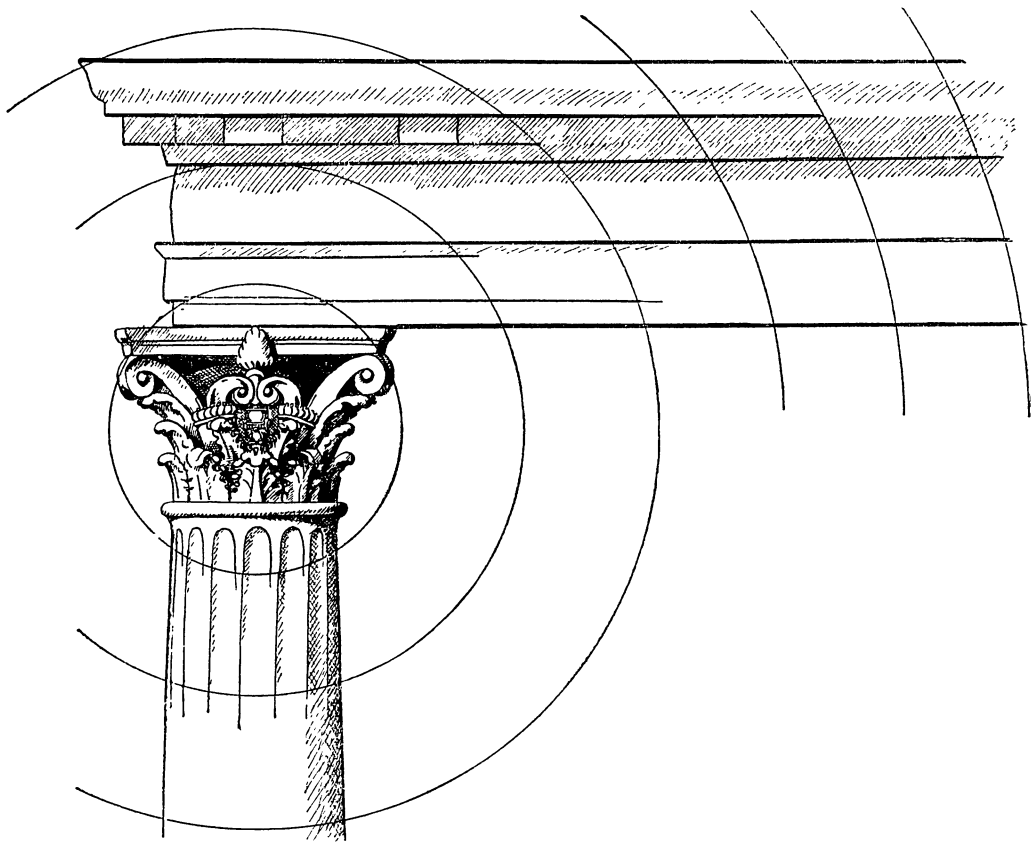


Рис. 4. Архитектурный мотив, воспринимаемый неподвижным глазом

женных объектов ¹. Для восприятия архитектурных образов такое движение имеет решающую роль. Исходя из этого положения, являющегося для нас основным во всем данном исследовании, мы можем установить несколько основных законов. При этом свойства движения глаза можно разбить на следующие разделы. Прежде всего, во всяком движении имеется направление. Изучая направление движения, можно дать:

а) анализ некоторых искажений формы, получающихся в результате проявления своеобразной инерции движения глаза;

¹ Münsterberg, Neue Grundlegung der Psychophysik. «Beiträge zur experimentellen Physiologie», III, 1890.

б) анализ и количественное выражение кажущегося искривления прямых линий значительной протяженности при их зрительном восприятии, а также расчет возможной в этом случае коррекции;

в) анализ восприятия кривых линий и установление понятий о «монолитности» и «четкости» фигур, ограниченных кривыми линиями.

Кроме направления, всякое движение характеризуется *д л и н о ю п у т и* (в данном случае путь равноценен углу поворота глаза). Изучая длины путей и применяя к этой области закон Вебера-Фехнера, можно:

а) установить физиологические основы учения о пропорциях, в частности обосновать с этой точки зрения так называемое золотое сечение;

б) развить некоторые новые схемы пропорциональности.

Наконец, при всяком движении возможно установить *п о с л е д о в а т е л ь н о с т ь* прохождения отдельных участков пути *в о в р е м е н и*. Это дает возможность связать в единой схеме сложные совокупности пропорциональных соотношений, особенно в больших архитектурных ансамблях.

3. ЗАКОН ИНЕРЦИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ВОСПРИЯТИЮ ЛИНИЙ ДВИЖЕНИЕМ ГЛАЗА

Если глаз воспринимает какую-либо линию и совершает такое движение, при котором изображение линии скользит по центральной части сетины, то всякий излом линии, приводящий к изменению ее направления, будет сопровождаться соответствующим изменением направления движения глаза. Это изменение потребует некоторого дополнительного усилия, необходимого, в частности, для преодоления обычных сил инерции. В результате этого может произойти известное искажение в восприятии направлений линий, к которому сводится значительное число так называемых «обманов зрения». Рассмотрим это явление подробнее.

Пусть имеется система из двух линий, изображенная на рис. 5. Глаз может переходить с одной линии на другую двумя путями: по сторонам острого и тупого угла. При таком переходе глаз в результате вышеуказанной инерции будет воспринимать величины углов несколько искаженными. Это проявится

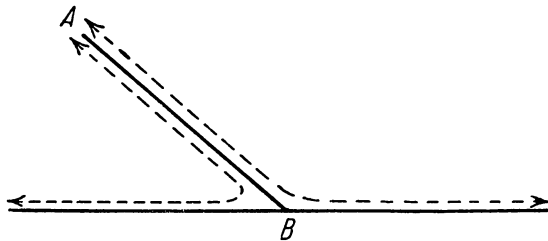


Рис. 5. Схема движений глаза при переходе с одной прямой на другую

здесь в некотором стремлении увеличить размеры углов. При этом у более острого угла оно будет выражено сильнее. Таким образом, прямая *AB* будет казаться вообще более близкой к перпендикулярю, чем она есть в действительности ¹.

Чтобы доказать это, перейдем к рис. 6. Здесь к горизонтальной прямой пристроены две группы наклонных линий, создающих определенный эффект кривизны основной линии с выгибом ее средней части кверху. Величина получающейся при этом стрелки кажущейся кривизны легко может составить 0,01 длины горизонтальной линии. Если же взять вместо прямой ломаную с соответствующим выгибом книзу, то этот выгиб может быть полностью уничтожен для зрительного восприятия соответствующей системой наклонных линий.

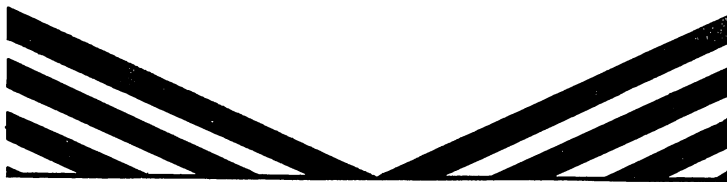


Рис. 6. Кажущийся изгиб прямой линии, вызванный системой наклонных линий

Рассмотренные явления вызваны тем, что углы между горизонтальной прямой и системой наклонных линий увеличиваются при зрительном их восприятии на величину почти до 2° . В результате этого наклонные линии кажутся более вертикальными, чем они есть, а горизонтальная линия получает характерный выгиб и утрачивает свою прямизну.

То, что описанный эффект зависит действительно от движения глаза, подтверждается также тем, что при наблюдении в течение малого промежутка времени, например при освещении рисунка электрической искрой, эффекта искривления не получается, так как глаз не успевает совершить необходимое для этого движение.

Эффект, иллюстрируемый рис. 6, может быть с успехом использован в тех случаях, когда необходимо уничтожить кажущийся или замаскировать действительно имеющийся прогиб балки, архитрава или плоской перемычки. Во всех этих случаях значительную помощь может оказать разбивка соответствующей детали радиальными швами по схеме, изображенной на рис. 7.

¹ Ошибка может доходить до $1,5^\circ$ и даже более. См., например, M a s h, Wiener Berichte. 43, II, 215. 1861.

Кроме рассмотренного важного, но все же частного случая, можно было бы привести значительное количество других случаев, в которых инерция движения глаза играет существенную роль. Здесь остановимся только на следующем важном для архитектора обстоятельстве. При восприятии каких-либо удлиненных элементов, соприкасающихся с другими элементами иного направления, движение глаза с известным усилием меняет свое направление. Чтобы облегчить переход от одного направления к другому, оказывается

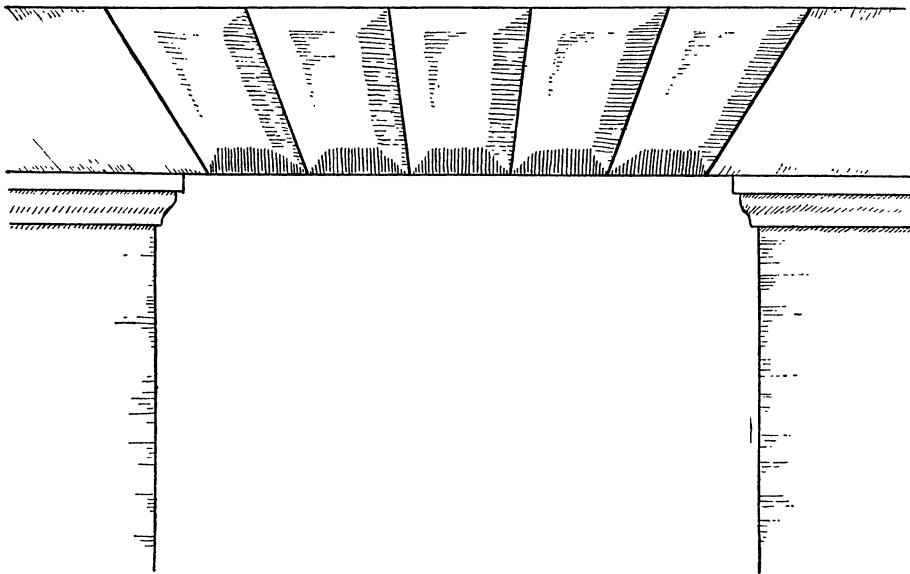


Рис. 7. Архитектурная обработка перекрытия, компенсирующая его кажущийся (или даже действительно существующий) прогиб

необходимым постепенно замедлить движение глаза при переходе от детали одного направления к детали, имеющей иное направление своей оси.

Лучшим примером этому могут служить капители колонн, задерживающие на себе взгляд, движущийся вдоль колонны снизу вверх, и позволяющие глазу легче изменить направления движения при переходе от колонны к горизонтальным членениям антаблемента. Подобную роль особенно четко выполняют волюты ионийских и композитных капителей. Очевидно, базы колонн играют подобную же роль при движении взгляда сверху вниз вдоль ствола колонны.

К сожалению, более подробный анализ и количественное выражение рассмотренных здесь явлений пока еще отсутствуют. Поэтому здесь нельзя со-

проводить качественные соображения никакими расчетными схемами, формулами или количественными характеристиками, важными для практики. Этот вопрос еще ждет своего исследования, которое, видимо, может стать весьма плодотворным.

