

Борис Кириков

*История
сейсмостойкости
древних сооружений*



Посвящается моим внукам Даниле и Максиму

Борис Кириков

**История
сейсмостойкости
древних сооружений**



**Мюнхен
2020**

Кириков Борис – «История сейсмостойкости древних сооружений»

Фотографии и вёрстка – Борис Кириков
Редактор – Наталия Кантур

© Кириков Борис 2020
© A. Jochim Vela Verlag 2020
ISBN: 978-3-946227-63-2

Kirikov Boris
boriskirikov007@gmail.com
www.kirikov-boris.de

Содержание

Предисловие.....	4
Постановка задачи.....	5
Семь чудес света – создание и гибель.....	8
Три великие речные цивилизации	
На заре человеческой истории.....	32
Хараппы в долине Инда.....	34
Древнее Двуречье: Ассирия и Вавилон.....	38
Египетские пирамиды и храмы.....	51
Сейсмостойкость сооружений эпохи древних греков	
Крито-микенские времена.....	58
Храмы Афинского Акрополя.....	67
Греческие колонии.....	76
Сейсмостойкость сооружений Древнего Рима	
Римский бетон и сводчатые конструкции.....	87
Колизей – амфитеатр Флавиев.....	90
Пантеон – храм всех богов.....	95
Термы Каракаллы.....	101
Собор Святого Петра в Риме.....	105
Храм Святой Софии в Константинополе	112
Сейсмостойкость храмов Армении	
Античный храм Гарни.....	117
Строительная техника и землетрясение 1988 года в Армении.....	124
О конструкции Эчмиадзинского собора.....	133
Храм Звартноц – чудо чудное, диво дивное.....	137
Камни Гандзасарского собора.....	141
Сейсмостойкость памятников архитектуры Средней Азии	
Типовые секреты сейсмостойкости древних сооружений Средней Азии.....	150
Мавзолей, мечети, минареты.....	153
Сейсмостойкие конструкции из дерева.....	169
Сейсмостойкость японских пагод и храмов.....	180

Предисловие

Прошло почти тридцать лет со времени выхода моей книги «Избранные страницы истории сейсмостойкого строительства» (Москва, «Мир», 1993). С тех пор очень многое изменилось, в том числе и в книжном деле. Я решил переиздать эту книгу, существенно при этом её переработав: сделать яркой, красивой, с цветными иллюстрациями.

Цель создания этой новой книги, собственно, та же, что и первой: рассказать о замечательных антисейсмических конструктивных приёмах, использованных зодчими древности.

Это должно быть интересно любознательным читателям. Но особенно я хочу познакомить с этим богатым, накопленным тысячелетиями, опытом старых мастеров тех людей, которые сами занимаются проектированием и строительством сейсмостойких объектов или живут в сейсмоопасных районах.

Как сказал один умный человек, сейсмостойкое строительство – это не наука, а искусство. И действительно, при расчёте и проектировании сейсмостойких зданий современным инженерам приходится рассматривать такое сложное, непредсказуемое и случайное взаимодействие грунтового основания и объекта во время землетрясения, что интуиция и накопленный опыт играют здесь не последнюю роль. Так вот, я уверен, что знакомство с оригинальными приёмами зодчих древности при возведении сейсмостойких сооружений поможет инженерам развить эту самую интуицию. А иногда, как вы увидите дальше, некоторые из этих приёмов напрямую могут быть использованы и сегодня. Но, разумеется, в современном исполнении.

Сохранению для наших потомков бесценного наследия зодчих древности и посвящена моя книга.

Позволю себе в этом издании использовать некоторые рисунки из старой книги. Их сделали мои друзья-художники Люба Мячина и Олег Маркович. А ещё из интернета возникла Наташа Кантур. Она взялась отредактировать книгу. Обещает мои разбегающиеся мысли выстроить стройными рядами.

Автор



«Змеиная» модель сейсмического воздействия на сооружение

Постановка задачи

Итак, разберёмся, как же возникают землетрясения. Оказывается, земная кора не представляет собой единую жёсткую оболочку, а состоит из отдельных плит или, как говорят, «континентов». И эти «континенты» плывут, подобно льдинам на реке во время весеннего ледохода, за счёт тех сложных физико-химических процессов, которые происходят в глубинах земной мантии, вызывая её движение. В ходе движения жёстких плит «континентов» в местах их соприкосновения в земной коре начинают накапливаться напряжения. И когда эти напряжения достигают предела прочности материала земной коры, она разрушается. Место, где произошло разрушение земной коры, называется эпицентром землетрясения. Из него-то и устремляются во все стороны сейсмические волны, несущие гибель нашим сооружениям.

К сожалению, во всяком случае пока, невозможно предсказать, где, когда, на какой глубине и с какой интенсивностью произойдёт землетрясение. Известно только, что землетрясения чаще всего случаются в так называемых сеймоопасных районах – местах контакта этих самых плит-«континентов». Эти места изучаются и наносятся на карты.

Из очага землетрясения первыми во все стороны устремляются самые быстрые продольные волны. Это волны вызывают растяжение-сжатие грунтов. За ними распространяются поперечные сдвиговые волны. И когда этот букет волн достигает грунтовой поверхности, здесь образуются поверхностные волны, подобные волнам на воде, которые и несут разрушение постройкам.

В тех редких случаях, когда очаг землетрясения находится непосредствен-



Горизонтальный удар

но под сооружением, оно испытывает вертикальный удар и соответствующие продольные колебания. Но чаще всего эпицентр землетрясения лежит где-то вдали, и тогда сейсмические волны, достигая здания, через грунтовое основание передают ему горизонтальный удар и начинают его раскачивать.

Для наглядности выше показана змея-землетрясение, разрушающая здание. И таких змей надо вообразить сразу несколько.

Всё это я рассказал вам только для того, чтобы вы поняли, с какой сложной и непредсказуемой нагрузкой на здания имеет дело строитель в сейсмоопасном районе.

Но не всё так безнадежно. Кое-что всё-таки известно. И опять же, очень помогает опыт, накопленный веками.

На основании этого опыта можно сформулировать принципы сейсмостойкого строительства, которые полезно знать любому строителю. Я их вам сейчас назову. Они очень пригодятся и нам, когда мы в дальнейшем начнём анализировать антисейсмические конструктивные приёмы зодчих древности, на примерах построенных ими сооружений.

Вот они, принципы сейсмостойкого строительства, проверенные веками. Само собой разумеется, что их количество равно магическому числу семь.

1. **Принцип симметрии.** Веса и жёсткости в конструкции должны быть распределены равномерно и симметрично относительно плоскостей симметрии, проходящих через центр тяжести сооружения. А ещё лучше, если имеется ось симметрии. Асимметрия зданий не допускается.

2. **Принцип пропорциональности.** Разумные соотношения между высотой, шириной и длиной здания обеспечивают ему сейсмостойкость. Если высота или длина здания слишком большие по отношению к другим размерам, это снижает сейсмостойкость сооружения.

3. **Принцип снижения веса.** Необходимо строить здания как можно более лёгкими, с центром тяжести, расположенным возможно ниже. Но существует и противоположное: космически тяжёлые сооружения, подобные египетским пирамидам, тоже могут быть сейсмостойкими.

4. **Принцип идеального материала.** В постройках необходимо стремиться применять материалы прочные, лёгкие, обладающие упругопластическими качествами, обеспечивая при этом конструкциям однородные свойства.

5. **Принцип замкнутого контура.** Несущие конструкции сооружений должны быть связаны между собой, образуя замкнутые контуры как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении. Разрывы в этих контурах приводят к перегрузке элементов и их разрушению.

6. **Принцип фундаментальности.** Для повышения сейсмостойкости зданий фундаменты у них должны быть прочными, однородными, достаточно глубоко заложены и связанными между собой.

7. **Принцип сейсмоизоляции.** Когда это возможно, необходимо применять специальные устройства, снижающие интенсивность колебаний, передаваемых от грунта на здание во время землетрясения. Попросту говоря, для снижения сейсмических нагрузок в зданиях нужно стремиться как-то отрезать их от колеблющегося грунтового основания.

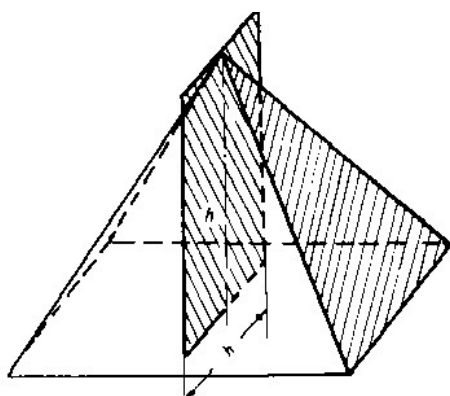
Не удивляйтесь, что я назвал здесь принцип сейсмоизоляции. Как вы увидите дальше, зодчие, творившие в древности, умели с большой фантазией создавать такие системы.

Итак, мне кажется, вы узнали вполне достаточно, чтобы вместе со мной отправиться в эту загадочную, непредсказуемую и непознаваемую область человеческой деятельности – сейсмостойкое строительство. Будем бродить по белу свету, вне времени и пространства, в поисках уникальных сооружений, на которые падёт наше подозрение в том, что они строились с защитой от возможных здесь землетрясений.

Для разминки, чтобы вжиться в роль следопытов, давайте не будем мелочиться и сразу взглянем на античные Семь чудес света с точки зрения их сейсмостойкости. Тем более, что все они, кроме пирамиды Хеопса, были разрушены землетрясениями.

Будем знакомиться с Семью чудесами света в классической последовательности: Пирамида Хеопса, Висячие сады Семирамиды, Храм и статуя Зевса в Олимпии, Храм Артемиды в Эфесе, Мавзолей в Галикарнасе, Колосс Родосский, Александрийский маяк.

Семь чудес света – создание и гибель Пирамида Хеопса



*Пирамида Хеопса, 2650 г. до н. э., общий вид.
Совершенная геометрия пирамиды.
Разрезы пирамиды и разгрузочной системы
над усыпальницей фараона*

Пирамида Хеопса – единственное из Семи чудес света, сохранившееся до наших дней. Её начал строить примерно в 2650 году до н. э. родственник фараона, зодчий Хемон. Перед ним была поставлена задача построить грандиозную пирамиду-усыпальницу обожествлённого фараона – «дом вечности», который

должен был сохраниться на вечные времена. И задача эта была им блестяще выполнена.

А теперь коротко рассмотрим конструкцию пирамиды Хеопса, которая входила в Дашурский погребальный комплекс, устроенный на скальном плоскогорье Ливийской пустыни недалеко от Каира, современной столицы Египта.

Итак, в качестве грунтового основания под пирамиду Хеопса была выбрана скала. Другого варианта просто не могло быть. И тут уже начинаются чудеса. Прежде чем начать укладывать каменные блоки, из которых сложена пирамида, на скальное основание, его абсолютно точно горизонтально выровняли.

Измерения с помощью современных приборов показали, что отклонения от расчётной горизонтальной плоскости не превышают 1-2 сантиметров. Как это было сделано почти пять тысяч лет тому назад – большая загадка. А сделать это надо было обязательно. Во-первых, даже небольшой уклон скалы основания пирамиды во время землетрясения вызывал бы её сползание. Во-вторых, все каменные блоки пирамиды были пригнаны друг к другу плотно и точно, и начиналось это с блоков, уложенных на скальное основание.

Считается, что на возведение пирамиды Хеопса пошло не менее 2 300 000 каменных блоков. Вес блоков колеблется от 2,5 до 30 тонн. Высота каменных блоков меняется от 1,5 метра в нижней части пирамиды до 55 сантиметров в верхней её части. Всегда считалось, что эти каменные блоки добывались где-то в карьерах, а потом их долго и нудно катили к пирамидам. Но недавно почти доказали, что эти каменные блоки изготавливали прямо на месте из бетона. Этот египетский бетон имел тринадцать составляющих. Основная из них – песок пустыни. Если это подтвердится – получится, что пирамиды делали из песка. Но остаётся загадкой, как эти каменные блоки поднимали наверх. Все предлагаемые гипотезы не очень-то состоятельны.

После того, как пирамида из прямоугольных бетонных блоков была выложена, её сверху донизу облицевали плитами полированного белого известняка. Длина плит облицовки менялась от 1,5 метра в нижней части пирамиды до 75 сантиметров у вершины. Всего таких плит уложено было 115 500 штук. Представьте, какой яркий белый кристалл засиял среди пустыни... К сожалению, облицовка пирамиды до наших дней не сохранилась. Высота пирамиды оценивается в 146,6 метра. Длина основания порядка 230 метров. Угол наклона стены к горизонту 52 градуса.