4. КАЖУЩЕЕСЯ ИСКРIVЛЕНИЕ ПРЯМЫХ ЛИНИЙ И ЕГО КОМПЕНСАЦИЯ

Обычное направление взгляда, т. е. оптических осей глаз, близко к горизонтальному. Если глаз воспринимает горизонтальную линию, находящуюся

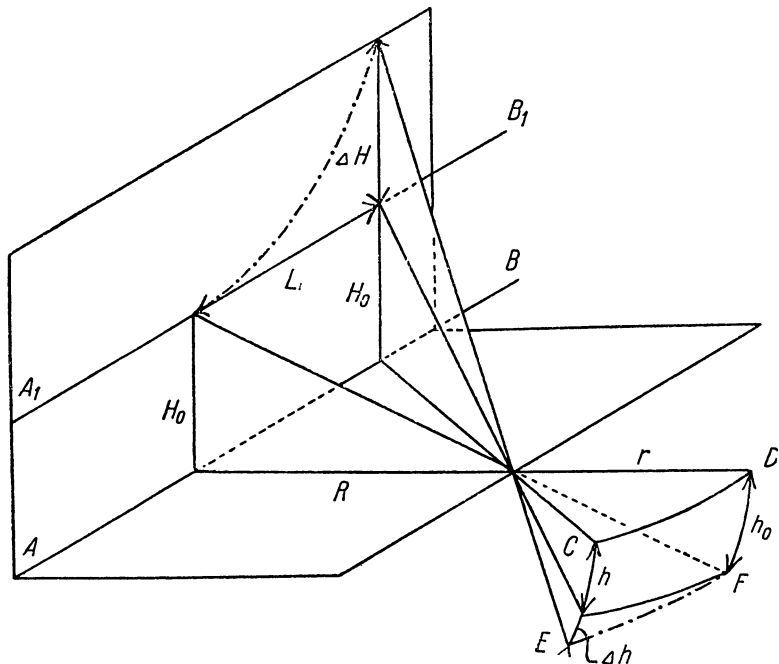


Рис. 8. Схема движений глаза при восприятии прямой линии, лежащей выше горизонта

на одной с ним высоте, то он совершает вращение около вертикальной оси. При этом, в том случае, если кроме линии, воспринимаемой резко, имеется еще несколько других, ей параллельных, то эти линии будут также отображаться на сетине глаза и восприниматься, хотя и менее резко. Если основная линия будет восприниматься как действительно прямая, то линии, находя-

щиеся выше и ниже ее, должны были бы восприниматься кривыми. Это является результатом проекции этих линий на вогнутую и при этом движущуюся фокальную поверхность глаза. Пусть мы на некоторой вертикальной плоскости (рис. 8) имеем две горизонтальные линии, AB (на уровне глаза) и A_1B_1 , расстояние между которыми равно H_0 . Если расстояние линии AB от глаза, равное R , велико по сравнению с H_0 , то можно произвести следующий приближенный расчет. Пусть изображение линий AB и A_1B_1 проектируется на сетчатку глаза, участок которой $CDEF$ изображен на рис. 8. Если глаз фиксирует отрезок H_0 в наиболее близком к глазу участке вертикальной плоскости, то величина изображения h_0 этого отрезка на сетчатке глаза определится так:

$$h_0 = H_0 \frac{r}{R}; \quad (1)$$

здесь r означает фокусное расстояние глаза. Если же глаз будет фиксировать то же самое расстояние, примыкающее к участку линии AB на расстоянии L от ближайшей к глазу точки, то величина изображения будет равна:

$$h = H_0 \frac{r}{\sqrt{R^2 + L^2}}. \quad (2)$$

Сравнивая формулы (1) и (2), мы видим, что:

$$h_0 > h,$$

а это значит, что линия A_1B_1 должна восприниматься в виде кривой.

Таким образом, если глаз воспринимает четко какую-либо прямую линию, то все другие прямые, параллельные этой линии, должны были бы казаться кривыми, с выпуклостью, обращенною наружу (по отношению к основной прямой). Между тем, такого явления на самом деле не наблюдается. Это следует объяснить так. Бессознательный опыт, влиявший на всю эволюцию зрительного восприятия, убеждает нас в том, что система линий, воспринимаемых кривыми, образована в действительности системой прямых. Так как глаз имеет обычно такое положение, при котором правильной прямой воспринимается линия, находящаяся в одной горизонтальной плоскости (на одном уровне) с глазом, то все лежащие выше линии должны отображаться в глазу кривыми, для того чтобы быть воспринятыми как прямые.

Если теперь, рассматривая подробно какую-либо линию, лежащую выше горизонта, глаз повернется в вертикальной плоскости так, что его оптическая ось будет уже не горизонтальной, а направленной под некоторым углом

(по отношению к горизонтали) вверх, то прямая, обычно отображаемая в глазу как кривая, будет отображена прямой. Таким образом, произойдет выпрямление изображения, которое, однако, субъективно приведет к искривлению воспринимаемой линии в обратную сторону. Это произойдет потому, что при обычном расположении глаза данная прямая проецировалась на сетине как кривая, и при перемещении оси глаза вверх эта кривизна исчезла. Кажущуюся стрелку кривизны можно рассчитать, исходя из рис. 8. Для этого удлиним отрезок дуги h так, чтобы он равнялся h_0 , прибавляя к нему отрезок, равный:

$$\Delta h = h_0 - h. \quad (3)$$

Переместив таким образом один из концов изображения отрезка H_0 , мы должны увеличить отрезок H_0 на величину:

$$\Delta H = \Delta h \frac{\sqrt{R^2 + L^2}}{r}. \quad (4)$$

Заменяя Δh по формуле (3) и пользуясь формулами (1) и (2), находим:

$$\Delta H = (h_0 - h) \frac{\sqrt{R^2 + L^2}}{r} = \left(H_0 \frac{r}{R} - H_0 \frac{r}{\sqrt{R^2 + L^2}} \right) \frac{\sqrt{R^2 + L^2}}{r}.$$

Отсюда:

$$\Delta H = H_0 \left(\frac{\sqrt{R^2 + L^2}}{R} - 1 \right). \quad (5)$$

Пусть линия, имеющая длину $2L$, расположена на высоте над горизонтом и подробно рассматривается поднятым вверх глазом, помещенным перед серединой этой линии на расстоянии (по плану) R . Если необходимо, чтобы эта линия воспринималась как прямая, нужно дать ей выгиб вверх, со стрелкой кривизны, определяемой формулой (5). Более подробный анализ показывает при этом, что линия должна представлять собою симметричный относительно центра отрезок гиперболы. Практически его можно заменить отрезком дуги с радиусом, равным:

$$\rho = \frac{L^2}{2\Delta H}. \quad (6)$$

На рис. 9 изображена архитектурная композиция с коррекциями искажений, рассчитанными по формуле (6). При этом данная композиция должна рассматриваться с расстояния, в 2,5 раза превышающего ее общую ширину.

Кроме того, самый рисунок должен быть расположен в вертикальной плоскости так, чтобы основание стены было на одном уровне с глазом, иначе рассмотренная выше схема движения глаза не будет соблюдена.

На рис. 9, кроме искажения горизонтальной линии карниза, дано также и соответствующее искажение боковых граней фасада. Оно рассчитано по тем же формулам, в которых, однако, H и L переставлены местами.

Как известно, коррекции, подобные рассмотренным, применялись иногда в лучших памятниках зодчества. Известен пример искривления линии антаблемента на фасаде Парфенона и соответствующий наклон внутрь его фасада

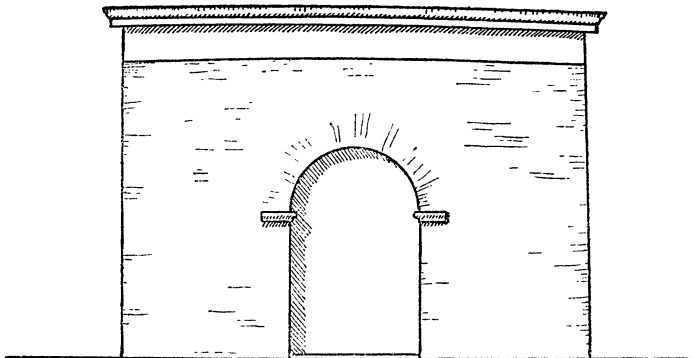


Рис. 9. Архитектурный мотив с компенсацией кажущихся искривлений прямых линий

крайних колонн¹. В некоторых египетских памятниках вместо искривления в вертикальной плоскости применялось искривление в плоскости горизонтальной с той же самой целью². При этом во всех случаях искривление сделано меньше теоретического.

Совершенно особый случай искривления, соответствующий также рассмотренной здесь закономерности, представляет собой энтазис колонн. Колонны, являясь хотя и крупной, но все же деталью сооружения, должны были рассчитываться на восприятие с меньших расстояний, чем все сооружение в целом, — с такой точки зрения, откуда все сооружение охватить взглядом достаточно трудно. Поэтому у колонн искривление линий более значительно, чем у всего сооружения. Пользуясь для этого случая формулой (5), мы долж-

¹ О. Ш у а з и, История архитектуры, т. I.

² Там же.

ны считать H_0 за радиус колонны на уровне глаза зрителя. Если колонны опираются на стилобат, то грубо можно принять, что H_0 есть нижний диаметр колонны. Таким образом, ΔH будет соответствовать сужению колонны в ее верхней части. Если:

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{1}{4},$$

что соответствует более старым образцам дорийской архитектуры, то:

$$R = \frac{4}{3} L,$$

где R есть расстояние от зрителя до колонны и L — высота колонны. Это соотношение вполне правдоподобно. Аналогичные рассуждения были бы справедливы также во всех тех случаях, когда мы имеем суживающиеся кверху дверные пролеты, весьма часто употреблявшиеся в античной архитектуре в тех самых сооружениях, где применены и колонны с тем или иным энтазисом. В этом случае ось двери является уже центральной линией композиции и H означало бы полуширину двери.

Все сказанное здесь относилось преимущественно к линиям, находящимся выше горизонта. Аналогичный эффект имеет место и для линий, лежащих ниже горизонта.

Особенно резко этот эффект проявляется при наблюдении поверхности земли с большой высоты (с самолета). В результате описанного искажения поверхность земли кажется вогнутой чашей.

Чтобы покончить с вопросом о коррекции искривления прямых линий, следует добавить, что всякая подобная коррекция, рассчитываемая по вышеприведенным формулам, может быть правильной только для какого-то одного определенного положения глаза. Так как в подавляющем большинстве случаев всякий архитектурный объект рассчитывается на обозрение с различных точек, то описанные выше коррекции следует применять с чрезвычайным тактом и весьма сдержанно. Величины, определяемые по формуле (5), следует рассматривать поэтому только как предел возможного действительного искривления прямых линий.

Искривление антаблемента Парфенона подтверждает этот вывод, так как оно очень невелико, во всяком случае меньше, чем это было бы необходимо теоретически для большинства точек зрения с верхней площадки Акрополя и в том числе из портика Пропилей.

Необходимо, конечно, иметь в виду, что, кроме действительного искривления, коррекция может достигаться также графическими приемами вроде изображенных на рис. 6 и 7. Подобные приемы могут дать эффект в случаях, когда:

$$\frac{\Delta H}{L} < 0,01.$$

Коррекция графическими приемами, конечно, много труднее, ибо она должна быть увязана с общей архитектурой данного объекта. Вместе с тем, однако, такая коррекция более универсальна и требует менее строгой фиксации положения зрителя.

5. ТЕОРИЯ КРИВЫХ ЛИНИЙ

Исходя из принципа движения глаза при восприятии линии, можно вывести основные закономерности гармонического построения кривых линий и их сочетания с прямыми.

Несмотря на существенную роль кривых линий различных типов в архитектуре, их теоретическому анализу, начиная с древнейших времен и до последнего времени, уделялось гораздо меньше внимания, чем гармоническому сочетанию отрезков прямых линий. Из последних работ в этом направлении можно отметить несколько страниц в книге Г. Д. Гримма¹. В настоящее время вопрос о гармонии кривых линий следует считать особенно актуальным, если принять во внимание растущее взаимодействие архитектуры с авто- и авиастроением, где в последние годы преобладают так называемые обтекаемые формы, порою не как техническая необходимость, а как эстетический метод.

Итак, исходя из рассмотренного ранее движения глаза «вдоль» воспринимаемой линии. Движение это зависит от формы линии. Если линия имеет угол, изменяющий ее направление, то требуется известное усилие, некоторое напряжение внимания, для того, чтобы осуществить движение глаза по новому направлению. Таким образом, и всякое постепенное изменение направления линии путем включения отрезка кривой потребует также некоторого дополнительного усилия. Из этого, однако, ни в какой мере нельзя сделать вывод, что восприятие кривой требует большего физиологического усилия, чем восприятие прямой линии. В некоторых случаях мы можем ожидать даже

¹ Проф. Г. Д. Г р и м м, Пропорциональность в архитектуре. Л. 1935, стр. 56—59.

обратного. Пусть, например, мы имеем окружность, т. е. кривую с п о с т о я н н о й к р и в и з н о й. У такой линии все равные участки взаимно заменимы. Поэтому установленный характер движения глаза для восприятия одного из этих участков будет иметь место и при восприятии других. Здесь, впрочем, необходимо сделать существенную оговорку. Безусловно, физиология глаза не позволяет утверждать, что вертикальные и горизонтальные перемещения глаза равноценны и требуют одинакового усилия. Однако в случае полной окружности (или ее части), при переходе от одного элемента линии к другому, преобразование вертикального перемещения в горизонтальное (или наоборот) будет всегда совершаться достаточно равномерно. Поэтому глаз не

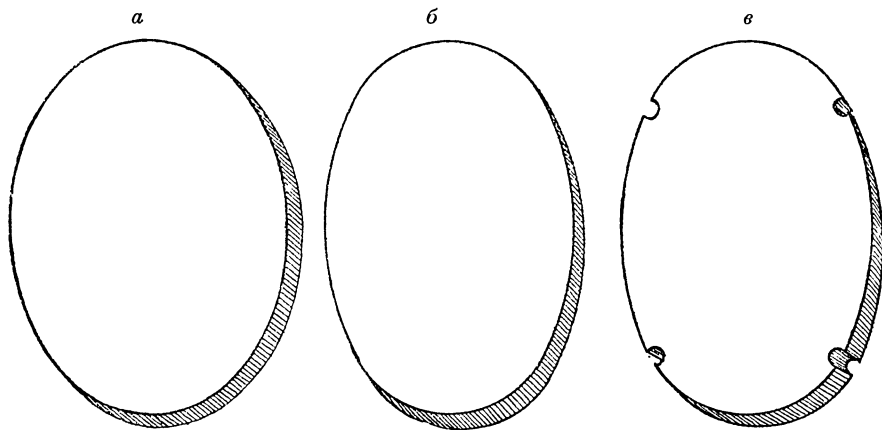


Рис. 10: а) эллипс («монолитная» фигура); б) овал из четырех дуг; в) овал из четырех разделенных дуг («четкая» фигура)

будет в состоянии как-либо выделить одну часть дуги из всей ее длины предпочтительно перед какой-либо иной частью. В результате вся дуга представляется целостной и воспринимается с минимальной затратой физиологической энергии. Близкое, хотя неполное, соответствие этому случаю мы получим, если вместо окружности возьмем эллипс. Здесь мы также будем иметь п о с т е п е н н ы й переход одного направления движения в иное направление. Поэтому, хотя отдельные дуги эллипса вообще не тождественны друг другу, тем не менее в нем не может быть никаких особых точек, где движение глаза резко изменялось бы. Поэтому и эллипс также должен с физиологической точки зрения обладать «монолитностью». Вообще все кривые, являющиеся графическим изображением непрерывных функций (имеющих конечные зна-

чения производных), должны обладать «монолитностью» в принятом здесь смысле этого слова.

Совершенно иначе происходит восприятие линий, у которых кривизна меняется скачкообразно в той или иной точке. Так, для иллюстрации на рис. 10 приведен эллипс обычного типа и сопоставлен с фигурой, построенной из четырех дуг двух различных радиусов кривизны. Во втором случае вторая производная меняется скачкообразно в точке сопряжения дуг, и это сопровождается соответствующим скачкообразным изменением характера движения глаза. В результате фигура теряет «монолитность» и воспринимается с гораздо большей затратой физиологической энергии. Благодаря этому создается своеобразная нечеткость формы. Эта нечеткость в основном должна быть объяснена затруднением, с которым глаз улавливает те места, где характер движения внезапно изменяется. Действительно, если эти места снабдить какими-либо значками, изломами или иными метками, задерживающими так или иначе внимание зрителя и останавливающими таким путем движение глаза вдоль воспринимаемой линии, то восприятие фигуры значительно «облегчается». Это видно из третьей фигуры на рис. 10. Все сказанное здесь не связано, конечно, с той или иной эстетической оценкой различных линий и форм, но, безусловно, во всех случаях, где требуется компактное и экономное, с физиологической точки зрения, восприятие формы, изложенные соображения могут сыграть решающую роль.

Указанные общие теоретические предпосылки нетрудно применить в различных практических случаях. Рассмотрим здесь для примера построение спирали. Обычно спирали строятся в архитектуре по нескольким центрам, причем при переходе от одного центра к следующему происходит скачкообразное изменение кривизны спирали в точке, не отмечаемой каким-либо заметным для глаза способом. Поэтому такого типа спирали не могут считаться удовлетворяющими физиологическим требованиям гармонии. Однако все же, чем больше центров применяется при построении спирали и чем соответственно меньше скачки в радиусах кривизны, тем ближе приближается спираль к идеально гармонической.

Впрочем, такую идеально гармоническую спираль весьма легко представить в аналитической форме и построить по точкам в системе полярных координат. При этом можно внести еще и дополнительное требование относительно соотношения радиусов отдельных концентрических витков. Исходя из требований золотого сечения, которое будет дальше рассмотрено подробно, можно считать, что всякий радиус должен разделяться следующим витком спирали

в определенном отношении: весь радиус должен относиться к радиусу последующего витка, как:

$$1:0,618.$$

Учитывая все эти требования, мы получаем следующее уравнение (в полярных координатах) для гармонической спирали, показанной на рис. 11:

$$R = R_0 \cdot 0,618^{\frac{\varphi}{2\pi}}. \quad (7)$$

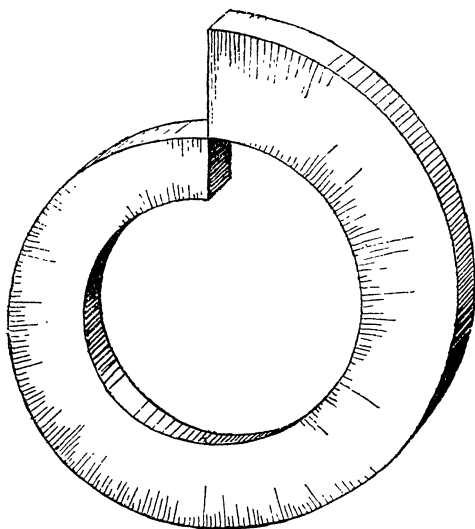


Рис. 11. Спираль по формуле:

$$R = R_0 \cdot 0,618^{\frac{\varphi}{2\pi}}$$

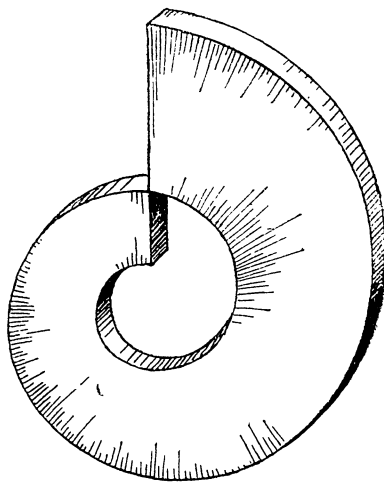


Рис. 12. Спираль по формуле:

$$R = R_0 \cdot 0,618^{\frac{\varphi}{\pi}}$$

Очень сходную с этой, но быстрее развертывающуюся спираль мы получим, написав (рис. 12):

$$R = R_0 \cdot 0,618^{\frac{\varphi}{\pi}}; \quad (8)$$

здесь R — расстояние данной точки спирали от центра,

R_0 — та же величина в начале спирали,

φ — угол между R и R_0 , выраженный в радианах,

$\pi = 3,1418$.

В заключение следует отметить, что изложенные здесь соображения могут быть легко применены и в случае линий двойной кривизны, где радиус кривизны меняет свой знак. Подобные кривые часто применяются в различных

обломах. Обычно такие кривые строятся из двух центров и обладают поэтому рассмотренными недостатками спиралей, построенных по небольшому числу центров. В этом случае можно было бы рекомендовать в качестве более гар-

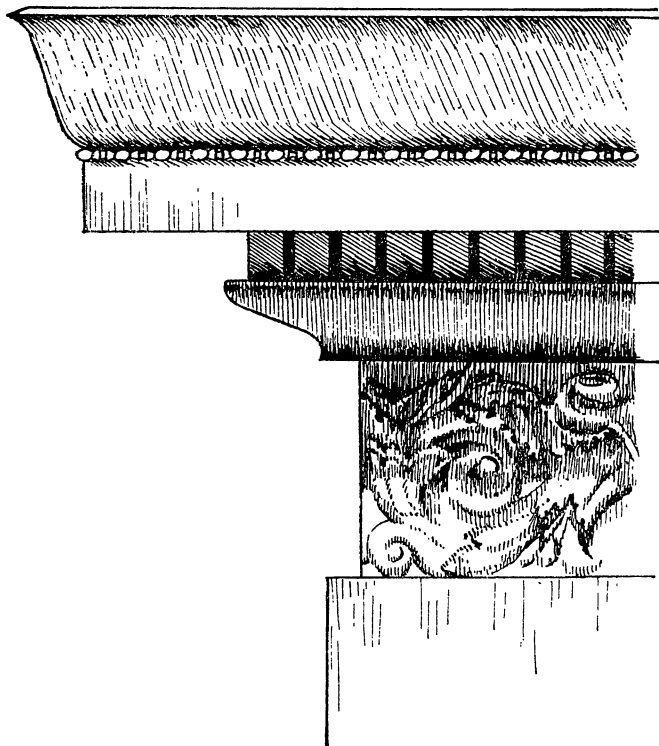


Рис. 13. Синусоидальные кривые (применительно к гуську и каблучку)

монической формы синусоиду. При применении синусоиды координаты линии связываются следующим соотношением:

$$y = \frac{1}{2} H \left[\sin \frac{\pi}{2} \left(\frac{x}{B} - 1 \right) + 1 \right]; \quad (9)$$

здесь H — высота облома и B — его вынос. При применении последней формулы получаем облом типа гуська. Если же написать:

$$x = \frac{1}{2} B \left[\sin \frac{\pi}{2} \left(\frac{y}{H} - 1 \right) + 1 \right], \quad (10)$$

то мы получим каблучок. Соответственные кривые изображены на рис. 13. Следует заметить, что рассмотренные здесь синусоидальные зависимости не являются единственно возможными в данном случае. Можно с той же степенью гармоничности применить здесь любую непрерывную функциональную зависимость, от которой вторая производная меняла бы в данном интервале свой знак. Если при этом вторая производная монотонно убывает, мы получим гусек, если же монотонно возрастает — каблучок. Профили многих греческих и римских обломов весьма близко соответствуют формулам (9) и (10)¹.