А вот теперь мы можем заняться сейсмостойкостью этого чуда света. Совершенно понятно, что строитель пирамиды Хеопса создавал вечное сооружение. А вот задумывался ли он о том, что иногда разгневанные боги сотрясают землю, а это земное дрожание может разрушить его произведение? И как избежать этого разрушения? Может, и задумывался, а скорее всего – нет. Но пирамида так добротнo спроектирована и построена, что удовлетворяет всем принципам сейсмостойкости и даже больше.

Смотрите: пирамида имеет идеальную геометрическую форму с точки зрения принципов сейсмостойкости. У неё низко расположен центр тяжести. Идеальная симметрия и соответствующее равномерное распределение масс и жёсткостей. Каменные блоки тщательно пригнаны друг к другу и зажаты выше-

лежащими слоями кладки. У пирамиды прочная и однородная кладка (немногочисленные туннели можно во внимание не принимать). Каменные блоки уложены друг на друга без раствора, а это позволяет им сдвигаться друг относительно друга при колебаниях пирамиды во время землетрясения.

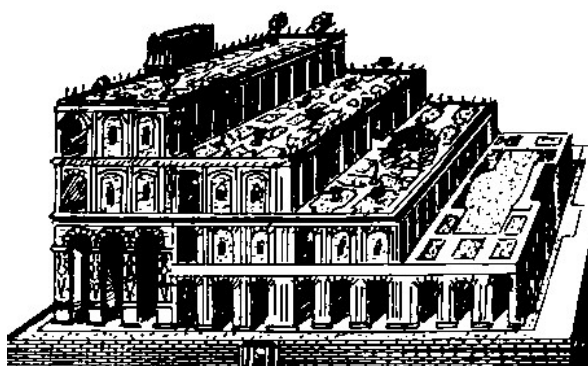
В результате чудовищный по весу массив пирамиды может как бы «дышать», менять свою форму. Я думаю, что во время одного из таких землетрясений более пластичное тело пирамиды начало «дышать», разрушив этим жёсткую скорлупу плит облицовки. Поэтому облицовка пирамиды и не сохранилась до наших дней.

А вот гигантский вес пирамиды вроде бы вступает в противоречие с одним из основных принципов сейсмостойкого строительства – требованием снижать вес сооружения. Египтяне даже не пытались облегчить вес своих построек: устроить пустоты или заполнения из лёгких материалов. И при этом они поступали правильно, поскольку в этом случае начинает действовать «принцип тяжести» – назовём его так.

Оказывается, что в чрезвычайно тяжёлых сооружениях особенно проявляется эффект взаимодействия между постройкой и колеблющимся от сейсмической волны грунтом: колебания грунта уменьшаются, затрудняются, гасятся – понимаете, как хотите. Сверхтяжёлое здание не будет так сильно раскачиваться, как колебалось бы обычное здание на этом же месте при этом же землетрясении.

И простояла пирамида Хеопса почти пять тысяч лет в условиях повышенной сейсмичности, скреплённая собственной космической тяжестью. Вот вам тема для исследования: как влияет вес сооружения на снижение эффекта сейсмического воздействия на него.

Висячие сады Семирамиды



*Примеры реконструкции
общего вида Висячих садов
Семирамиды*

Перед нами следующее чудо света – Висячие сады Семирамиды. Эти сады – сплошная загадка. От того, где они были и когда они были, до того, были ли они вообще. Может быть, они – плод красивой фантазии древнегреческих и римских историков? Опять же: почему они – висячие? Кстати, если бы сады и на самом деле были висячими, считай подвешенными – им были бы не страшны любые землетрясения. Считается, что названы так они были, поскольку издали

казалось, что растения, во множестве росшие на террасах, как бы парят в воздухе... Пусть нас с вами не мучают бесполезные сомнения в поисках истины. Выберем удобную нам легенду и будем ей следовать при изучении этих самых садов Семирамиды.

Итак, жил да был в VI веке до н. э. могущественный царь Вавилона Навуходоносор II (правил с 605 по 562 год до н. э.). И решил этот царь, чтобы стать ещё более могущественным, объединиться с царём Мидии Киаксаром. Совместными усилиями они разгромили царя Ассирии и по справедливости поделили его земли.

Чтобы закрепить этот союз, царь Навуходоносор II взял в жёны юную дочь царя Мидии – красавицу Амитис. Принцесса Амитис, поселившись в Вавилоне с его плоским, однообразным, унылым пейзажем, начала скучать по зелени и горам Мидии. Но царь Навуходоносор II не растерялся. На какие затраты не пойдёшь ради любимой женщины! Вот он и приказал построить для неё те самые сады, которые мы сегодня называем Висячими садами Семирамиды. Опять же, почему «сады Семирамиды», когда эта царица Вавилона жила в IX веке до н. э. и вроде никакого отношения к этим садам не имела – правильное было бы «сады Амитис»...

Современные историки считают, что за много веков, прошедших с того времени, о котором мы ведём речь, произошло своего рода «слияние» исторических персонажей – так бывало довольно часто. Амитис, малоизвестная супруга Навуходоносора, «превратилась» в совсем уж легендарную Семирамиду...

Висячие сады Семирамиды представляли собой огромное четырёхступенчатое сооружение, непосредственно примыкавшее к царскому дворцу. В плане это был неправильный квадрат с длиной сторон порядка 120 метров. А вот высоту этого сооружения разные авторы, в зависимости от уровня своей некомпетентности в строительном деле, называют разную: от 25 до 100 метров. Я думаю, что высота в 40 метров для конструкции из сырцового кирпича, армированного камнем, будет предельной, то есть каждая терраса была высотой не более 10 метров.

Поговорим о конструкции этих садов. Разумеется, что здесь применялась самая передовая строительная техника VI века до н. э. Основным конструктивным материалом был сырцовый кирпич, который формировали из глины, смешанной с соломой, высушенный на солнце. Этот кирпич был не таким прочным, как обожжённый на огне, но зато массив из него обладал повышенными пластическими свойствами, что важно для сейсмостойких сооружений. В ответственных конструкциях применялся обожжённый кирпич. Ещё использовали камень, что было большой редкостью для вавилонской архитектуры того времени.

Теперь рассмотрим конструкцию садов поэлементно. Сначала была выложена фундаментная плита толщиной в несколько метров из сырцового кирпича на растворе из битума. Такая плита под сооружением является прекрасным сейсмоизолятором. Она смягчает удары сейсмической волны и гасит её колебания. Далее во всю длину сооружения начали возводить стены из сырцового кирпича с облицовкой из кирпича обожжённого, на растворе из битума. Толщина таких стен в наиболее нагруженных местах достигала 6 метров. Для усиления

несущей способности стен и придания им жёсткости и прочности в вертикальном направлении в их массиве устраивались столбы из каменных квадров, скреплённых металлическими штырями, залитыми свинцом.

Террасы сада устраивались следующим образом. Пространство между стенами перекрывалось цилиндрическими сводами из специального обожжённого кирпича клиновидной формы. Опирались эти своды на облицовку стен из обожжённого кирпича. Далее поверхности террас выравнивались и тщательно гидроизолировались. Для этого объёмы между цилиндрическими сводами заполнялись сырцовым кирпичом и тростником на битумном растворе. На выровненной поверхности террасы устраивали плиту из двух слоёв обожжённого кирпича. И уже на эту плиту укладывали крупные свинцовые пластины, тщательно склёпанные между собой. Таким образом водонепроницаемость пола террас была обеспечена.

Теперь на террасы можно было насыпать толстый слой плодородной земли и высадить растения. Для обильного полива растений была устроена сложная система водоснабжения садов. При этом надо было очень тщательно следить, чтобы вода не попадала внутрь стен и перекрытий. Увлажнённый сырцовый кирпич сразу теряет прочность и начинает расползаться.

Это зелёное чудо продолжало украшать знойную и пыльную Вавилонию, пока была жива царица Амитис. Когда её не стало, тщательного ухода за садами уже не было, и они начали разрушаться. Но ещё в 325 году до н. э. Александр Македонский, завоевав Вавилон, застал их в приличном состоянии. И уже через два года он, умирая, искал спасения в живительной прохладе этих садов. Здесь же он простился со своими воинами и умер.

Во II веке до н. э. в этих местах произошло сильное землетрясение, которое основательно повредило сады Семирамиды. В массивных стенах и перекрытиях образовались огромные трещины.

И уже в I веке до н. э. при сильном разливе реки Евфрат затопленные фундаменты садов расползлись, и сооружение рухнуло.

И всё же сады простояли пятьсот лет в районе с частыми землетрясениями. В чём же секрет? В том, что основной объём конструкции составлял сырцовый кирпич, обладающий пластическими свойствами. Сейсмические волны и колебания конструкции быстро затухали в этой рыхлой массе.

Храм Зевса в Олимпии



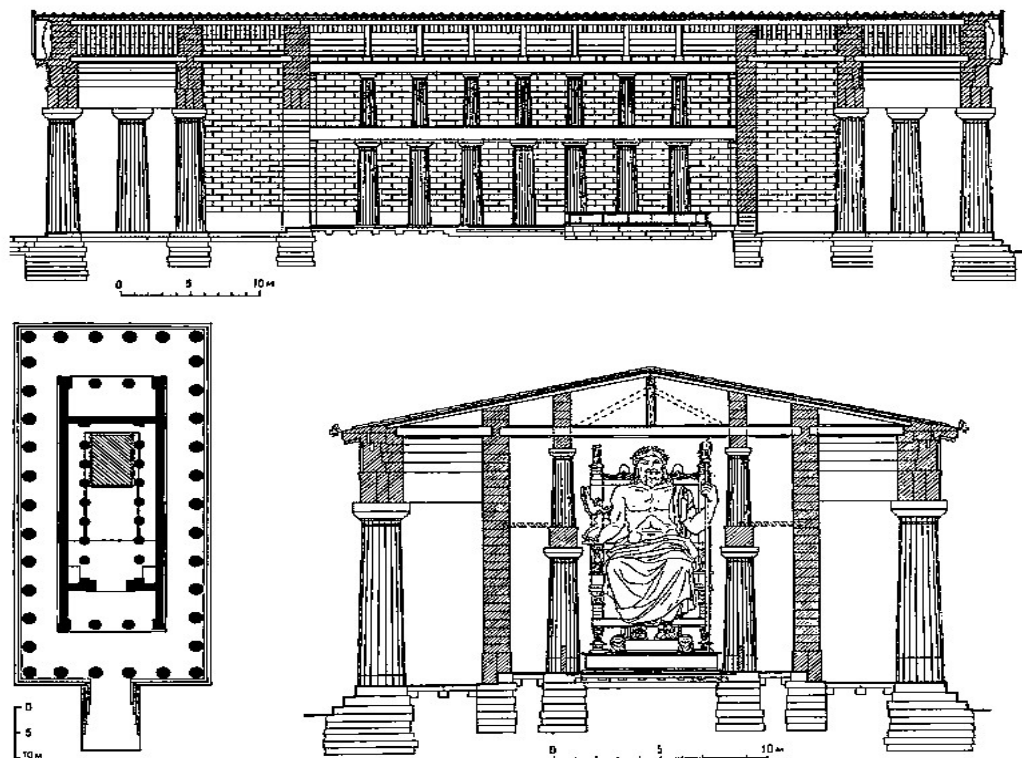
*Храм и статуя Зевса Олимпийского
созданы в 460 – 436 гг. до н. э.*

Грандиозный храм Зевса был построен в Олимпии в честь победы греков над персами при Платеях в 479 году до н. э. на деньги из взятой при этом добычи. Храм символизировал идею единства всего греческого мира вокруг своего главного божества и преимущество эллинов над окружавшими их варварами.

Соответствующим было и художественное оформление храма.

На этом месте задолго до интересующего нас сооружения последовательно возводилось несколько храмов, которые по тем или иным причинам исчезали с лица земли.

Строительство храма Зевса в виде дорического периптера было выполнено зодчим Либом из Элиды в 460-450 годах до н. э. из крепчайшего известняка. Закончилось возведение храма установкой между 440 и 436 годами до н. э. грандиозной статуи Зевса. Её создателем являлся великий Фидий. Размеры храма в плане 27,5 на 64 метра с числом колонн 6 на 13. Храм отличается исключительно высокое качество строительных работ. Это один из крупнейших храмов всего греческого мира.