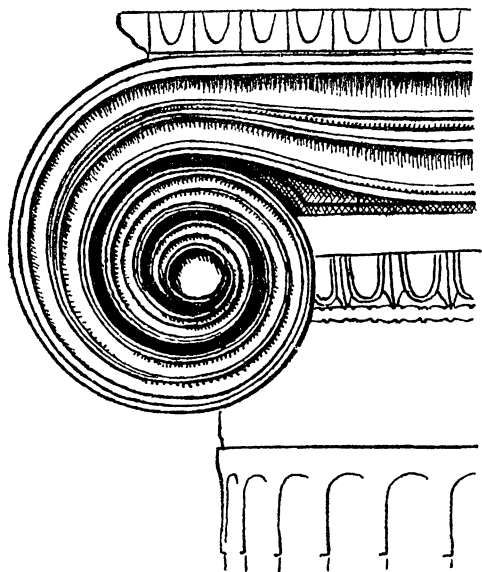


Рис. 14. Схема капители Эрехтейона

Можно было бы привести также ряд примеров, где имеют место иные кривые, например эхины дорийских капителей; везде, однако, весьма точно соблюдается правило плавного построения кривой.

Нарушение вышеизложенных положений о гармоническом построении кривых линий может рассматриваться в некоторых случаях как элемент архитектурной выразительности. Примером может служить ряд ионийских капителей, соответствующих схеме², изображенной на рис. 14.

Здесь плавно разворачивающиеся волюты переходят в горизонтальную часть, несущую абак и вместе с ней нагрузку от антаблемента. Законы гармо-

нического построения кривых требовали бы вообще некоторого выгиба кверху линии, соединяющей волюты. Однако этого выгиба нет. Отсутствие этого ожидаемого выгиба как бы свидетельствует о какой-то причине, его уничтожающей. В данном случае такой причиной служит нагрузка от абак. Ее наличие весьма тонко и вместе с тем выразительно подчеркивается описанной деформацией. Если же подобной деформации нет и строже соблюдены правила гармонии

¹ К. И. Рончевский, *Художественные мотивы в древнем римском зодчестве*. Рига 1905.

² Схема капители Эрехтейона по К. И. Рончевскому, *Образцы древнегреческих ордоров*. М. 1917.

кривых линий, то динамическая выразительность капители совершенно исчезает и волюты воспринимаются не как несущий, нагруженный элемент, но как несомое декоративное дополнение. Примером этому может служить схема капители храма Аполлона в Фигалии (рис. 15) ¹.

6. ЗАКОН ВЕБЕРА-ФЕХНЕРА В ПРИЛОЖЕНИИ К ВОСПРИЯТИЮ ДЛИН

В предыдущих разделах были рассмотрены явления, связанные с направлением движения глаза при восприятии архитектурных форм. Теперь следует перейти к явлениям, обуславливаемым величиною пути, пройдемного при движении глаза, или, правильнее, размерами угла вращения глаза. Так как обычно длины воспринимаемых глазом отрезков существенно меньше расстояний от глаза до этих отрезков, то можно считать с некоторым приближением, что названные углы пропорциональны этим отрезкам, если последние находятся на постоянном расстоянии от глаза. Таким образом, во всех последующих рассуждениях, где будет играть роль не абсолютная, но относительная величина, и не требуется значительная точность, можно величины углов заменять величинами соответствующих, воспринимаемых при данном вращении глаза, отрезков.

Очевидно, что восприятие того или иного отрезка требует известного усилия от зрительного аппарата. Это усилие обуславливается движением глаза, воспринимающего данный отрезок. Вместе с тем, затрачиваемое таким путем усилие можно рассматривать также, как результат воздействия воспринимаемого объекта на наш глаз. Таким образом, можно считать, что указанное воздействие в известной степени определяется величиною отрезка и соответствующей работой вращения глаза. При прочих равных условиях можно принять, что эта работа пропорциональна углу поворота и, следовательно,

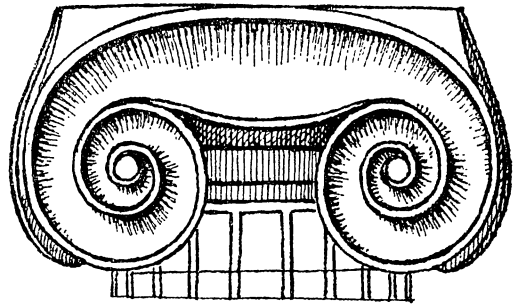


Рис. 15. Схема капители храма Аполлона в Фигалии

¹ К. И. Рончевский, там же.

пропорциональна длине отрезка. Нужно, конечно, помнить, что этот вывод лишь приближенный, применимый только к достаточно малым отрезкам.

Итак, полагая, что раздражение глаза пропорционально длине воспринимаемого отрезка, можно поставить вопрос об ощущении, при этом получаемом. Для этой цели можно прибегнуть к закону Вебера-Фехнера¹. Согласно этому закону, ощущение пропорционально логарифму раздражения или, другими словами, при возрастании раздражения в геометрической прогрессии ощущение растет в прогрессии арифметической. Этот закон нельзя считать вполне точным. Он справедлив лишь в известных интервалах, и чем эти интервалы меньше, тем он точнее оправдывается в действительности.

Поэтому, применяя закон Вебера-Фехнера, мы можем в данном случае говорить только о соизмеримых по порядку величины отрезках. Во всяком случае вполне очевидно, что величина отношения двух отрезков воспринимается глазом все менее и менее точно при возрастании одного по отношению к другому. Если это отношение измеряется десятками, то закон Вебера-Фехнера следует считать уже неприменимым, ибо глаз утрачивает при подобных условиях способность к количественному сопоставлению отрезков.

Отметив все эти ограничения, все же следует признать, что закон Вебера-Фехнера приложим к зрению и, в частности, к восприятию длин отрезков, хотя бы уже потому, что вытекающие отсюда выводы находят хорошее подтверждение в значительном числе систем архитектурных пропорций, которые будут рассмотрены в дальнейшем.

Основным выводом из закона Вебера-Фехнера, необходимым в нашем случае, является то, что, имея ряд отрезков, удовлетворяющих геометрической прогрессии, т. е. измеряемых рядом величин:

$$A, Aa, Aa^2, Aa^3, \dots Aa^n,$$

мы получим (в известных пределах) зрительные ощущения протяженности, измеряемые рядом величин:

$$B, B + b, B + 2b, B + 3b, \dots B + nb.$$

Это означает, что если при переходе от первого отрезка ко второму зрительное ощущение возросло на некоторую величину b , то подобное же возрастание

¹ E. N. W e b e r, Annotationes anatomicae et physiologicae. Leipzig 1851. F e c h n e r, Elemente der Psychophysik. Leipzig 1889.

сохранится и при переходе от каждого предыдущего к каждому последующему отрезку. Таким путем устанавливается одинаковый характер перехода от одного отрезка к другому, что значительно облегчает зрительное восприятие, делает его более непосредственным и более спокойным. Здесь следует упомянуть, что наличие простых количественных соотношений между ощущениями является доказанной во многих областях восприятий предпосылкой (необходимой, но недостаточной) эстетического впечатления. Подобные условия гармонии проанализированы для музыки в классических исследованиях Гельмгольца¹. Аналогичные выводы делаются в отношении восприятия цветов Вильгельмом Оствальдом². Правда, выводы Оствальда менее очевидны и менее широко известны, чем законы музыкальной гармонии, намеченные еще в античную эпоху, но это следует объяснить, видимо, значительной трудностью количественных измерений в области цвета. Во всяком случае вышеизложенные основы гармонического сочетания отрезков не представляют собою чего-либо обособленного и не связанного с другими областями физиологии восприятий.

Из сказанного вытекает, что чем больше равных отношений можно образовать из данной совокупности отрезков, тем гармоничнее будет восприятие этой совокупности, тем легче оно будет осуществляться.

Таким образом, «гармоническим сочетанием» отрезков мы называем такое, которое воспринимается с минимальной затратой усилия со стороны зрительного аппарата и возможно более простым и закономерным путем. Это указывает на определенный принцип, организующий наше восприятие, но, конечно, ни в какой мере не определяющий еще эстетической ценности и идеологического смысла архитектурного образа.

Прежде чем перейти к анализу более сложных случаев, можно указать здесь на простейшие гармонические комбинации отрезков. При этом под понятием «отрезок» мы не будем обязательно понимать часть какой-либо линии. Указанный термин мы будем применять в более общем смысле, как линейное измерение (например высота) какого-либо архитектурного сооружения или его детали.

Наиболее простым сочетанием отрезков, удовлетворяющим требованиям гармоничности, будет такое, при котором каждый последующий больше или меньше предыдущего в некоторое число раз. Если мы имеем последователь-

¹ Н. H e l m h o l t z, Die Lehre von den Tonempfindungen. 1862.

² W. O s t w a l d, Farbenlehre. 1918—1921.

ный ряд отрезков, то он должен удовлетворять в этом случае следующему условию:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{h_2}{h_3} = \frac{h_3}{h_4} = \frac{h_4}{h_5} = \dots = \frac{h_{n-1}}{h_n}, \quad (11)$$

причем все отрезки имеют одинаковое направление.

Формула (11) осуществляется весьма часто. В качестве примера приведем рисунок башни, приложенный к русскому переводу трактата Альберти об архитектуре ¹. Эта башня воспроизведена здесь на рис. 16. В качестве другого

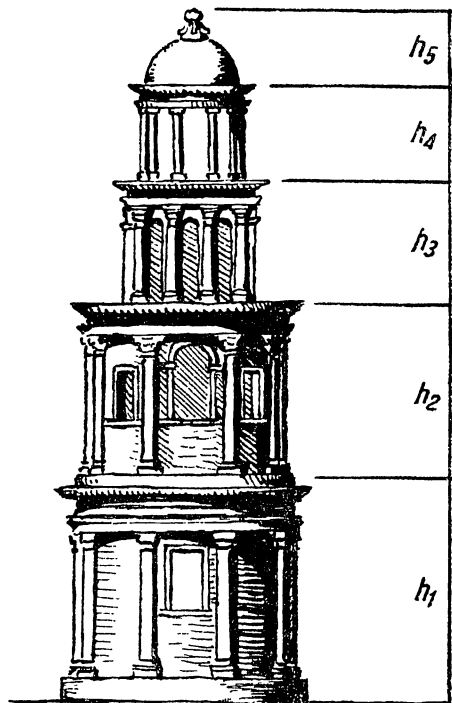


Рис. 16. Схема башни с пропорционально уменьшающимися ярусами (с гравюры из издания трактата Альберти 1550 г.)

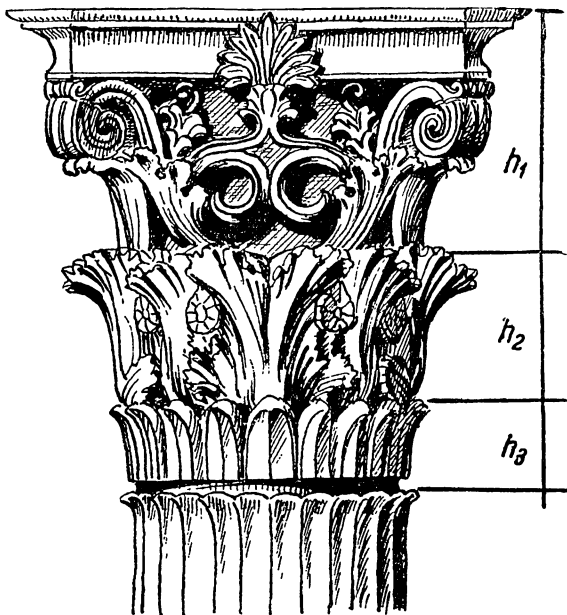


Рис. 17. Схема пропорций капители памятника Лисикрата

примера можно взять капитель памятника Лисикрата в Афинах ², изображенную на рис. 17. Во всех подобных случаях мы имеем систему последовательно

¹ Изд. Академии архитектуры, 1935 г., стр. 277; гравюра воспроизведена из издания Бартоли 1550 г.

² По К. Р о н ч е в с к о м у, Образцы древнегреческих ордеров. М. 1917.

возрастающих или убывающих отрезков. Такие гармонические схемы «читаются» очень легко, но не обладают той глубиной и многогранностью, которая свойственна более сложным системам, к изучению которых мы и переходим.

7. ЗАКОН ЗОЛОТОГО СЕЧЕНИЯ И СВЯЗАННЫЕ С НИМ СИСТЕМЫ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТИ

Как уже указывалось выше, степень организованности и закономерности впечатления от некоторой совокупности отрезков тем больше, чем больше равных отношений можно образовать из данного числа отрезков. В формуле (11) каждый отрезок фигурирует дважды: один раз в качестве числителя и другой в качестве знаменателя. Исключение составляют первый и последний (самый большой и самый малый) отрезки, которые встречаются лишь один раз.

Вообще можно увеличить число соотношений по сравнению с формулой (11). Классическим примером такого увеличения является деление отрезка прямой по правилу «золотого сечения». Если принять длину делимого отрезка за единицу и обозначить одну из его частей, образованных золотым сечением, x , то другая часть будет равна $1-x$. Таким образом, мы имеем всего три отрезка:

- 1) $1 = M_1^0$,
- 2) $x = M_1^1$,
- 3) $1 - x = M_1^2$.

Назовем эту совокупность триадой золотого сечения, если удовлетворяется условие:

$$\frac{1}{x} = \frac{x}{1-x}. \quad (12)$$

Эта пропорция может рассматриваться как уравнение относительно x . Разрешая это уравнение и избирая положительный его корень, получаем:

$$x = 0,618 = M_1^1$$

и

$$1 - x = 0,382 = M_1^2.$$

Триада золотого сечения дает максимальное число равных отношений в случае отрезка, делимого на две части. Таким образом, здесь мы имеем пример решения простейшей задачи гармонического сочетания двух отрезков, отвечающего максимальной возможной гармонии.

Отсюда проистекает та чрезвычайная популярность, которой пользуется золотое сечение у всех исследователей, занимающихся пропорцией архитектурных и природных форм, начиная с античных авторов и кончая проф. Г. Д. Гриммом¹.

Ввиду того что вопрос о золотом сечении в его простейших формах освещался многократно и не представляет собой чего-либо особенно сложного, мы на

этом останавливаться не будем и перейдем непосредственно к более сложным случаям.

Здесь в первую очередь можно обратить внимание на совокупность сколь угодно большого числа отрезков, подчиняющуюся следующим формулам:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{h_2}{h_3} = \frac{h_3}{h_4} = \dots = \frac{h_{n-1}}{h_n} = \frac{h_1 + h_2}{h_1} = \frac{h_2 + h_3}{h_2} = \dots = \frac{h_{n-1} + h_n}{h_{n-1}}. \quad (13)$$

Здесь число пропорций уже в два раза больше, чем в формуле (11). Однако, вместе с тем, возможные значения отдельных отрезков ограничены формулами:

$$h_n = h_1 \cdot 0,618^{n-1} \quad (14)$$

$$\text{или:} \quad h_n = h_1 \cdot \frac{1}{0,618^{n-1}}. \quad (15)$$

Формулы (14) и (15) являются непосредственным следствием требования, чтобы каждые два смежных отрезка удовлетворяли золотому сечению. Для иллюстрации сказанного на рис. 18 показана система цилиндров, высоты которых удовлетворяют формуле (14). При этом, чтобы связать закономерно и диаметры цилиндров, принято условие равенства их объемов. В результате этого диаметры пропорциональны квадратным корням из обратных значений высот. Система пропорций, выражаемая формулами (14) и (15),

¹ Г. Д. Г р и м м, Пропорциональность в архитектуре. Л. 1935.

является наиболее «совершенной» с той точки зрения, которая была развита выше; именно эта система дает максимальное число равных отношений между данным числом отрезков. Таким образом, подобная система воспринимается наиболее легко и спокойно. (Впрочем, это, конечно, не определяет ни в какой мере эстетической выразительности, определяемой, помимо математических и физиологических факторов, и другими, еще более важными обстоятельствами.)

Система пропорций, устанавливаемая по формулам (14) и (15), может быть названа «цепью триад золотого сечения» постольку, поскольку ряд отрезков представляет собою парные звенья, причем каждый отрезок входит в предыдущее и последующее звено. Удобнее всего выразить результаты формул (14) и (15), допустив, что:

$$\sum h = 1,0; \quad (16)$$

другими словами, что общая длина, делимая описанным путем, равна единице. При таком условии мы получаем следующую таблицу (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Относительные величины отрезков в цепях триад золотого сечения

Число отрезков, на которые разделен данный отрезок	О т н о с и т е л ь н ы е в е л и ч и н ы о т р е з к о в						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
2	0,618	0,382	—	—	—	—	—
3	0,500	0,309	0,191	—	—	—	—
4	0,447	0,276	0,171	0,106	—	—	—
5	0,420	0,260	0,160	0,099	0,031	—	—
6	0,405	0,250	0,154	0,096	0,059	0,037	—
7	0,395	0,244	0,151	0,094	0,058	0,036	0,022

Табл. 1 иллюстрирует рис. 19. Применение описанной схемы пропорциональности в некоторых конкретных случаях будет рассмотрено дальше, в совокупности с другими соображениями. Впрочем, необходимо отметить, что наша задача заключается в том, чтобы наметить лишь некоторые основные закономерности. Подробное же приложение этих закономерностей к различным конкретным случаям может быть в полной мере осуществлено только в соответствующей специальной работе.

Описанная здесь цепь триад золотого сечения, несмотря на ее формальную максимально выраженную гармоничность, обладает некоторыми особенностями,

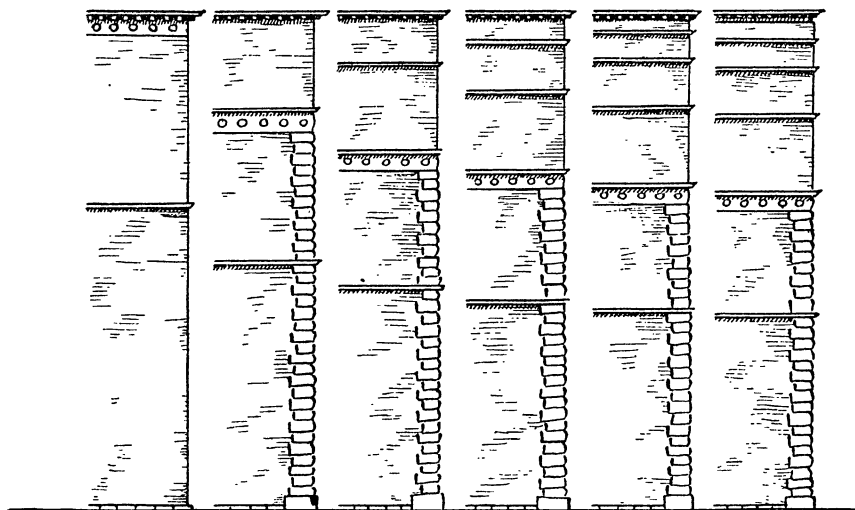


Рис. 19. Схемы пропорционального деления по правилу цепи триад золотого сечения

понижающими легкость ее непосредственного восприятия. Во всех случаях, когда число отрезков превосходит два, максимальным отрезком, входящим в схему пропорциональных отношений, является сумма двух первых по величине отрезков. Таким образом, не общая длина, разделенная на то или иное число частей, является, так сказать, исходной базой для восприятия ее частей (как это имеет место при обычном золотом сечении отрезка на две части), но только некоторая часть этой длины. Это обстоятельство должно вообще учитываться при практическом приложении рассмотренных закономерностей. Необходимо сумму двух первых по величине отрезков как-то выделять в общей

совокупности, чтобы взгляд впервые был остановлен действительно на этих отрезках. Каким путем подобное выделение может быть осуществлено практически,— вообще довольно неопределенная задача, имеющая, повидимому, много различных решений. Один из возможных здесь приемов применен на рис. 19. Впрочем, этот прием ни в какой мере сам по себе не претендует на эстетическую ценность.

8. ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПА ЗОЛОТОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ДЕЛЕНИИ ОТРЕЗКА НА ТРИ И БОЛЕЕ ЧАСТЕЙ

Как было показано выше, принцип золотого сечения можно применить при делении отрезка на много частей, связывая каждые два отрезка триадой золотого сечения и создавая цепь таких триад. Однако принцип золотого сечения можно применить и иным путем, так, чтобы в систему пропорциональных соотношений входила и вся длина делимого отрезка. В общем виде это условие выразится в такой системе отношений:

$$\frac{\Sigma h}{h_1} = \frac{h_1}{h_2} = \frac{h_2}{h_3} = \dots = \frac{h_{n-1}}{h_n}. \quad (17)$$

Такая система отношений, безусловно, беднее цепи триад с гармонической точки зрения. Действительно, если число отрезков равно h , то в случае цепи триад мы имеем:

$$N = 2(n - 1) \quad (18)$$

равных отношений. В случае же применения формулы (17) мы получаем только:

$$N_1 = (n - 1) + 1 = n \quad (19)$$

равных отношений. Беря разность:

$$N - N_1 = n - 2, \quad (20)$$

мы видим, что чем больше число отрезков, полученных при делении, тем больше и разница в числе равных отношений, тем, следовательно, беднее является система пропорций, полученных по формуле (17), по сравнению с цепью триад.