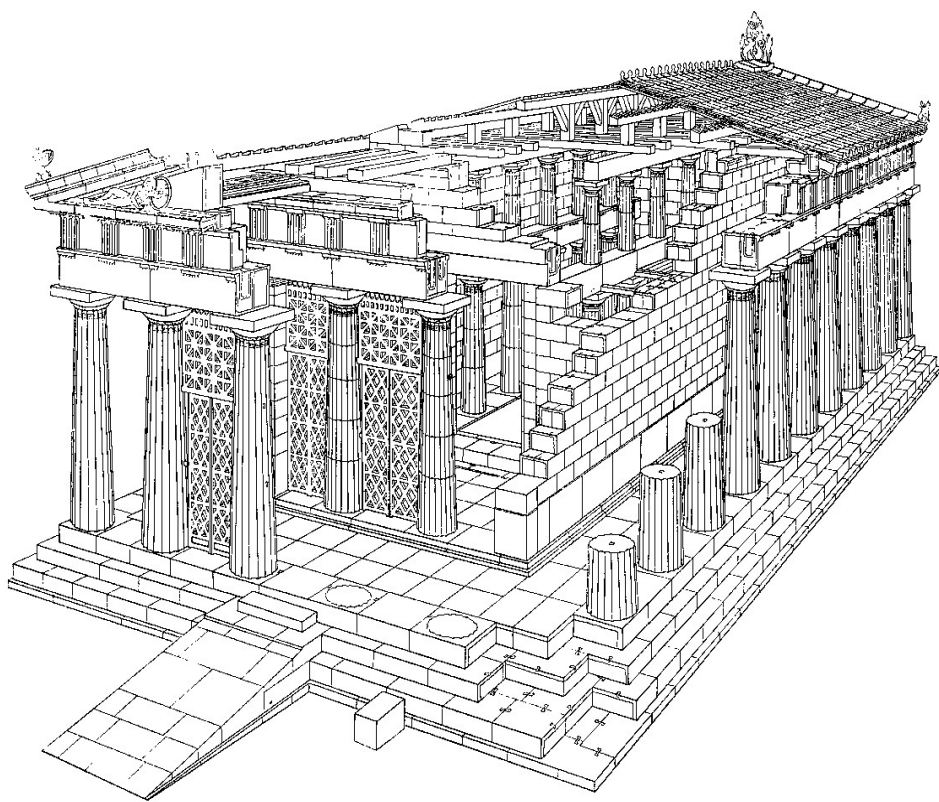
Конструкция храма: план, продольный и поперечный разрезы

Высота статуи Зевса, располагавшейся внутри храма, составляла предположительно от 12 до 17 метров. На облицовку скульптуры пошло 200 килограммов золота и уйма слоновой кости, каркас же скульптуры был деревянным. Вид этого могучего бога с «тёплой» благодаря слоновой кости кожей и светящимися глазами буквально потрясал современников. Впоследствии эту скульптуру стали считать одним из Семи чудес света. До наших дней она не сохранилась.

А вот теперь, познакомив вас по рисункам с устройством этого храма, я со спокойной совестью могу заявить: при всём своём архитектурном совершенстве

греческие храмы не являлись сейсмостойкими сооружениями. Собственно, здесь нарушены все принципы сейсмостойкости. Единственное, что как-то соблюдается – это принцип симметрии, но относительно только продольной оси.

Самое первое, что бросается в глаза, когда начинаешь рассматривать конструкцию храма, это то, что массы и жёсткости в плане сооружения распределены весьма неравномерно. Действительно, по периметру храма установлены достаточно податливые колонны – об этом мы ещё поговорим в дальнейшем. А вот центральную часть постройки занимает так называемая целла, стены которой сложены из плотно пригнанных тяжёлых каменных блоков. Вот в этой целле и сосредоточена вся горизонтальная жёсткость храма. И когда происходит землетрясение, вся чудовищная горизонтальная сейсмическая сила от массивного верхнего уровня храма передаётся на стены этой самой целлы. Связи, как правило, не выдерживают, и центральная часть храма обрушивается. Это можно пронаблюдать на сохранившихся до наших дней развалинах греческих храмов: колонны с балками по периметру стоят, а центр храма отсутствует.



Пространственное изображение храма Зевса в Олимпии

Ну и конечно, ни о каком понижении центра тяжести сооружения в греческих храмах речи не идёт. Перекрытия их чудовищно тяжёлые. Они состоят из целого набора каменных балок – антаблемента, каменных фронтонов и кровли, выложенной из мраморной черепицы. Как я уже сказал, такая тяжёлая кровля храма вызывает непреодолимые сейсмические нагрузки на стены целлы – они разрушаются.

Смотрите дальше. Не связанные между собой, отдельно стоящие фундаменты под стенами и колоннами храма сейсмостойкости всему сооружению не прибавляют. Грунты в этом месте плохие, наносные. Следовательно – просадочные. В результате фундаменты храма оседали неравномерно, вызывая этим деформацию опорных узлов балок перекрытия. С этого начиналось разрушение храма Зевса.

И при всём этом греческие строители старались защитить свои сооружения от землетрясений. Они тщательно скрепляли каменные элементы храма между собой с помощью точной подгонки и закладки связующих металлических скоб и штырей. Но всё это было бесполезно, так как общая компоновка храма с точки зрения сейсмостойкости была ошибочной.

Но есть в храме один очень интересный элемент – колонна. Каждая из этих мощных дорических колонн высотой более 10 метров, стоявших по периметру храма, была составлена из четырнадцати блоков, скреплённых в центре железными штырями, залитыми свинцом. Вот и получилось, что колонна уже не была абсолютно жёсткой. Она сделалась слегка гибкой и податливой. То есть, такая составная колонна играла для перекрытия храма роль сейсмоамортизатора. В результате сегодня мы можем увидеть на развалинах греческих храмов сохранившиеся группы колонн, поддерживающие огромные каменные массивы. Центральная же, более жёсткая часть храма, как правило, отсутствует, поскольку она давно погибла от землетрясений.

Храм Зевса в Олимпии был духовным центром всего греческого мира. Раз в четыре года здесь устраивались Олимпийские игры. На это время прекращались все войны. Со всех греческих земель, из колоний в Италии, Причерноморье, Африке и Персии сюда направлялись выдающиеся атлеты, болельщики, цари и государственные деятели. Никто из них не беспокоился о своей безопасности, так как все они были равными «гостями Зевса». В первую очередь они, разумеется, посещали главное святилище Эллады – храм Зевса Олимпийского.

Этот храм представлял собой классический периптер – прямоугольное здание, окружённое со всех сторон одним рядом колонн. На торцах здания находилось по шесть дорических колонн, по боковым сторонам – по тринадцать, всего тридцать восемь внешних колонн высотой 10,5 метра. Фронтоны храма были украшены скульптурными группами из греческих мифов: на восточном – состязание Эномая с Пелопсом под наблюдением Зевса; на западном – битва лапифов с кентаврами в присутствии Аполлона. Всё здание храма имело строгий, несколько даже суровый вид. Его оживляла только окраска.

Внутренний размер целлы был 28 на 13 метров. Войдя в неё, посетитель оказывался перед могучим Зевсом, сидящим на троне. На ступенях трона были установлены позолоченные скульптуры богов. Сам Громовержец держал в од-

ной руке скипетр, на другой руке стояла золотая скульптура Ники – греческой богини победы.

Каркас статуи Зевса был выполнен из дерева. К этому каркасу мудрёным образом крепились пластинки из золота и слоновой кости. Золото там, где одежда. А слоновая кость – там, где тело бога. Такие статуи назывались хрисоэлефантинными. Выглядело это всё очень внушительно. Казалось, если Зевс встанет, то он проломит крышу храма. На уровне головы Громовержца находились галереи, на которые вели лестницы по боковым сторонам целлы.

Много веков поток паломников в храм Зевса не иссякал. Завоевавшие Грецию римляне высоко почитали это святилище, приравнивая своего Юпитера к греческому Зевсу. Все императоры считали своим долгом посетить Олимпию.

Конец существованию храма Зевса в Олимпии положило распространение христианства. Император Феодосий в 406 году приказал разрушить все сооружения в Олимпии как языческие. Серия сильных землетрясений в VI веке довершила разрушение храма.

Что касается скульптуры Зевса, то в начале V века она ещё была на своём месте. Потом её перевезли в Константинополь, и там она сгорела при очередном пожаре в 476 году.



Развалины храма Зевса в Олимпии

Храм Артемиды Эфесской



*Реконструкция храма Артемиды Эфесской
и скульптура самой богини*

Этот знаменитый греческий храм находился в городе Эфесе на побережье Малой Азии. Теперь это Турция, провинция Измир, окраина города Сельчук.

Считается, что существовало три варианта этого храма. Время заложения первого теряется во тьме веков. По преданию, его построили легендарные амазонки, обитавшие в районе Эфеса, в честь своей богини Артемиды, покровительницы охоты, плодородия и женского целомудрия – всего того, чем прославились сами воинственные амазонки. У римлян эта богиня-охотница звалась Дианой.

Вот перед нами восстановленная скульптура богини, найденная на месте раскопок одного из храмов. Это мы в силу своей испорченности считаем, что у неё, как богини плодородия, было столько грудей. На самом деле это украшения.

Кстати, никто толком не знает, где, когда и в каком месте обитали амазонки и были ли они вообще. Очевидцы утверждают, что в последний раз

видели амазонок на встрече их с Александром Македонским, которая случилась в конце IV века до н. э.

Но доподлинно известно, что храм Артемиды, построенный этими самыми амазонками, погиб в VII веке до н. э. от наводнения.

Прошло не так уж много времени, и царь Лидии Крёз (правил с 560 по 546 год до н. э.), завоеватель Малой Азии и большой почитатель греческой культуры, решил восстановить храм Артемиды в Эфесе, а на самом деле – построить его заново.

Для строительства храма был приглашён известный критский архитектор Херсифрон с сыном Метагеном. Уже в 550 году до н. э. проект храма был готов и началось строительство. Согласно проекту возводился огромный диптер из мрамора – храм с двумя рядами периферийных колонн. Его длина была 115, а ширина 46 метров. Боковые колонны имели высоту 13 метров. Установленные в два ряда, они образовывали круговой обход для торжественных шествий вокруг целлы, где сохранялась основательно украшенная скульптура Артемиды высотой 15 метров. Центральные колонны достигали высоты 18 метров. А всего их здесь было 127 штук. Не буду подробно рассказывать о тех многочисленных произведениях искусства, которыми был украшен храм. Не это сейчас для нас самое главное.

А поговорим вот о чём. Первый строитель храма, архитектор Херсифрон, был человеком основательным и вдумчивым. И он, прежде чем приступить к возведению храма, начал тщательно выбирать площадку для строительства. Зодчий знал, что в районе Эфеса и вообще на побережье Малой Азии часто случаются сильные сотрясения поверхности земли, которые сегодня мы называем землетрясениями. Вот этот архитектор древности и задумался над тем, как защитить храм от сильных сотрясений. При этом он размышлял совершенно правильно, не хуже нас с вами. Херсифрон решил, что храм нужно поставить на болоте, на мягких грунтах, которые будут смягчать удары подземной стихии. По сути дела, зодчий решил использовать мягкий грунт как сейсмоизолятор. Но при этом архитектор прекрасно понимал, что на мягких грунтах колонны храма будут неравномерно оседать, и он развалится без всяких сотрясений земли. И тогда он принял конгениальное решение, которому может позавидовать современный строитель: приказал вырыть огромный котлован на том месте, где будет строиться храм, и заполнить его битумом, смешанным с овечьей шерстью. Когда эта масса сформировалась и застыла, под будущим храмом образовалась огромная подушка, которая была достаточно пластичной, чтобы гасить сейсмические волны, и достаточно прочной, чтобы обеспечивать равномерную осадку храму. Это было очень сильное антисейсмическое мероприятие. Оно обеспечило сохранность этого замечательного сооружения в будущем.

Строительство храма Артемиды Эфесской продолжалось почти два века. Закончено оно было в 380 году до н. э. архитекторами Деметрием и Пеонием. Но уже в 356 году до н. э. храм был сожжён тем самым знаменитым злодеем Геростратом. При пожаре храм был практически полностью разрушен. В конструкции кровли было много деревянных деталей – они сгорели, кровля рухнула, а за ней и многие колонны.

Восстановление, вернее, строительство третьего варианта храма началось в 323 году до н. э. по распоряжению Александра Македонского, на им же выделенные деньги. Работами руководил архитектор Дейнократ.

Третий храм был ещё больше второго. Его длина составляла 137, ширина 69, а высота – 18 метров. Внутри храм был украшен скульптурами Праксителя и рельефами Скопаса. Но особенно знаменита была картина художника Апеллеса с изображением Александра Македонского в образе Зевса с молнией в руке.