Однако формула (17) имеет по сравнению с цепью триад одно несравненное преимущество: в формуле (17) фигурирует общая длина, входящая, таким образом, в систему пропорциональности. Совершенно очевидно, что общий размер того или иного объекта вообще воспринимается легче и раньше, чем размеры деталей. Таким образом, в рассматриваемом случае первый член

в ряду пропорциональных отношений и будет, естественно, восприниматься раньше других. В этом состоит безусловное преимущество таких систем пропорциональных отношений, куда входит размер целого. Если цепь триад дает более гармоническое впечатление, то применение формулы (17) должно приводить к впечатлению более целостному.

Формула (17), будучи применена к отдельным конкретным случаям, требует дальнейшей расшифровки. Рассмотрим эти случаи, переходя от более простых к более сложным.

Если отрезок делится на три части, то можно принять такие обозначения:

- 1) $\Sigma h = 1 = M_2^0$,
- 2) $h_1 = x_1 = M_2^1$,
- 3) $h_2 = x_2 = M_2^2$,
- 4) $h_3 = 1 - x_1 - x_2 = M_2^3$.

Пользуясь формулой (17), можно составить следующие уравнения:

$$\frac{1}{x_1} = \frac{x_1}{x_2} \quad (21)$$

и

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{x_2}{1 - x_1 - x_2}. \quad (22)$$

Исключая одно из неизвестных, например x_2 , получаем уравнение:

$$x_1 - x_1^2 - x_1^3 = x_1^4. \quad (23)$$

Принимая во внимание, что в данном случае важен лишь положительный корень, преобразуем уравнение следующим образом:

$$1 - x_1 - x_1^2 - x_1^3 = 0. \quad (24)$$

Решая так или иначе это уравнение, получаем:

$$x_1 = 0,544 = M_2^1.$$

Исходя из этой величины, легко найти и остальные неизвестные:

$$\begin{aligned} x_2 &= x_1^2 = 0,295 = M_2^2, \\ 1 - x_1 - x_2 &= x_1^3 = 0,161 = M_2^3. \end{aligned}$$

Полученное решение легко проверить, именно:

$$M_2^1 + M_2^2 + M_2^3 + M_2^0 = 1; \quad (25)$$

действительно:

$$0,544 + 0,295 + 0,161 = 1.$$

Полученную описанным путем совокупность четырех чисел можно, по аналогии с триадой, назвать тетрадой золотого сечения.

Переходя к делению отрезка на четыре части, мы можем написать:

$$1) \Sigma h = 1 = M_3^0,$$

$$2) h_1 = x_1 = M_3^1,$$

$$4) h_2 = x_2 = M_3^2,$$

$$4) h_3 = x_3 = M_3^3,$$

$$5) h_4 = 1 - x_1 - x_2 - x_3 = M_3^4.$$

Исходя из формулы (17), можно составить в этом случае такие три уравнения:

$$\frac{1}{x_1} = \frac{x_1}{x_2}; \quad (26)$$

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{x_2}{x_3}; \quad (27)$$

$$\frac{x_2}{x_3} = \frac{x_3}{1 - x_1 - x_2 - x_3}. \quad (28)$$

Путем преобразований можно из приведенных уравнений получить еще такое:

$$1 - x_1 - x_1^2 - x_1^3 - x_1^4 = 0. \quad (29)$$

Решая это уравнение графически или путем последовательного подбора, получаем:

$$x_1 = 0,519 = M_3^1.$$

Далее находим:

$$x_2 = 0,269 = M_3^2,$$

$$x_3 = 0,140 = M_3^3$$

и

$$1 - x_1 - x_2 - x_3 = 0,072 = M_3^4.$$

Здесь оправдывается также соотношение:

$$0,519 + 0,269 + 0,140 + 0,072 = 1;$$

Эту группу из пяти чисел назовем пентадой золотого сечения.

Наконец, можно описанным путем определить величины частей при делении отрезка на пять частей. В этом случае:

- 1) $\Sigma h = 1 = M_4^0$,
- 2) $h_1 = x_1 = M_4^1$,
- 3) $h_2 = x_2 = M_4^2$,
- 4) $h_3 = x_3 = M_4^3$,
- 5) $h_4 = x_4 = M_4^4$,
- 6) $h_5 = 1 - x_1 - x_2 - x_3 - x_4 = M_4^5$.

Формула (17) дает возможность написать следующие уравнения:

$$\frac{1}{x_1} = \frac{x_1}{x_2}; \quad (30)$$

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{x_2}{x_3}; \quad (31)$$

$$\frac{x_2}{x_3} = \frac{x_3}{x_4}; \quad (32)$$

$$\frac{x_3}{x_4} = \frac{x_4}{1 - x_1 - x_2 - x_3 - x_4}. \quad (33)$$

Из этих уравнений получается следующее:

$$1 - x_1 - x_1^2 - x_1^3 - x_1^4 - x_1^5 = 0. \quad (34)$$

Решая это уравнение графически или путем подбора, находим:

$$x_1 = 0,509 = M_4^1.$$

Далее получаем:

$$\begin{aligned} x_2 &= 0,259 = M_4^2, \\ x_3 &= 0,132 = M_4^3, \\ x_4 &= 0,067 = M_4^4, \\ 1 - x_1 - x_2 - x_3 - x_4 &= 0,034 = M_4^5. \end{aligned}$$

Здесь, как и в предыдущих случаях:

$$0,509 + 0,259 + 0,132 + 0,067 + 0,034 = 1.$$

Эту группу из шести чисел можно назвать гексадой золотого сечения.

Описанным способом можно было бы построить деление отрезка на любое число отрезков. Не останавливаясь здесь на этом подробнее, мы приведем только предельный случай, когда число частей достигает бесконечности.

В этом случае можно написать:

$$\begin{aligned} M_{\infty}^0 &= 1, \\ M_{\infty}^1 &= 0,500, \\ M_{\infty}^2 &= 0,250, \\ M_{\infty}^3 &= 0,125, \\ M_{\infty}^4 &= 0,063, \\ M_{\infty}^5 &= 0,031, \\ &\cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \\ M_{\infty}^n &= 0,5^n, \\ M_{\infty} &= 0. \end{aligned}$$

Величины первых шести отрезков в этом случае и в случае гексады золотого сечения довольно близки друг другу. Поэтому гексаду можно считать практическим пределом приложения описанной системы деления отрезка.

В заключение этого раздела сопоставим полученные нами величины. Это сделано в табл. 2

Т а б л и ц а 2

Величины частей, получаемые при делении отрезка на три и более частей по принципу золотого сечения

Число всех частей	Относительные величины отрезков					Название групп и величин
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	
2	0,618	0,382	—	—	—	Триада
3	0,544	0,295	0,161	—	—	Тетрада
4	0,519	0,269	0,140	0,072	—	Пентада
5	0,509	0,259	0,132	0,067	0,034	Гексада
∞	0,500	0,250	0,125	0,063	0,031	—

Приведенные в табл. 2 величины иллюстрируются схемами на рис. 20. Здесь, в противоположность рис. 19, нет необходимости выделять первоначальный, исходный отрезок, так как он устанавливается непосредственной высотой самого сооружения. Сопоставление рис. 19 и 20 наглядно показывает различие двух основных систем пропорциональности, вытекающих из принципа золотого сечения, развиваемого в соответствии с физиологическими законами зрения. В какой мере каждая из этих систем должна применяться

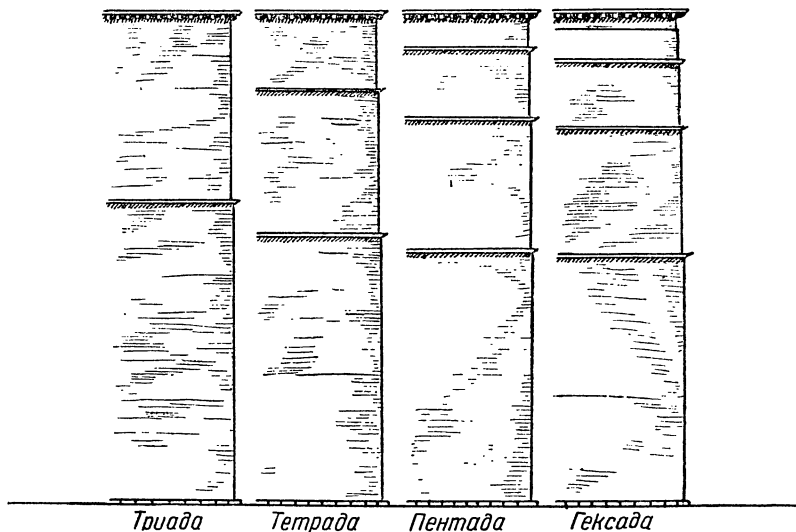


Рис. 20. Схемы пропорционального деления в соответствии с триадой, тетрадой, пентадой и гексадой золотого сечения

в том или ином конкретном случае, здесь определить, конечно, нельзя. Это может стать темой большого специального исследования, учитывающего всю совокупность факторов, определяющих архитектурные формы.

9. УЧЕТ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

Все изложенное выше относилось к длинам отрезков, воспринимаемым глазом, а не к непосредственным движениям глаза. Это, как уже указывалось, может привести к некоторым расхождениям между теорией и экспериментом. Вообще, говорить о пропорциях отрезков с точки зрения их восприятия глазом можно постольку, поскольку отрезки находятся далеко от глаза, и их

длины можно считать пропорциональными углами, под которыми они видны. Если же расстояние до отрезков невелико и сказываются соответствующие перспективные сокращения, то для исправления этих перспективных сокращений следует вместо отрезков брать при всех рассуждениях соответствующие углы. В некоторых случаях может получаться при этом совсем иная система пропорциональности. Особенно заметно это в случаях, когда архитектурный объект расположен на узкой улице и рассчитан только на восприятие вблизи. В качестве примера можно привести фасад палаццо Толомеи в Сиене, типичный для дворцов начала итальянского Возрождения, строившихся нередко в тесных городах средневековой планировки. Реконструкция фасада этого палаццо приведена на рис. 21, заимствованном из труда Бунина и Кругловой¹. На том же рисунке дана система углов зрения, подчиняющаяся гексаде золотого сечения и довольно точно соответствующая основным членениям этого здания. Если же мы стали бы искать гармонических соотношений между высотами отдельных этажей и иных деталей, то схема пропорциональности оказалась бы гораздо менее совершенной и точной.

Пользуясь углами для построения схем пропорциональности, необходимо иметь в виду, что при этом не учитываются также некоторые существенные факторы. Одним из них служит то обстоятельство, что глаз привык располагать свою зрительную ось горизонтально или сравнительно близко к этому направлению. Направление же этой оси круто вверх является необычным и требует поэтому некоторого дополнительного усилия. Вследствие этого все углы значительных размеров в вертикальной плоскости, а также углы с круто наклоненными к горизонту сторонами, воспринимаются несколько большими, чем углы, стороны которых близки к горизонталям. Этот вопрос довольно сложен и зависит не только от физиологических законов зрения, но и от психологи-

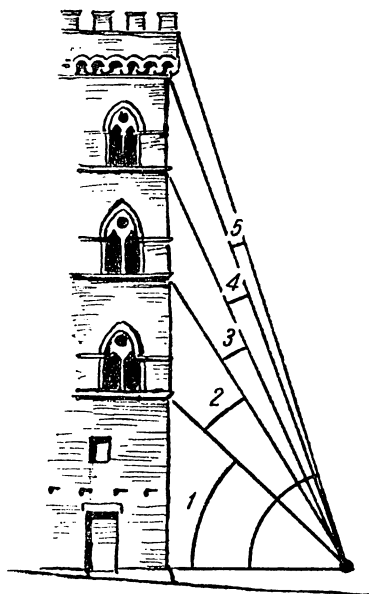


Рис. 21. Схема углов зрения, подчиняющаяся гексаде золотого сечения (палаццо Толомеи, Сиена)

¹ А. В. Б у н и н и М. Г. К р у г л о в а, Архитектура городских ансамблей. Ренессанс. М. 1935, стр. 101, рис. 116.

ческих обстоятельств. Поэтому мы здесь его подробнее анализировать не будем. Тем не менее, не подлежит сомнению, что детальное изучение этого фактора может оказаться весьма полезным для теории архитектуры. Несмотря, однако, на невыясненность этой стороны рассматриваемой задачи, самое применение углов зрения при анализе пропорциональности может быть удобным и плодотворным. Именно такой метод будет применен при рассмотрении приводимых далее более сложных примеров.

10. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ И ВЕРТИКАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В СХЕМАХ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТИ

Все изложенные ранее соображения сами по себе справедливы для любых направлений, по которым откладываются сравниваемые отрезки. Важно лишь, чтобы направления у всех отрезков были одинаковыми, ибо различные направления воспринимаются вообще качественно различно. Поэтому ни в какой мере нельзя в гармонических схемах описанного типа сопоставлять несколько различных направлений, например вертикальное и горизонтальное. Неравноценность этих двух направлений отмечалась неоднократно. Так, например Жолтовский считает квадрат (на вертикальной плоскости) фигурой «мертвой». «Живым» же квадратом является, по его мнению, прямоугольник с горизонтальной стороной, равной 0,528 некоторой единицы, и вертикальной стороной, равной 0,472 той же единицы ¹. Другими словами, отношение вертикальной стороны к горизонтальной составляет здесь 0,894.

Опыты, сделанные автором со многими лицами, показывают, что при построении на вертикальной поверхности квадратов без измерительных приспособлений и при наблюдении с такого расстояния, которое не превышает суммы двух сторон, подавляющее большинство испытуемых строит вертикальную сторону меньше горизонтальной ². При этом отношение вертикальной стороны к горизонтальной получается в среднем весьма близким к 0,9, что практически совпадает с числом, приводимым Жолтовским, хотя последний получает его из формальных преобразований триады золотого сечения, именно:

$$\frac{2M_1^3}{1 - 2M_3^1} = 0,894.$$

¹ По Н. Б р у н о в у, Пропорции античной и средневековой архитектуры, М. 1935, стр. 6 и 7.

² См. также: T s c h e r m a k, Ergebnisse der Physiologie. 4, 517, 1905.

Это построение само по себе не связывается с рассмотренными выше закономерностями физиологии зрения, но оно, как указано, прекрасно подтверждается непосредственным экспериментом.

Кроме этого, следует иметь в виду то, что два человеческих глаза имеют общую вертикальную ось симметрии. В результате этого вертикальная ось является также весьма важным условием симметрии воспринимаемых объектов, облегчающим и уравнивающим зрительное впечатление. Поэтому всякая система пропорциональности в горизонтальном направлении должна считаться с требованиями симметрии. Иногда требования эти проявляются столь сильно, что более сложные системы пропорциональности не могут быть вообще развиты в горизонтальном направлении. Так, например античные храмы и, в частности, их портики представляют собою весьма простые схемы расположения колонн (иногда с коррекцией кажущегося увеличения крайних интервалов), в то время как в вертикальных направлениях чередованием горизонтальных членений достигается довольно сложная и богатая схема пропорциональности.

Кроме того, наличие двух глаз на горизонтальной оси создает, как известно, стереоскопический эффект глубины при восприятии пространственных объектов. Однако для получения пространственного впечатления необходимо иметь достаточное количество вертикальных членений одинакового типа, которые воспринимались бы каждым глазом отлично от другого. Именно подобный эффект глубины наиболее совершенно разрешается при наличии групп каннелированных или граненых колонн, так эффективно применявшихся в греко-римских портиках. Горизонтальные же членения создают как раз обратное впечатление. Они ограничивают пространство (карниз) и создают впечатление твердой, незыблемой плоскости. Это хорошо видно хотя бы на примере горизонтальных членений итальянских дворцов раннего Возрождения.

11. О ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ВОСПРИЯТИЯ ОТРЕЗКОВ ВО ВРЕМЕНИ

Обычно архитектурный комплекс воспринимается в определенной последовательности только в тех случаях, когда сам наблюдатель меняет последовательно свое место, идя по улице, лестнице или анфиладе помещений (например во дворцах Петергофа и Детского села). Несомненно, законы пропорций имеют и в этом случае существенное значение. Однако этот вопрос очень сложен, и его конкретное решение требует некоторых дополнительных изысканий. Поэтому в настоящее время от каких-либо окончательных формулировок здесь приходится отказаться. Таким образом, этого вида последовательности при

восприятию архитектурных объектов мы касаться не будем. Остановимся только на особом случае последовательности восприятия, когда наблюдатель не перемещается, а только последовательно воспринимает различные части созерцаемого им комплекса. В подобном случае, конечно, можно иметь весьма различную последовательность. Можно, например, воспринимать сначала детали в том или ином порядке, а потом общее, или наоборот. Чтобы среди такого

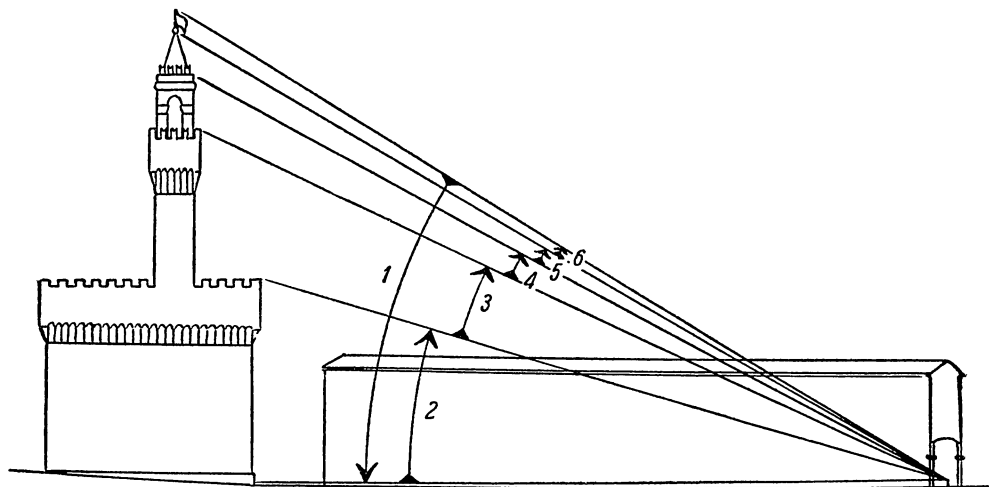


Рис. 22. Схема углов зрения при восприятии палаццо Веккио со стороны улицы Уффиций (Флоренция)

возможного разнообразия выделить последовательность, соответствующую определенной закономерности, необходимо выделить некоторые исходные положения.

Простейшее из этих положений состоит в том, что глаз воспринимает последовательно отрезки (или соответствующие углы), непосредственно при-
мыкающие друг к другу и следующие друг за другом. Это является непосредственным следствием не прерывности движения глаза. Второе, не менее важное, положение заключается в том, что глаз воспринимает сначала основное, а после детали, многократно «пробегаая» по одной и той же части поля зрения. Обычно оба эти принципа встречаются совместно. Примером этому может служить вид на палаццо Веккио через арку улицы Уффиций со стороны набережной Арно во Флоренции. Здесь взгляд сначала пробегает от вершины башни до цоколя палаццо Веккио и потом поднимается последо-

вательно уменьшающимися ступенями вверх, как это видно из рис. 22. При этом последовательность углов зрения образует гексаду золотого сечения. После этого глаз может воспринять в несколько менее четкой последовательности два равных отношения углов зрения, именно отношение верхней части башни (без крыши) к высоте всего сооружения и приблизительно равное ему отношение венчающей части основного массива здания ко всей высоте этого

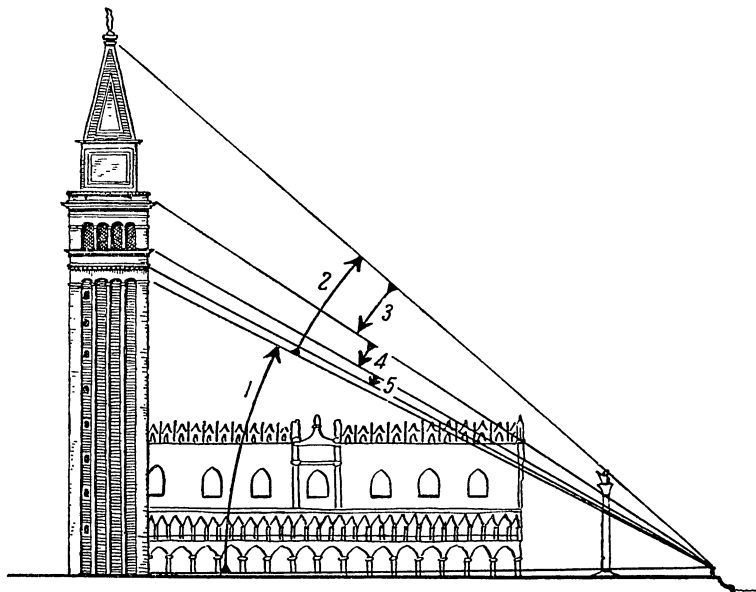


Рис. 23. Схема углов зрения при восприятии башни св. Марка со стороны набережной Пьяцетты (Венеция)

здания. В качестве следующего примера можно взять вид на башню св. Марка в Венеции со стороны набережной Пьяцетты (рис. 23). Здесь взгляд, поднимаясь вдоль башни, отмечает два отрезка пентады золотого сечения. Потом спуск вниз дает следующие три отрезка пентады. После этого взгляд останавливается около наиболее богато обработанной и подробно детализированной части всей колокольни.

Еще сложнее получается схема пропорциональности при взгляде на собор и колокольню св. Марка из-под аркады палаццо Реале (рис. 24). Здесь взгляд воспринимает последовательно:

- 1) высоту всей башни (сверху вниз);
- 2) высоту нижней призмы башни (снизу вверх);

- 3) высоту венчающей части башни (снизу вверх);
- 4) вновь высоту всей башни (сверху вниз);
- 5) высоту собора (снизу вверх);
- 6) разницу между кажущейся высотой нижней части башни и высотой собора (снизу вверх);
- 7) высоту венчающей части башни (без шпиля), равную предыдущей (повторение при переходе от собора к башне);
- 8) высоту шпиля башни;
- 9) высоту параллелепипеда под шпилем (сверху вниз);
- 10) высоту антаблемента над галлереей (сверху вниз); после этого взгляд останавливается на средней, наиболее богато обработанной, части башни.