С конструктивной точки зрения этот храм отличался от второго тем, что он был значительно поднят над уровнем земли. Это видно на рисунке, приведённом в начале данной главы. К сожалению, выяснить, как было устроено это новое ступенчатое основание храма, мне не удалось. Но в любом случае такое возвышение храма над уровнем земли повышало его сейсмостойкость.

Предполагается, что этот храм просуществовал шесть веков и его успели использовать для своих богослужений христиане. Закрыли его где-то в середине V века. После закрытия храма имя языческой богини Артемиды было уничтожено в Эфесе. Храм начал разрушаться, а его детали использовали в других сооружениях.



На этом месте стоял храм Артемиды Эфесской

Между прочим, из Библии можно узнать, что храм Артемиды в I веке сильно пострадал от землетрясения. Дело в том, что в это время в Эфесе жил и проповедовал апостол-евангелист Иоанн Богослов. Здесь же он умер, здесь же был похоронен. В Новом Завете в его трудах есть описание того, как землетрясение повредило храм Артемиды.

Дело было так. Иоанн Богослов проповедовал в храме обращённым в христианство жителям. Он молился об изгнании языческих демонов из храма. Внезапно раздался сильный гул, всё задрожало, и мраморный алтарь Артемиды раскололся на мелкие части. При этом рухнула часть храма. Прямо классическое описание землетрясения!

Галикарнасский мавзолей



Мавзолей в Галикарнасе – ещё одно чудо света

На том же побережье Малой Азии, где стоял храм Артемиды, в столице Карии Галикарнасе (Теперь это Бодрум, Турция) жил-поживал со своей любящей женой Артемисией могущественный царь Мавсол (правил с 377 до 353 года до н. э.). И решили они, чтобы сохранить о себе память на века, построить свою гробницу невиданной красоты и величины. Для строительства гробницы-мавзолея (название произошло от имени царя Мавсола) были приглашены лучшие архитекторы Греции Сатирос и Пифей Приенский.

Каждая из четырёх сторон гробницы была украшена скульптурами и барельефами, над каждой из них трудился один из известных греческих скульпторов: Леохар, Бриаксид, Скопас Паросский и Тимотей.

Строительство мавзолея началось в 359 году до н. э., ещё при жизни царя Мавсола, и было закончено уже после его смерти – в 351 году до н. э. Мечта этой царской супружеской пары сохранить своё имя в веках осуществилась. Это чудо света – Галикарнасский мавзолей – уступает по долговечности только египетским пирамидам. Мавзолей простоял почти девятнадцать веков. Его сначала разрушило землетрясение, а потом растащили люди.

Рассмотрим компоновку и конструкцию Галикарнасского мавзолея, построенного на холме и возвышавшегося над всем городом. По замыслу царя Мавсола, это огромное сооружение, в котором сочетались элементы греческой и восточной архитектуры, должно было служить одновременно гробницей царской четы и храмом.

Прямоугольный в плане мавзолей имел размеры 66 на 77,5 метра. Его высота была почти 46 метров. Как видите, размеры сооружения немного великоваты с точки зрения сейсмостойкости, но пропорциональны и вполне допустимы.

В полускальных грунтах, служивших основанием под мавзолей, перед началом строительства был вырыт котлован глубиной порядка 1,5 метра. Далее по всему котловану были уложены крупные каменные фундаментные плиты. И вот на этом хорошем грунтовом основании и прочном фундаменте началось возведение нижней части сооружения, которая служила цоколем для расположенного выше храма с колоннами по периметру. В этой цокольной части мавзолея и была устроена погребальная камера с двумя мраморными саркофагами. После захоронения в них урн с прахом царя Мавсола и царицы Артемисии вход в погребальную камеру был основательно засыпан каменными глыбами и гравием.

Стены нижней, цокольной части мавзолея были устроены весьма основательно. Их толщина достигала почти 5 метров. Выложены они были с перевязкой швов из крупных каменных блоков прочного известняка, соединённых между собой металлическими штырями и скобами. С наружной стороны стены цоколя были облицованы крупными мраморными плитами. Такая толщина стен цокольной части мавзолея устроена была для того, чтобы служить основанием каменных стен целлы храма с его тридцатью шестью ионическими колоннами, на которые в свою очередь опиралась пирамидообразная кровля мавзолея. Для поддержки тяжёлой каменной кровли внутри цокольной части было установлено пятнадцать мощных дорических колонн, по пять штук в три ряда. Здесь же была устроена лестница, ведущая в храм.

Стены храма, расположенного во втором уровне мавзолея, тоже были выложены из крупных каменных блоков, соединённых штырями, и имели толщину около 1,5 метра. Во внутреннем пространстве храма, как продолжение колонн нижнего уровня, было установлено ещё пятнадцать колонн. С внешней стороны целлу храма окружали по периметру тридцать шесть колонн ионического ордера. В храме были установлены мраморные скульптуры царской четы – Мавсола и Артемисии, перед которыми и совершались обряды поклонения им.

Стены целлы, внешние и внутренние колонны храма служили опорой для третьей части мавзолея – его кровли. Она была выполнена в виде тяжёлой 24-ступенчатой каменной пирамиды. На вершине этой пирамиды размещалась

бронзовая квадрига, которой правили царь Мавсол и царица Артемисия. Супружескую пару представляли мраморные скульптуры шестиметровой высоты.



Модель мавзолея

А вот теперь мы можем заняться анализом конструкции Галикарнасского мавзолея с точки зрения его сейсмостойкости.

Во-первых, мавзолей был чудовищно тяжёлым и, соответственно, только сильное или очень сильное землетрясение могло заставить его начать раскачиваться. Опять разговор, как и в случае египетских пирамид, о взаимодействии сооружения и грунта во время землетрясения. Очень тяжёлое сооружение может своей массой частично гасить сейсмические волны.

Во-вторых, рассмотрим динамическую расчётную модель сооружения. Вот она перед вами.

Исходя из устройства мавзолея, нижнюю цокольную часть мы можем рассматривать как абсолютно жёсткое, массивное, твёрдое тело, намертво связанное с грунтовым основанием. Эта часть мавзолея не может проскальзывать относительно грунтового основания. А вот следующая, храмовая часть мавзолея в силу своей конструкции является более податливой по сравнению с нижней, абсолютно жёсткой цокольной ча-

стью. И эта более податливая часть сооружения может во время землетрясения самостоятельно колебаться относительно его жёсткой нижней части. Здесь был нарушен один из принципов сейсмостойкого строительства: жёсткости и массы сооружения по его высоте должны быть распределены равномерно и симметрично. Кроме того, большим недостатком конструкции мавзолея являлась тяжёлая, высоко расположенная каменная пирамида кровли.

Уже в 334 году до н. э. город Галикарнас захватил Александр Македонский и превратил его в развалины, но разрушить гробницу он не решился. Сохранился мавзолей и в конце I века до н. э., когда здесь обосновались пираты. И стоял Галикарнасский мавзолей в более-менее сохранном виде до XIII века, когда здесь произошло несколько сильных землетрясений.

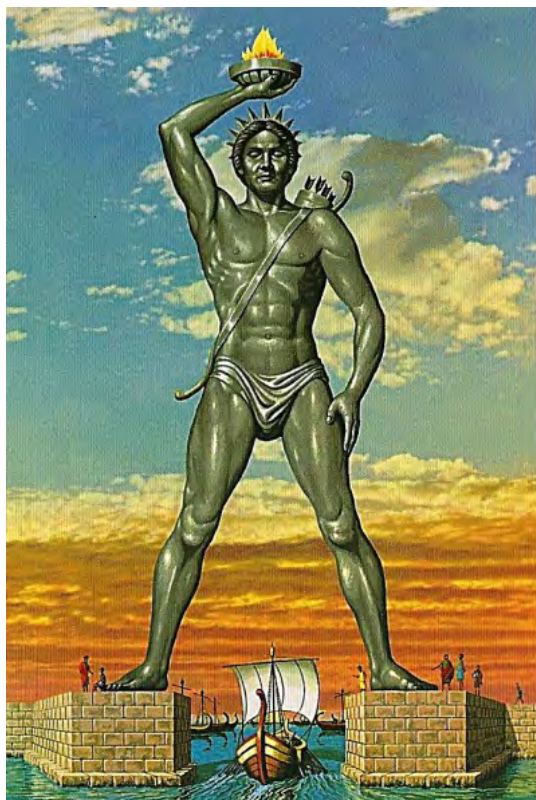
При первом же землетрясении с грохотом скатилась на землю колесница с вершины мавзолея. Дальше, как и должно было быть по теории, начала сильно раскачиваться верхняя, храмовая часть мавзолея. Чудовищные инерционные силы от тяжёлой кровли мавзолея передались на жёсткие стены целлы храма. Колонны верхнего уровня горизонтальную нагрузку не воспринимали. В результате стены целлы храма рухнули, верхняя часть мавзолея обвалилась.

В узнаваемом виде цокольная часть Геликарнасского мавзолея просуществовала до XV века, когда сюда пришли рыцари-госпитальеры и разобрали руины мавзолея для строительства своей крепости Бодрум. В стенах этой крепости и сегодня можно увидеть полированные мраморные блоки от Галикарнасского мавзолея.



Вот на этом месте стоял Галикарнасский мавзолей

Колосс Родосский



Два варианта реконструкции Колосса Родосского.

Недалеко от Галикарнаса расположен остров Родос, на котором стояло шестое чудо света – гигантская статуя Гелиоса, бога Солнца, прозванная Колоссом Родосским.

После смерти Александра Македонского его державу разделили между собой три его полководца: Селевк, Антигон и Птоломей. Последнему достался Египет. Птоломей заключил союз с богатым островом Родос. Это очень не понравилось Антигону, и он отправил своего сына Деметрия с сорокатысячным войском захватить Родос. Огромное войско целый год осаждало хорошо укрепленную столицу острова Родос. При этом было изготовлено множество всевозможных осадных приспособлений. Но всё было безрезультатно: войско вынуждено было отступить, бросив всё тяжёлое вооружение.

Жителям острова было совершенно ясно, что основная заслуга в их чудесном спасении принадлежит их покровителю, богу Солнца – Гелиосу. И в благодарность за это они решили воздвигнуть его гигантскую статую.

Заказ на возведение такой статуи был сделан скульптору Харесу из Линда, ученику знаменитого Лисиппа. Ему было предложено изваять фигуру бога вы-

сотой 18 метров. Потом, посоветовавшись, решили, что для такого бога высота маловата, и окончательно постановили установить скульптуру в два раза выше – 36 метров. Но средств на производство работ скульптору выделили мало. Сначала ему дали денег на восемнадцатиметровую скульптуру, а потом просто удвоили эту сумму. Расходы же на самом деле увеличились в восемь раз, поэтому скульптор всё время испытывал недостаток в деньгах и вынужден был влезть в большие долги.

Строительство скульптуры продолжалось двенадцать лет и было закончено в 276 году до н. э. На неё было израсходовано 13 тонн бронзы и 7,8 тонны железа. Начну с того, что более-менее достоверно известно: с технологии создания Колосса и его конструкции. Основными несущими элементами всей скульптуры, её «скелетом», являлись три каменных столба, возведённых почти на всю её высоту. Столбы эти выкладывались из отдельных прямоугольных плит. На уровне корпуса скульптуры каменные столбы были связаны между собой железными пластинами. Два столба находились внутри ног, а третий был замаскирован складками свисающей ткани. Из каменных столбов выступали металлические стержни нужной длины, к которым крепились железные обручи соответствующей конфигурации. Вот эти обручи и служили опорой для специально откованных тонких бронзовых плит, которые формировали фигуру Колосса. Представляете, какой должен был быть тонкий расчёт. Даже трудно вообразить...

Скажу больше. Строительные леса вокруг Колосса не возводились, а насыпался земляной курган. С него-то и шёл монтаж объекта. По мере роста скульптуры курган насыпался всё выше и выше. При таком производстве работ увидеть, как выглядит статуя, можно было только после того, как она будет закончена и курган удалён. Но тут появлялась ещё одна опасность для скульптуры. Всё выше насыпаемая земля кургана начинала давить на оболочку Колосса и неизбежно должна была её сплющить. Чтобы избежать этого, строители по мере «роста» скульптуры начали заполнять её внутренний объём пластичной глиной. Но это значительно утяжелило скульптуру.

Наконец через двенадцать лет работы были закончены, курган срыт, и Колосс предстал во всей своей сияющей бронзовой красе перед изумлёнными жителями Родоса. Были счастливы все, кроме автора этого уникального сооружения – скульптора Хареса. Во-первых, многочисленные кредиторы начали требовать с него деньги, а во-вторых, он заметил, что внутреннее глиняное наполнение скульптуры начало распирает её оболочку и понял, что Колосс долго не простоит. И Харес покончил счёты с жизнью.