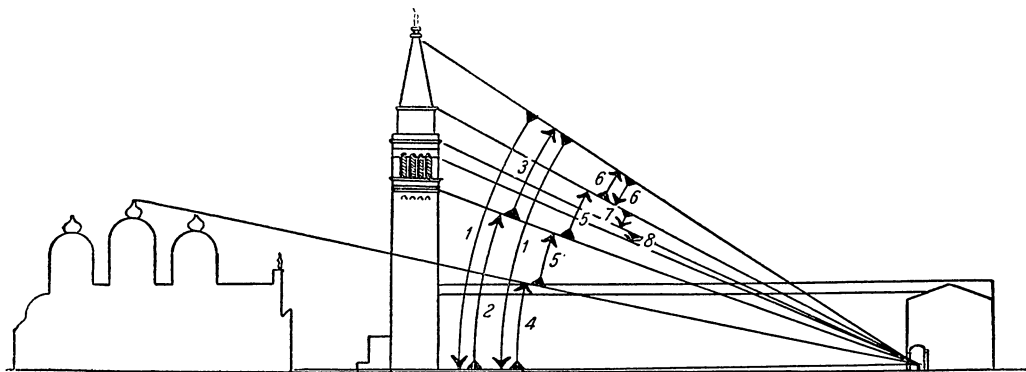


Рис. 24. Схема углов зрения при восприятии башни и собора св. Марка со стороны палаццо Реале (Венеция)

Встречающиеся здесь восемь различных по величине отрезков образуют цепь триад золотого сечения.

Все приводившиеся до сих пор примеры были заимствованы преимущественно из архитектуры эпохи Возрождения и античной эпохи. Однако нет никаких оснований считать, что другие эпохи и архитектурные школы не могут дать также материала, иллюстрирующего те же закономерности. Чтобы доказать это, возьмем для анализа некоторые китайские и японские сооружения. Здесь по крайней мере основная линия исторического развития может считаться почти независимой от Европы и Ближнего Востока. Тем более интересно показать, что, несмотря на это, мы имеем те же самые основы пропорциональности и в этом случае.

В качестве первого примера можно рассмотреть пагоду Ба-ли-гжули (1578 г.)¹, типичный пример массивного каменного сооружения. В пропорциях этой пагоды можно без труда выделить систему отрезков (рис. 25), подчиняющихся закону цепи триад золотого сечения (от h_1 до h_8), и другую, независимую, систему —

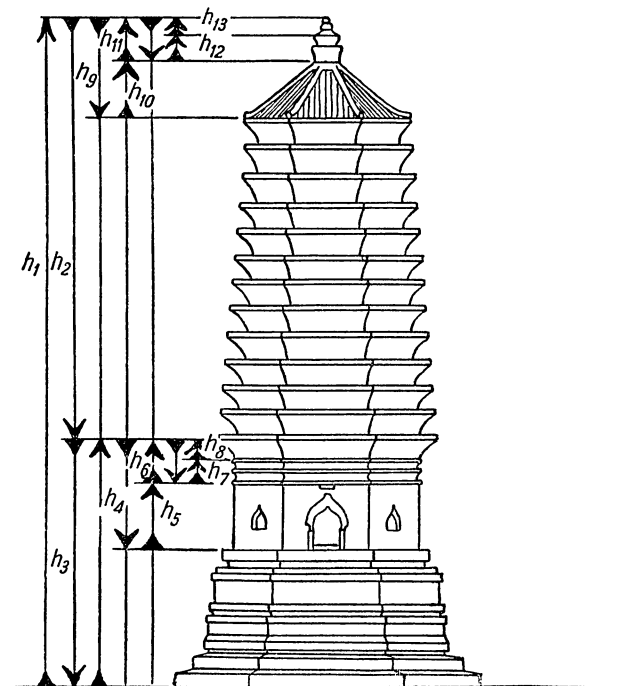


Рис. 25: Схема цепи триад золотого сечения пагоды Ба-ли-гжули (1578 г.)

(от h_9 до h_{13}), подчиняющуюся той же закономерности. Связью между одной и другой системами служит средняя часть башни, где отрезок h_8 повторен 13 раз.

То, что схема пропорциональности одного типа может быть применена при любой конструкции, можно видеть из следующего примера. Здесь мы имеем уже не каменную, а типичную деревянную конструкцию, характерным представителем которой является японский храм Такемикумари² в провинции

¹ Б. П. Денике, Китай. 1935, стр. 86.

² Б. П. Денике, Япония. 1935, стр. 65.

Кавати (1334 г.). Как видно из рис. 26, мы имеем здесь также систему отрезков от h_1 до h_6 , подчиняющихся закону цепи триад золотого сечения. Не менее широкое применение может найти золотое сечение и в индийской архитектуре.

Подобных примеров можно привести весьма много. Впрочем, следует считать, что дальнейшее накопление таких примеров, без их анализа в целом,

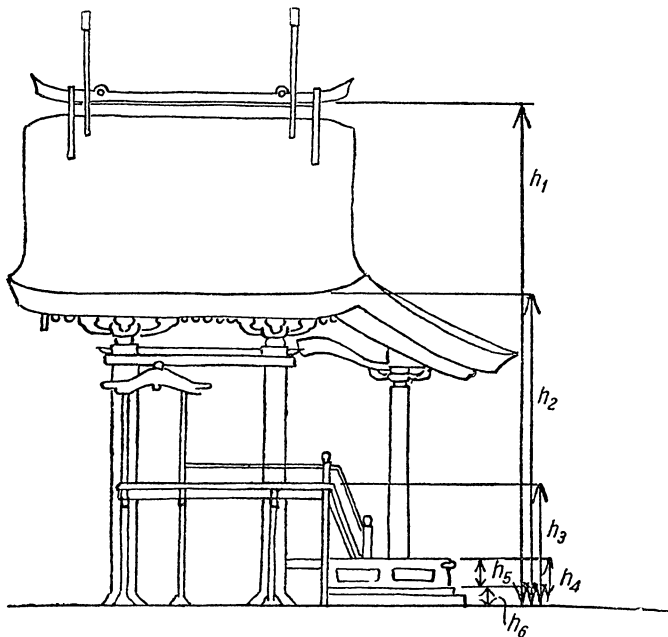


Рис. 26. Схема цепи триад золотого сечения синтоистского храма. Такемикумари (1334 г.)

здесь нецелесообразно потому, что уже приведенные здесь достаточно иллюстрируют принятые нами принципы, а полный анализ архитектурных комплексов выходит за пределы этого исследования, так как требует учета не только физиологических факторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Среди различных факторов, определяющих архитектурные композиции и формы, существенную роль играет физиологическая оптика и, в частности, движение глаза при восприятии линий и форм.

2. Исходя из основного для наших восприятий (хотя и не вполне точного) закона Вебера-Фехнера, можно вывести условия «гармонического», т. е. наиболее экономного, и «дисгармонического» сочетания отрезков (точнее, соответствующих углов зрения). Здесь понятие «гармонический» служит не критерием, а средством эстетической значимости.

3. Одними из практически важнейших случаев гармонического сочетания отрезков являются закон золотого сечения и производные от него более сложные построения.

4. Получаемые таким путем закономерности могут быть легко применены при анализе различных архитектурных объектов и должны быть включены как элемент в систему при построении теории архитектуры и при изучении влияния на архитектуру более сложных социально-экономических, исторических и технических факторов.

ПЕРЕЧЕНЬ ИЛЛЮСТРАЦИЙ

Рис. 1. Угловые размеры полей зрения правого и левого глаза	9
Рис. 2. Сечение поля зрения с выделением области резкого восприятия деталей	10
Рис. 3. Разрешающая сила глаза, в зависимости от углового расстояния от центра поля зрения	11
Рис. 4. Архитектурный мотив, воспринимаемый неподвижным глазом	12
Рис. 5. Схема движений глаза при переходе с одной прямой на другую	13
Рис. 6. Кажущийся изгиб прямой линии, вызванный системой наклонных линий	14
Рис. 7. Архитектурная обработка перекрытия, компенсирующая его кажущийся (или даже действительно существующий) прогиб	15
Рис. 8. Схема движений глаза при восприятии прямой линии, лежащей выше горизонта	16
Рис. 9. Архитектурный мотив с компенсацией кажущихся искривлений прямых линий	19
Рис. 10. а) эллипс («монолитная» фигура); б) овал из четырех дуг; в) овал из четырех разделенных дуг («четкая» фигура)	22
Рис. 11. Спираль по формуле: $R = R_0 \cdot 0,618 \frac{\varphi}{2\pi}$	24
Рис. 12. Спираль по формуле: $R = R_0 \cdot 0,618 \frac{\varphi}{\pi}$	24
Рис. 13. Синусоидальные кривые (применительно к гуську и каблучку)	25
Рис. 14. Схема капители Эрехтейона	26
Рис. 15. Схема капители храма Аполлона в Фигалии	27
Рис. 16. Схема башни с пропорционально уменьшающимися ярусами (с гравюры из издания трактата Альберти 1550 г.)	30
Рис. 17. Схема пропорций капители памятника Лизикрата	30
Рис. 18. Система цилиндров равного объема, решенных в цепи триад золотого сечения	32
Рис. 19. Схемы пропорционального деления по правилу цепи триад золотого сечения	34
Рис. 20. Схемы пропорционального деления в соответствии с триадой, тетрадой, пентадой и гексадой золотого сечения	40
Рис. 21. Схема углов зрения, подчиняющаяся гексаде золотого сечения (палаццо Толомеи, Сиена)	41

Рис. 22. Схема углов зрения при восприятии палаццо Веккио со стороны улицы Уффиций (Флоренция)	44
Рис. 23. Схема углов зрения при восприятии башни св. Марка со стороны набережной Пьяцетты (Венеция)	45
Рис. 24. Схема углов зрения при восприятии башни и собора св. Марка со стороны палаццо Реале (Венеция)	46
Рис. 25. Схема цепи триад золотого сечения пагоды Ба-ли-гжули (1578 г.) . . .	47
Рис. 26. Схема цепи триад золотого сечения синтоистского храма Такемикумари (1834 г.)	48

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Предисловие	3
1. Значение физиологии зрения для архитектуры	4
2. Роль движения глаза при зрительном восприятии	9
3. Закон инерции применительно к восприятию линий движением глаза . . .	13
4. Кажущееся искривление прямых линий и его компенсация	16
5. Теория кривых линий	21
6. Закон Вебера-Фехнера в приложении к восприятию длин	27
7. Закон золотого сечения и связанные с ним системы пропорциональности . .	31
8. Применение принципа золотого сечения при делении отрезка на три и более части	35
9. Учет перспективных сокращений	40
10. Горизонтальные и вертикальные направления в схемах пропорциональности .	42
11. О последовательности восприятия отрезков во времени	43
Заключение	48

Замеченная опечатка на стр. 36, в 1-й строке снизу:

Напечатано —

$$M_2^1 + M_2^2 + M_2^3 \neq M_2^0 = 1;$$

Следует —

$$M_2^1 + M_2^2 + M_2^3 + M_2^0 = 1;$$

Ответственный редактор Ю. К. Милонов.

Технический редактор Е. А.

Сдано в производство 28/VII 1936 г. Подписано к печати 16/X 1936 г. 3 1/4 п. л. 72×90 1/16. В 1 п. л. 43 8/16

Уполн. Главлита № В-40840. Тираж 2 500 экз. Клише и печать 1-й Образцовой типографии Огиза РСФСР «Полиграфкнига». Москва, Валуевая, 28. Заказ № 3350.

Цена 2 руб. 50 коп.