А теперь зададимся вопросом, как же выглядел Колосс Родосский.

Загляните в интернет, и вы увидите сотню его реконструкций. Впечатление такое, что подавляющее большинство авторов этих изображений даже не задумывалось о том, как эта статуя была создана.

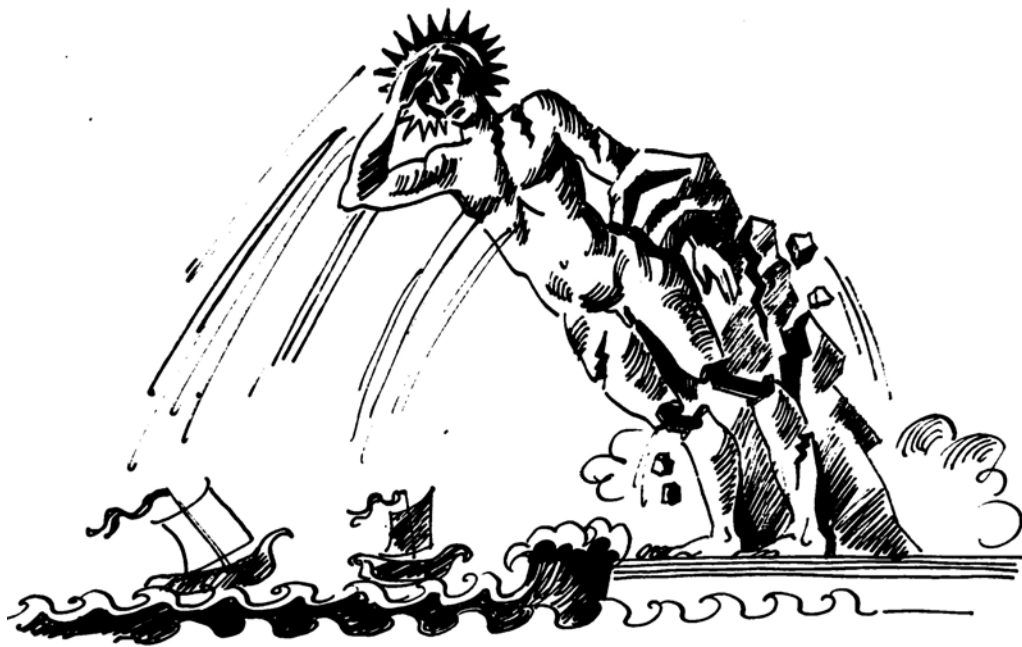
В самом начале данной главы я привожу два изображения таких реконструкций. Посмотрите на левую картинку. Мог ли существовать такой неустойчивый Колосс Родосский? Где у него третья опора? Опять же, можно ли было спрятать каменные столбы в эти стройные ноги? И так далее...

Теперь о проплывающем под ним большом корабле.

Я тут полюбовался самим собой и понял, что, имея рост 180 сантиметров, я ровно в двадцать раз меньше Колосса Родосского. Следовательно, чтобы определить любой размер Колосса, мне достаточно измерить его на себе и увеличить в двадцать раз. В частности, я измерил треугольник, где проплывают корабли. У меня это 60 на 75 сантиметров. У Колосса соответственно получается основание треугольника – 12, высота – 15 метров. В такие габариты впишется далеко не всякий корабль. Опять же, все реконструкции Колосса показаны среди морских вод. Ясно же, что монтажный земляной холм среди моря насыпать невозможно. Следовательно, Колосс Родосский стоял на возвышении где-то на суше.

В самом начале данной главы имеется и другое фото – справа. Это репродукция картины Сальвадора Дали с изображением Колосса Родосского (1954 г.). Эта реконструкция мне больше нравится, так как она выглядит более достоверно. Здесь основательные, толстые ноги, есть и складка ткани, которая спускается до опоры. Короче говоря, спустя всего пятьдесят шесть лет после окончания строительства Колосса, в 220 году до н. э., в этом месте произошло не очень сильное землетрясение, которого было достаточно, чтобы тяжёлый Колосс на жёстких ногах рухнул. Ноги его переломились в области колен. Вот тогда-то и появилось выражение «колосс на глиняных ногах».

И пролежал поверженный Колосс на земле более восьми столетий, пока в 653 году Родос не захватили турки. Они-то и продали обломки Колосса купцу из Эдессы. Деловой купец переплавил на месте остатки скульптуры в бронзовые слитки, погрузил их на девятьсот верблюдов и вывез. Везде так пишется.



Вот так рухнул Колосс Родосский

Попутно замечу: почти ни один миф или легенда не поддаются разбору с точки зрения достоверности. Вот и сейчас – смотрите выше: «вывез на девятистах верблюдах». Но ясно же, что этого быть не может. Судите сами. Пусть даже сохранилась вся бронза, которая пошла на сооружение Колосса Родосского, а её было 13 тонн. Сколько надо верблюдов, если на одного можно погрузить не менее 200 килограммов? Правильно – потребуется шестьдесят пять верблюдов. Ну пусть сто. Но не девятьсот же! Да и не мог купец иметь столько животных...

Но самое интересное дальше. А как верблюды с острова отправились на материк? По водам? Все это повторяют в описаниях Колосса Родосского и никого это не смущает.

Были предложения восстановить Колосса Родосского, но дельфийский оракул строго запретил это делать, чтобы не разгневать Гелиоса.

Далее последнее из античных Семи чуде света – Александрийский маяк.

Александрийский маяк



Одна из реконструкций Александрийского маяка

К 280 году до н. э., при царе Птолемее Сотере, под руководством архитектора Сострата Книдского недалеко от Александрии, на острове Фарос был построен гигантский маяк, предназначенный облегчать подход к гаваням Александрии, труднодоступным из-за наносов нильского ила.

Маяк представлял собой трёхъярусную башню высотой от 120 до 150 метров. Основание нижней прямоугольной части представляло собой квадрат со стороной 30,5 метра. Второй ярус был восьмигранной башней. Третий ярус являлся фонарём. Он представлял собой купол на восьми колоннах, под которым и горел огонь. Всё это венчала бронзовая семиметровая статуя бога морей Посейдона.

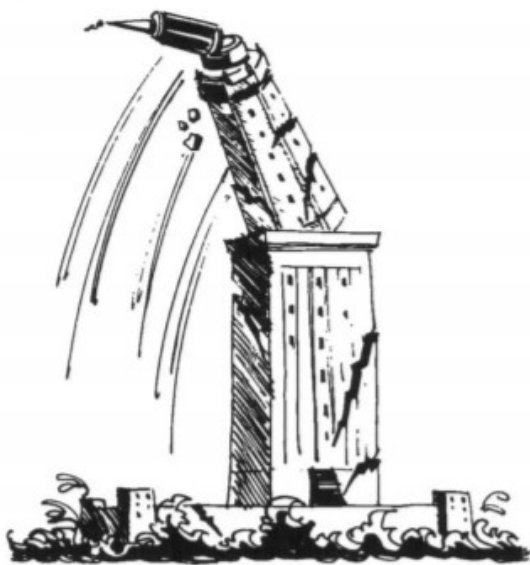
Сразу обращаю ваше внимание на то, что место для строительства маяка

было выбрано очень удачно: сооружение было поставлено на прочную скалу, а сложено из крупных блоков местного известняка. Весь маяк был облицован мраморными плитами.

К сожалению, мы ничего не знаем о том, как соединялись известняковые блоки, из которых была сложена нижняя часть маяка. Раствор здесь точно не применялся, а вот металлические соединительные скобы скорее всего использовались. Но при этом известно, что известняковый камень, из которого была сложена вся башня, – материал хрупкий и недостаточно прочный.

Внутри нижней массивной части маяка имелись помещения для охраны, склады для топлива и двойные стены, между которыми была устроена винтовая лестница, по которой на ослах топливо доставлялось к фонарю.

Из сказанного можно сделать вывод, что при данных пропорциях сооружения, его материале и скальном основании Александрийский маяк был конструкцией очень жёсткой. Опять же – с резко меняющейся по высоте жёсткостью и массой. Как будет разрушаться маяк от землетрясений при такой компоновке, можно было предсказать заранее. Никакие приёмы сейсмоизоляции здесь не применялись, и все колебания скального основания при землетрясении напрямую передавались сооружению, сотрясая и разрушая его. Другое дело, что в самой скале как-то гасились сейсмические волны, и поэтому и эффект землетрясения снижался.



Уже во II веке при землетрясении рухнула верхняя, фонарная часть маяка. При следующем землетрясении в IV веке рухнул восьмигранный ярус. Тогда же зазмеились вертикальные и наклонные трещины в массивной нижней четырёхгранной башне. В конце X века на руины Александрийского маяка обрушилось такое землетрясение, что от сооружения осталась лишь четверть. Землетрясение XIV века окончательно рассыпало на отдельные камни этот шедевр древности.

А этот рисунок – фантазия моего друга-художника. Он изобразил, как рухнул бы маяк от удара единственной сейсмической волны такой чудовищной силы, что её не смогло бы пригасить и скальное основание.

Будем считать, что, познакомившись с семью чудесами света с точки зрения их сейсмостойкости, мы сделали разминку. Далее мы начинаем систематическое знакомство с историей сейсмостойкости сооружений.

Три великие речные цивилизации

На заре человеческой истории



Повышают сейсмостойкость башни

С какого момента истории человечества начать наше путешествие по истории сейсмостойкого строительства? Чтобы не ошибиться, лучше всего, наверное, начать с момента сотворения мира.

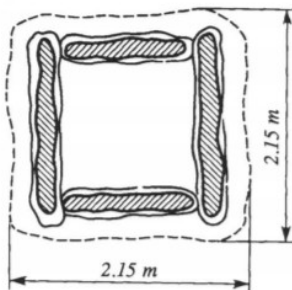
Как только Адам и Ева поселились в садах Эдема – а расположены они были, как известно, в знойной и порой дождливой Месопотамии, тут же возник у них вопрос о жилище. И не простом, а именно сейсмостойком жилище, так как равнины Месопотамии, по которым протекают реки Тигр и Евфрат, отличаются повышенной сейсмической активностью.

Адам не растерялся, набрал палок и веток и сплёл каркас для небольшо-

го домика. Дальше ему оставалось обмазать каркас глиной или обложить сырцовым кирпичом. Получилась мазанка, конструкция которой отвечает всем принципам сейсмостойкости. Адам об этом, ясно, и не подозревал.

А вот вам уже реальный пример сейсмостойкого сооружения из самой что ни на есть глубокой древности. Вспомним о мегалитических сооружениях, которые разбросаны по всему миру, от Японии до Британии. Когда, для чего, как и кем были сооружены эти мегалиты – нам знать не дано. Только один пример.

Недалеко от селения Горикиди в Азербайджане стоит потрясающий двухъярусный дольмен. Он сложен из десяти тщательно пригнанных каменных плит примерно одной толщины, почти квадратных в плане.



Древний дольмен

Практически все принципы сейсмостойкости в этом дольмене соблюдены. Жёсткости и массы в нём распределены равномерно и симметрично относительно плоскостей симметрии. В узлах опирания имеются податливые шарниры. При превышении определённого уровня смещения плиты упираются друг в друга – образуются включающиеся связи, ограничивающие амплитуду колебания системы. Конструкция сначала работает как податливая, а потом, с ростом смещения элементов, как жёсткая нелинейная.

С позиций сегодняшней науки этому древнейшему сооружению можно приписать и другие достоинства, о которых его строитель, разумеется, понятия не имел. С современной точки зрения этот мегалит можно упрекнуть только в излишней, может быть, тяжести – да и это вопрос спорный. Как увидим дальше, египтяне успешно использовали огромную тяжесть своих сооружений вместо цемента. Этот дольмен простоял неизвестно сколько столетий в районе с повышенной сейсмической активностью и сохранился – значит, можно смело заявить, что это сейсмостойкое сооружение.

Теперь мы можем анализировать достоинства и недостатки этого дольмена с точки зрения современной теории сейсмостойкости, а что думали в своё время создатели этого сооружения, к сожалению, никто не знает. С такой ситуацией мы будем сталкиваться неоднократно.

Начнем путешествие с трёх великих речных цивилизаций: Хараппской, возникшей на берегах Инда, Шумеро-вавилонской, зародившейся в междуречье Тигра и Евфрата, Древнеегипетской на Ниле.

У этих трёх цивилизаций много общего. Возникли они в плодородных речных долинах. Необходимость бороться с разливами рек и орошать поля требовала, чтобы племена объединились в централизованные государства. Развивалось городское строительство, прорывались каналы, насыпались дамбы, возводились жилые дома, дворцы и храмы.

Все три цивилизации существовали уже в четвёртом тысячелетии до н. э. Между ними существовали активные торговые и политические связи. В сферу их общения входила и крито-микенская культура.

Наше знакомство с историей сейсмостойкости начнём с хараппов.

Хараппы в долине Инда

Сразу предупреждаю: знакомя вас с этой древнейшей цивилизацией, я ставлю практическую задачу – показать, что может случиться, если построить город в сейсмоопасной зоне на очень плохих грунтах с такой же плохой общей геологической ситуацией. А именно такие грунты и такая геология имеют место в районе города Мохенджо-Даро, о котором у нас пойдёт речь в дальнейшем.

По своим размерам Хараппская цивилизация значительно превосходила две другие, вместе взятые. Открыта она сравнительно недавно, в 1920 году, и, соответственно, изучена меньше других.

Когда начала формироваться культура хараппов – неизвестно, однако мы знаем, что уже в XXXIII веке до н. э. эта городская цивилизация процветала и по уровню градостроительного и культурного развития превосходила две другие. Закончилось это процветание самым загадочным образом в XV веке до н. э.

По всей обширной территории Хараппской цивилизации обнаружено множество однотипно построенных городов, посёлков и деревень. Найдено также два больших, явно столичных города: Мохенджо-Даро и Хараппа. Поражает регулярная прямоугольная планировка этих городов с широкими улицами. Ориентированные по сторонам света широкие улицы застроены двух- и трёхэтажными домами из обожжённого и сырцового кирпича. При этом явно видно, что дома были построены по типовым проектам из кирпича стандартного размера. Имелась городская сеть водоснабжения и канализации. Уже тогда почти каждое жилище было оборудовано туалетом и душем. И ещё обращает на себя внимание тот факт, что не встречаются большие здания типа дворцов и храмов. Это говорит об относительном равенстве между гражданами этих городов.

Самым ярким представителем Хараппской цивилизации является лучше всех сохранившийся и основательно раскопанный, самый большой из обнаруженных археологами, город Мохенджо-Даро, что на языке синдхи означает «могильный холм». Находится этот город на территории современного Пакистана, в провинции Синд.

Вот с этого «холма» и начнём наш разговор о тех неприятностях, которые принесли Мохенджо-Даро землетрясения, случившиеся в этом районе. Считается, что город был основан в XXVI, а внезапно закончил своё существование в XV веке до н. э. Место для его строительства было выбрано весьма удачно: среди плодородных равнин с естественным орошением. Но вот с геологической точки зрения это место – хуже не придумаешь. Здания надо было возводить на наносных грунтах, состоящих из ила, песка и глины. Эти наносные породы простирались на глубину, какую только можно вообразить. К тому же, при сильных разливах Инда это место могло затопляться. Опять же, периодически вдоль долины реки начинали медленно, но верно двигаться селевые потоки, уничтожавшие всё на своём пути. И наконец, в этих местах часто случались землетрясения, которые существенным образом меняли конфигурацию берегов, сложен-

ных из рыхлых пород. Вот так неудачно древние инженеры выбрали место для строительства города. Посмотрим, к чему это привело.



Раскопанные развалины Мохенджо-Даро

В развалинах Мохенджо-Даро можно чётко выделить две зоны застройки: искусственно возвышенную платформу для ответственных сооружений и жилые кварталы.

На возвышении стояли административные здания, небольшой храм, большой амбар, бани. В зависимости от рельефа местности высота искусственной платформы колеблется от 6 до 12 метров. Размер в плане 380 на 190 метров. При этом поверхность является строго горизонтальной. Сложена эта платформа была из сырцового кирпича на глиняном растворе.

Далее. Вся платформа была окружена мощной стеной с башнями, выполненными уже из обожжённого кирпича. Получалось, что сравнительно мягкая платформа из сырцового кирпича находилась как бы в обойме из жёстких стен, которые не давали ей расползаться. Ясно, что для сооружений, поставленных на эту платформу, она служила сейсмоизолятором.

Возникает непростой вопрос: а для чего вообще строилась эта цитадель, назовём её так, возвышенная и окружённая мощной стеной? Казалось, всё просто – для обороны от вооружённого врага. Но это не так. Основное предназначение цитадели – защищать жителей города от катастрофических разливов реки и наступления селевых потоков. Здесь, в цитадели, можно было временно укрыться. Кстати, число жителей города было порядка 40 тысяч человек.

Теперь отправимся в жилые кварталы города и познакомимся с тем, как строились дома.



Жилые кварталы. На переднем плане виден колодец.

Жилые дома в Мохенджо-Даро были главным образом двух- и трёхэтажные. Все они имели практически одинаковую планировку: глухая стена в сторону улицы с одним выходом и жилые помещения, спланированные вокруг внутреннего дворика. Как и во всей Хараппской цивилизации, здесь основным строительным материалом был сырцовый и обожжённый кирпич. Стены первого этажа были внушительными, толщиной до 70 сантиметров. Выкладывались они, как правило, из обожжённого кирпича на растворе, который находился тут же под ногами – на речном иле. При этом, в целях экономии кирпича,

прослойки ила делались довольно толстыми. Стены второго и третьего этажей возводились уже из сырцового кирпича. Иногда здесь применялся деревянный каркас, просто заполненный глиной. Перекрытия тоже были деревянными. Пол первого этажа чаще всего выкладывался из кирпича. Фундаменты устраивались в виде плиты под весь дом или ленточные, только под стены. Интересно, что и фундаментные плиты, и ленточные фундаменты домов выкладывались из сырцового кирпича.

А теперь дадим заключение, являлись ли эти жилые дома сейсмостойкими. Получается, что являлись. Смотрите: фундаменты у них мягкие, пластичные – из сырцового кирпича. Стены за счёт толстых прослоек ила между жёсткими кирпичами тоже обладают пластическими свойствами. В результате фундаменты и стены домов выполняют роль сейсмоизоляторов, они гасят сейсмические волны. К сожалению, в данном случае сейсмостойкость этих жилых домов для их сохранности во время землетрясения не играет никакой роли. Всё дело здесь в общей физико-геологической обстановке всего района. А она – хуже не бывает. Сказал бы я это по-русски в других терминах, но не буду.

За время существования города Мохенджо-Даро на него несколько раз обрушивались бедствия, имевшие самые печальные последствия. Известен случай, когда город целиком ушёл под воду. Это произошло из-за грязевых потоков, которые образовали на реке ниже города грязевую плотину. Уровень воды в реке поднялся – город был затоплен.

Несколько раз на город обрушивались сильные наводнения и грязевые лавины. Не помогали здесь ни мощные кирпичные стены, окружавшие весь город, ни каменная плотина двадцатиметровой толщины, устроенная выше по течению. Каждый раз город разрушался и засыпался речными наносами, а жители спасались бегством. Но упрям человек, и коротка у него память. Через пару десятков лет люди вновь возвращались и на этом же месте, примерно по тому же плану, строили новый город. А старые города один за другим медленно опускались в бездну земную...

Археологи пробурили на этом месте скважину глубиной более двадцати метров, но до конца культурного слоя так и не добрались. При этом по кернам они насчитали, что под ними находятся один над другим семь городов.

В конце концов в XV веке до н. э. Мохенджо-Даро был погребён под слоем ила и песка в результате сильнейшего землетрясения, случившегося в 140 километрах южнее его и до неузнаваемости изменившего долину Инда. Жители покинули город и больше сюда не вернулись. Но уже по другим причинам.

Вывод прост: надо правильно выбирать район застройки.

Древнее Двуречье: Ассирия и Вавилон

Мы отправляемся в низменные, а южнее – ближе к месту впадения Тигра и Евфрата в Персидский залив – вообще заболоченные равнины Месопотамии, где находился один из очагов возникновения человеческой цивилизации. Здесь уже с седьмого по четвёртое тысячелетие до н. э. шло разложение первобытно-общинного строя и начали возникать небольшие деспотические государства. Тогда же здесь начали строить первые ирригационные сооружения. В XXIV–XXI веках до н. э. ведущую роль здесь играло Шумеро-Аккадское царство, расположенное в центральных областях Месопотамии, но уже в начале второго тысячелетия до н. э. возникло ещё более могущественное Вавилонское царство. Примерно тогда же на севере Месопотамии образовалось воинственное Ассирийское государство.

В дальнейшем в этих местах шла бесконечная борьба между Вавилоном и Ассирией, пока их в середине VI века до н. э. не захватила Персия, которой в это время правила династия Ахеменидов (558-330 гг. до н. э.). В свою очередь персов в конце IV века до н. э. в упорной борьбе разгромил Александр Македонский, прозванный Великим.

После распада державы Александра Македонского Месопотамия вошла в состав Парфянского царства (250-226 гг.), а когда оно пришло в упадок, в Персии воцарилась династия Сасанидов (226-651 гг.).

Итак, перед нами временной промежуток в три с половиной тысячи лет и территория с множеством больших и малых государств, возникавших и распадавшихся в результате военных конфликтов. А у нас вполне мирная задача: познакомиться с антисейсмическими мероприятиями, которые применяли древние строители в этих сейсмоопасных районах. Естественно, с пользой для себя.

Так вот, задача эта вполне разрешима. Смотрите: в этой колыбели человеческой цивилизации, несмотря ни на что, возникли письменность и литература, математика и астрономия, естественные науки и искусство, и, что самое для нас главное – выработались строительные традиции и приёмы, которые всё время совершенствовались и передавались от поколения к поколению, от государства к государству.

При изобилии глины, правда, не всегда качественной, и в отсутствие хорошего дерева основным строительным материалом в Месопотамии являлся кирпич, сырцовый и обожжённый. В качестве связующего раствора применялись жидкая глина и асфальт. Сразу обращаю ваше внимание, что глина и асфальт, обладающие свойствами податливости и пластичности, использованные в достаточном объёме в качестве раствора, придают такие же свойства всей конструкции. На севере страны, в горных районах, добывались дерево и камень. И ещё раз повторю: в условиях высокой влажности Месопотамии широко использовались асфальт и битум как связующие водостойкие материалы.

И последнее. Среди всех конструктивных приёмов в строительном деле

Месопотамии, которые можно отнести к антисейсмическим мероприятиям, на первом месте стоит устройство искусственных платформ – как под отдельные сооружения, так и под целые города. Вот и давайте основное внимание в нашем дальнейшем путешествии по древним городам Двуречья уделим устройству этих уникальных платформ. Для чего же устраивались эти платформы? Ясно, что не от хорошей жизни выполнялись дополнительные дорогостоящие гигантские объёмы строительных работ. Всё дело в плохих грунтах Двуречья. Здесь рыхлые породы залегают на большую глубину, и для того, чтобы обеспечить хорошее однородное опирание сооружений на такие грунты, что особенно важно в сейсмически активных районах, устраивались эти платформы. Опять же, чтобы защитить здания от воды в случае наводнения, их ставили на платформы. И, наконец, в оборонительных целях по всему периметру платформ, как правило, устраивались могучие защитные стены. Вот мы и отправляемся в древнюю Месопотамию знакомиться с самыми разнообразными платформами. Попутно обратим внимание и ещё на что-нибудь интересное.

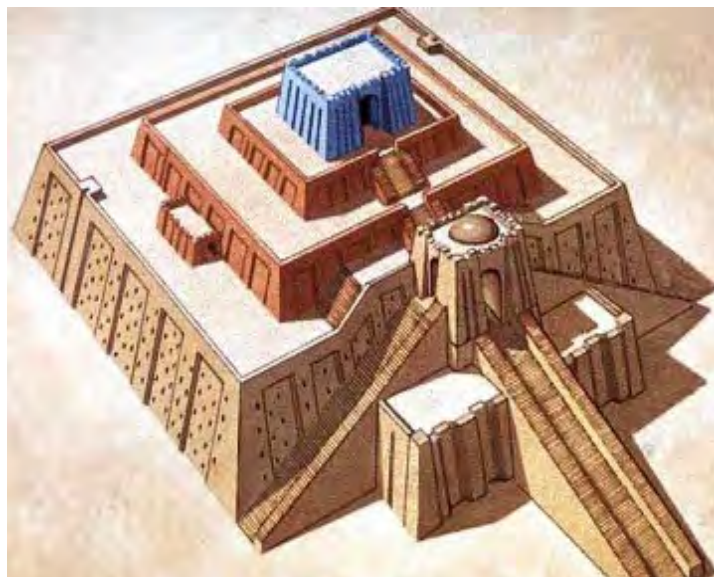
Начнём с небольшой платформы, которая была устроена как основание под храм примерно в 3000 году до н. э. в Телль-эль-Убейде. Размеры этой платформы-основания были 32 на 25 метров. Даже с современной точки зрения её конструкция была полным совершенством. Смотрите сами. Сначала под платформу был устроен фундамент из крупных каменных блоков. А уже выше каменного основания была выложена из обожжённого кирпича платформа под храм. Но между рядами кирпича были уложены циновки из камыша, пропитанные битумом. За счёт этой платформы картина сейсмического воздействия на храм в случае землетрясения существенно менялась. Сейсмическая волна, распространявшаяся в рыхлой грунтовой среде, ударяла в жёсткое каменное основание платформы и в значительной мере отражалась. Остатки сейсмической волны, проходившие через слоистую кирпично-битумную жёстко-пластическую среду платформы, достигнув храма, практически затухали. Вот это сейсмозащита! И всего каких-нибудь пять тысяч лет тому назад..

Теперь давайте познакомимся с более грандиозным сооружением. Мы отправимся в город Ур, столицу Шумеро-Аккадского царства, которое особенно процветало в XXII-XXI веках до н. э. Город был окружён мощной крепостной стеной из кирпича толщиной 25 метров. В северо-западной части города на искусственной платформе размещался царский дворец и храмовый комплекс, которые в свою очередь были окружены двойной оборонительной стеной.

Вот в этом храмовом комплексе и был построен знаменитый зиккурат Ур-Намму, руины которого, достигающие в высоту 20 метров, сохранились до наших дней (зиккурат – это культовая ступенчатая пирамида с храмом на верхней площадке). Нижний ярус зиккурата в виде усечённой пирамиды имеет размер в плане 46 на 60 метров и высоту 15 метров. Весь зиккурат был сложен из сырцового кирпича на битумном растворе с устройством облицовки толщиной в 2,5 метра из обожжённого кирпича. Облицовка не даёт рыхлой пластичной массе сырцового кирпича расплзаться. На площадке верхнего яруса возвышался храм бога луны Наннару.

Здесь мы имеем дело с другой конструкцией платформы под храм по срав-

нению с вышеописанной платформой из обожжённого кирпича. Эта платформа, сложенная из сырцового кирпича на битумном растворе, работает как гигантская мягкая подушка, смягчающая удары подземной стихии. К тому же, на границе двух сред – нижнего яруса зиккурата и грунтов основания – происходит частичное отражение сейсмических волн и их гашение тяжестью зиккурата.

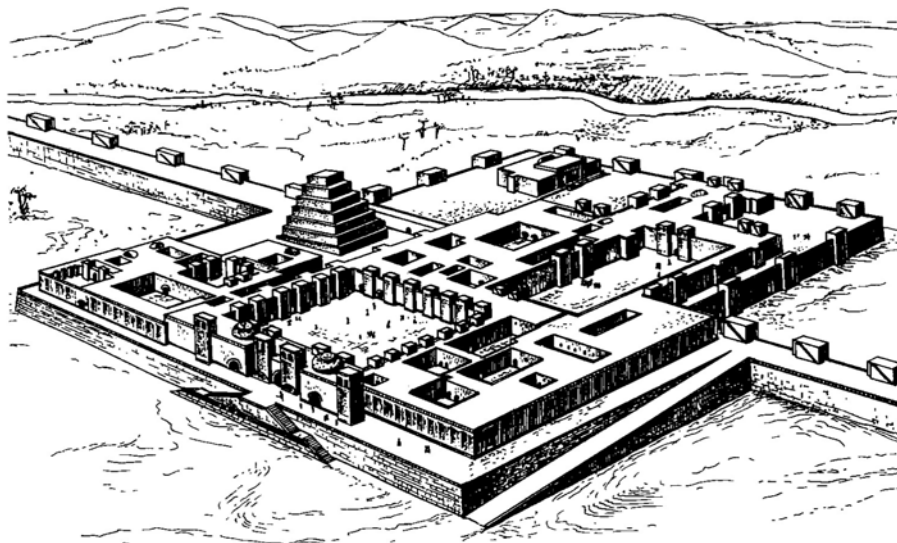


Реконструкция зиккурата в Уре и его современное состояние

Отправляемся дальше по реке времени. Наш путь – в Ассирию I тысячелетия до н. э., где мы познакомимся с ещё более гигантской платформой, чем основание зиккурата в Уре.

Ассирийский царь Саргон II решил вместо древней Ниневии построить новую столицу государства с шикарной резиденцией для себя. Новую столицу назвали Дур-Шаррукин, что означает «крепость истинного царя». Сегодня это Хорсабад в Иране. Город был построен в удивительно короткий срок: с 712 по 707 год до н. э. В плане он представлял собой прямоугольник с размерами 1800 на 1650 метров. Город со всех сторон был окружён оборонительными стенами толщиной 23 метра и такой же высоты. Соотношение между высотой и толщи-

ной стен говорит об их устойчивости против землетрясений. К этому можно добавить, что стену как контрфорсы подпирали 167 башен, расставленных через каждые 20 метров. Нижняя часть стен на высоту более метра была сложена из камня. Это вам сразу и прочный фундамент стены, и жёсткий экран, отражающий сейсмические волны. Хотя в последнем особой потребности не было. Сами массивные стены из сырцового кирпича на битумном растворе были прекрасными гасителями сейсмических волн. К тому же вся кладка стен армировалась деревянными лежнями.

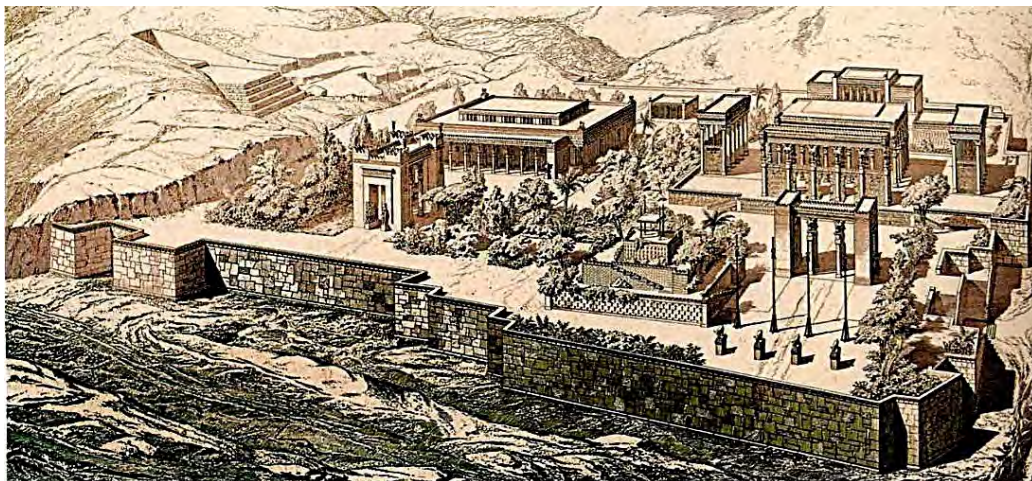


Реконструкция платформы с дворцом, храмами и домами придворных

Но самое для нас интересное в Дур-Шаррукине – это располагавшийся на северо-западной границе города отдельный укреплённый район, где находились дворец царя Саргона II, зиккурат, храмы и дома придворных. Все эти сооружения располагались на специально устроенной искусственной платформе общей площадью в 10 гектаров и высотой в 14 метров. Очертания платформы хорошо видны на рисунке. Ради этой платформы мы сюда, собственно, и забрались.

Вся платформа была выложена из сырцового кирпича на растворе из жидкой глины. А вот по всему её периметру была устроена каменная стена, выложенная из тщательно пригнанных огромных известковых квадратов длиной до 3 метров и весом до 14 тонн. Чтобы глиняная масса не расплзалась, она была как бы взята в обойму. При этом в сплошной массе глины платформы были устроены дренажные каналы и вентиляционные отверстия из обожжённого кирпича. Огромная масса сухой пластичной глины, заключённая в жёсткую каменную оболочку, служила хорошим сейсмоизолятором для всех сооружений дворцового комплекса. И ещё обращаю ваше внимание на продуманность всех элементов конструкций. После возведения платформы и создания однородного основания под сооружения древний строитель не ставил стены этих сооружений непосред-

ственно на материал платформы. Он предварительно укладывал по всему периметру стен каменные плиты, а уже на них ставил кирпичные стены. В результате здание как бы плавало в упругопластической массе платформы.



Дворцовый комплекс царя Дария

Дур-Шаррукин недолго был столицей Ассирии. После смерти его основателя, царя Саргона II, недостроенный город быстро начал пустеть, так как наследный царь Синаххериб пожелал вернуться в древнюю столицу Ниневию. Нежилой город быстро оказался погребённым под слоем грунта, нанесённого ветром, благодаря чему он хорошо сохранился до наших дней.

Продолжая изучать типы защитных платформ, давайте забежим по времени немного вперёд и познакомимся с платформой совсем противоположных свойств – жёсткой.

Перед нами дворцовый комплекс персидского царя из династии Ахеменидов Дария (521–486 гг. до н. э.) в его новой столице Персеполе. Сооружения этого дворцового комплекса стоят на жёсткой каменной платформе, для возведения которой строители частично использовали естественную скалистую площадку, дополнив её со стороны долины кладкой из больших прямоугольных блоков крепкого известняка. Блоки эти уложены насухо, без раствора, и соединены между собой металлическими скобами. Платформа имеет гигантские размеры: 450 на 300 метров в плане и до 18 метров высотой. По краю террасы была возведена стена из сырцового кирпича толщиной до 5 метров. Вот на этой жёсткой платформе и были построены все дворцовые сооружения.

Эффект сейсмозащиты этой жёсткой платформы несколько другой, чем вышеописанной – лёгкой и мягкой. Прежде всего, более тяжёлая, массивная, жёсткая платформа лучше отражает сейсмические волны, эффект сглаживания, выравнивания сейсмических волн у неё тоже выше, а вот такого эффекта гашения и амортизации, как мягкая платформа, она не даёт.

Если бы мы захотели эту идею сейсмозащиты древних строителей довести до абсолюта сегодня, то нам пришлось бы изготовить космической тяжести

жёсткую плиту размером в плане, соизмеримым с длиной сейсмической волны. Это от 100 до 1500 метров. Вот на такую плиту мы могли бы совершенно безбоязненно ставить свои здания, так как любая сейсмическая волна будет отражена и сплющена такой платформой. Разумеется, далека от таких абсолютов описанная выше каменная платформа царя Дария, но достаточно высокий эффект от неё имеется. В этом можно убедиться, рассматривая то, что на ней сохранилось до наших дней.



Развалины дворцового комплекса царя Дария и колонны парадного зала

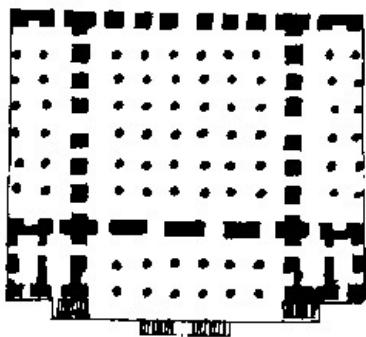
А сохранились каменные фрагменты дворцовых стен и отдельно стоящие тонкие, высотой до 20 метров, колонны, оставшиеся от парадных залов.

Дело в том, что оконные и дверные проёмы зданий выполнялись из каменных элементов, украшенных барельефами. Устанавливались каменные элементы и в местах пересечения стен. А дальше выкладывались стены из сырцового кирпича, армированные деревом. Получалось, что система каменных элементов служила опорой, скелетом для мягких сырцовых стен. Здания с такими разнородными стенами хорошо переносят землетрясения. Мы ещё будем об этом говорить.

Сами каменные конструкции устанавливались с соблюдением целого комплекса антисейсмических мероприятий. Это прежде всего точная пригонка и притёска каменных блоков и соединение их без раствора металлическими скобами. Очень любопытен для нас такой конструктивный приём: под колонны, пилоны, дверные рамы, устанавливаемые на специальные каменные плиты, подсыпали слой гравия, что обеспечивало равномерное распределение давления под этими конструкциями.

Со временем недолговечные сырцовые стены разрушились, развеялись, и на месте остались стоять только каменные фрагменты, которые мы и изучаем.

А теперь займёмся этими удивительными тонкими колоннами, сохранившимися до наших дней. Эти колонны – остатки просторных и высоких царских залов для приёмов, так называемых ападан. Познакомимся с конструкцией самого роскошного приёмного зала – ападаны Ксеркса. Зал в плане представлял из себя квадрат со стороной 62,5 метра. Высота каменных колонн в боковых портиках 19,5 метра при диаметре 1,58 метра. Колонны внутри зала имели высоту 18 метров. Всё это сооружение стояло на дополнительно сооружённой каменной платформе высотой 4 метра. Это практически самые высокие и стройные каменные колонны в мире. Чрезвычайно велик для того времени пролёт между колоннами – он равен 8,75 метра. Обращаю ваше внимание, что ранее таких просторных и высоких залов не существовало.



План приёмного зала дворца Ксеркса

Конструкция этого зала была следующей. Стены, как и положено, выложены из сырцового кирпича, армированного деревом и усиленного каменными сердечниками. Перекрытие лёгкое – деревянное. Балки перекрытия, уложенные в продольном и поперечном направлениях, опираются на колонны и стены. Сверху по ним устроен деревянный настил, который связывает всё перекрытие и массивные стены в единую замкнутую систему. Для теплоизоляции настил сверху обмазан глиной. Тонкие колонны, как им и положено, несут

только вертикальную нагрузку, а стены в случае землетрясения воспринимают и гасят горизонтальные сейсмические нагрузки от перекрытия. О высоком мастерстве древних строителей говорит уже то, что из семидесяти двух стройных колонн ападаны Ксеркса до нашего времени сохранилось двенадцать. Дерево,

разумеется сгнило, кирпич-сырец развеялся по ветру, а уцелевшие колонны так и стоят одиноко...

Сразу возникает вопрос: почему они стоят и не падают во время землетрясения, если ничто их не поддерживает? Так вот. Скальное грунтовое основание и жёсткая каменная платформа отражают низкочастотные сейсмические волны и пропускают только высокочастотные волны, которые и достигают оснований колонн. Но сами колонны гибкие и имеют низкочастотные собственные колебания, и высокочастотные от землетрясений колебания основания колонн не могут их раскачать. Вот такой эффект гибких колонн.



Пирамидообразная гробница царя Кира

Ещё один любопытный пример из истории архитектуры ахеменидского периода. Познакомимся с гробницей царя Кира, построенной в VI веке до н. э. и сохранившейся до наших дней. На высокую ступенчатую платформу-постамент из шести ступеней поставлена седьмая – небольшая, прямоугольная в плане погребальная камера с двускатной крышей. Все элементы этой усыпальницы сложены из крупных квадратов известняка. Пирамидальной формы постамент обеспечил этой гробнице прочность, устойчивость и долговечность против всех землетрясений в течение более чем двадцати пяти столетий. Если мы проверим наши принципы сейсмостойкости на гробнице царя Кира, то окажется, что все они соблюдены. Симметрия, низкое расположение центра тяжести, разумные размеры (общая высота не превышает 11 метров), замкнутый контур каждой ступени, укладка массивных каменных блоков внахлёт с взаимным соединением металлическими скрепами – разве что не предусмотрено облегчение веса. Но, как я уже говорил, иногда огромный вес постройки играет положительную роль для обеспечения её сейсмостойкости. Вообще пирамидаль-

ная форма сооружения естественным образом обеспечивает ему устойчивость при землетрясениях.

А теперь давайте вернёмся по реке времени немного назад и побываем в самом центре Месопотамии – в знаменитом Вавилоне. В этом месте реки Тигр и Евфрат максимально приближаются друг к другу.

Рассмотрим строительные приёмы, применявшиеся в наиболее изученном Нововавилонском царстве, основанном царём Навуходоносором II в 605 году до н. э. Этому предшествовали захват и полное разрушение с затоплением всей территории города в 689 году до н. э. ассирийским царём Синаххерибом. Его же сын, царь Асархаддон, приказал полностью восстановить город по единому плану. Уже при вавилонском царе Навуходоносоре II город продолжали строить, украшать и укреплять.

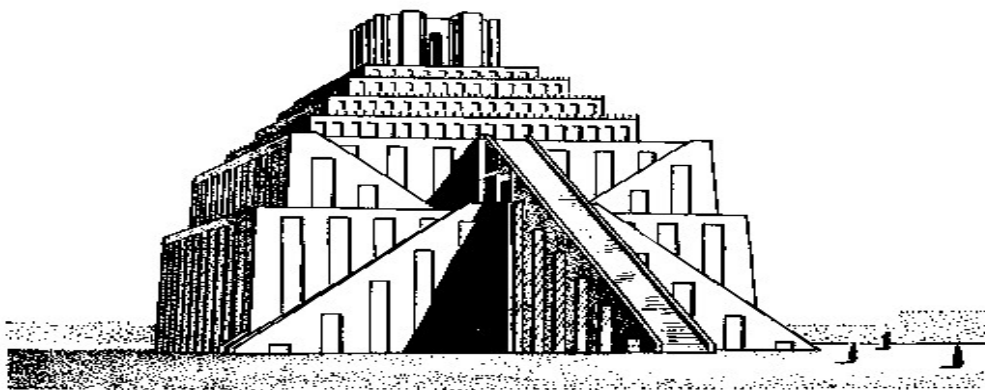


Общий вид Вавилона и его двойные стены с воротами Иштар

Прежде всего привлекают внимание неприступные оборонительные стены Вавилона, построенные при Навуходоносоре II, который превратил город в неприступную крепость. Стены были сложены, как и принято было тогда, из

сырцового кирпича с облицовкой из обожжённого кирпича на растворе из асфальта. Внешняя стена имела высоту 8 метров, толщину около 4 метров. Внутренняя стена была высотой от 11 до 14 метров и толщиной примерно 6,5 метра. Геометрическое соотношение высоты стен и их толщины примерно 2:1, поддержка стен башнями-контрфорсами и учёт пластических свойств их материала обеспечивали стенам высокую сейсмостойкость. И, конечно, мы должны обратить наше просвещённое внимание на легендарную библейскую Вавилонскую башню, которая, по преданию, существовала именно здесь. Это зиккурат Этеменанки, что значит по-шумерски «божий дом, связывающий небо и землю». Разумеется, при разрушении Вавилона в 689 году до н. э. этот зиккурат был уничтожен. Ассирийский царь Асархаддон восстановил башню, а персы, захватив Вавилон, опять начали её разрушать. Александр Македонский в свою очередь решил восстановить зиккурат и для этого приказал снести его остатки до основания. Начать же строить заново он не успел. В результате никаких сведений о реальном существовании Вавилонской башни, кроме описаний античных авторов, до нас не дошло.

На основании этих данных следует, что нижний ярус зиккурата был квадратным в плане с размерами 90 на 90 метров и имел в высоту 33 метра. Ядро этого яруса (60 на 60 метров) было выполнено из сырцового кирпича. Вокруг ядра была устроена облицовка из обожжённого кирпича толщиной в 15 метров. Для большей устойчивости стены облицовки были немного наклонены к центру и имели выступающие контрфорсы. Этот нижний гигантский ярус служил основанием для последующих, значительно меньших, шести ярусов. Второй ярус был высотой 18 метров, четыре яруса по 6 метров. Конструкция этих ярусов была такой же, как и первого: мягкий сердечник и более жёсткая облицовка. Седьмой же ярус, святилище бога Мардука, имел высоту 18 метров, был выполнен целиком из обожжённого кирпича и облицован синими изразцами. Общая высота зиккурата была около 90 метров.



Так могла выглядеть Вавилонская башня

С точки зрения сейсмостойкости совершенно правильная конструкторская идея была заложена в этой Вавилонской башне. Во-первых, она геометрически

гармонична: одинаковые высота и ширина и при этом пирамидальная конструкция обеспечивают устойчивость во время землетрясений. Во-вторых, в пластической массе сырцового кирпича, составляющего большую часть объёма зиккурата, гасятся любые сейсмические волны, и храм бога Мардука надёжно сейсмоизолирован. Мне представляется, что из всей этой легенды о Вавилонской башне самое достоверное – то, что её строили-строили, а она возьми и рухни от собственной тяжести. Действительно, трудно вообразить, чтобы пластическую массу, состоящую из сырцового кирпича с битумом, можно было укладывать всё выше и выше до бесконечности. Наступит критический момент, когда эта масса разопрёт облицовку и башня развалится. Вот это скорее всего и случилось с Вавилонской башней.



Каменный мост через Евфрат (реконструкция)

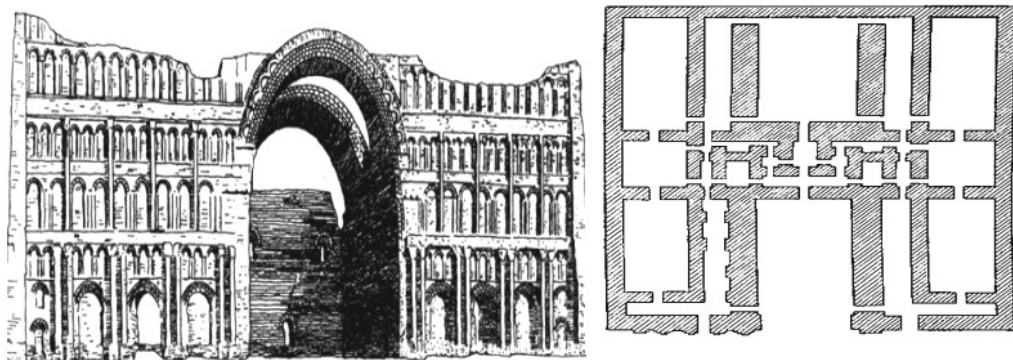
А теперь давайте познакомимся с другим чудом строительной техники в Вавилоне. Это мост через реку Евфрат, выполненный из кирпича и камня. Из крупных каменных квадратов, соединённых металлическими скрепами, сложены массивные опоры моста, а из обожжённых кирпичей клиновидной формы устроены цилиндрические своды, перекрывающие пролёты между опорами моста. Кстати, такая форма кирпичей хорошо предохраняла своды от рассыпания при землетрясениях.

Дальше пространство между цилиндрическими сводами заполнялось обожжённым кирпичом на битумном растворе. Настил моста был выполнен из каменных плит или обожжённого кирпича.

На этом мы можем покинуть Вавилон, но оставлять Месопотамию ещё рано. Дело в том, что именно здесь из-за нехватки хорошего строительного дерева

начали применять и совершенствовать каменные и кирпичные арки и своды.

Вот и давайте рассмотрим один уникальный кирпичный свод. Мы прибыли в столицу Сасанидского государства (226-651 гг.) Ктесифон. Самый могущественный шахиншах этой династии Хосров I (531-579 гг.) решил построить здесь себе дворец невиданной красоты. Такой дворец был построен. И оказалось, что конструкция его настолько совершенна для своего времени, что он считается наивысшим достижением сводчатых сооружений сасанидского периода. Вот это для нас самое интересное, и этим мы сейчас займёмся.



Фасад и план здания дворца шахиншаха Хосрова I в Ктесифоне

Центральное здание дворца занимает площадь 105 на 117 метров. Оно показано на плане. Здание целиком выполнено из кирпича. Познакомимся с двумя уникальными сводами, перекрывавшими центральную часть дворца. Эти своды имеют пролёт почти 27 метров, высоту 37 и длину 45 метров. Аналога им в архитектуре древнего мира нет.

Первый свод, показанный на рисунке, открыт с фасадной стороны и перекрывает приёмный царский зал. У заднего торца этого свода имеется соединённая с ним вертикальная кирпичная стена. У второго, внутреннего свода стены имеются с обоих торцов. Размеры этих гигантских арочных сводов, построенных в VI веке, будут превзойдены самими иранцами только в XIV столетии. Удивительно, как зодчий взялся, а шах позволил возводить такие своды. Опыта строительства сводов таких фантастических размеров тогда ещё не было. Для нас конструкция сводов над залами дворца шахиншаха Хосрова интересна не только своими размерами, но и теми строительными приёмами, что здесь применялись. Сразу возникает вопрос: случайно ли то, что первый свод частично сохранился, а второй полностью рухнул? Попробуем в этом разобраться.

Приёмный зал, перекрытый гигантским арочным сводом и открытый с фасадной стороны, являлся архитектурным центром всего дворца. Второй, внутренний зал, перекрытый точно таким же сводом и расположенный сзади по той же самой оси симметрии дворца, что и первый, был закрыт стенами с обеих сторон. Оба свода конструктивно не были связаны между собой, что, разумеется, совершенно правильно с точки зрения сейсмостойкости самих сводов и всего

сооружения. Главная проблема всего сооружения была – и это знали зодчие древности – в том, чтобы воспринять на стены распоры от двух тяжелейших кирпичных сводов. Более того, они понимали, что такие своды делаются впервые, да ещё в сейсмоопасном районе, поэтому необходимо было дать солидный запас прочности. Это и было блестяще осуществлено. За свои ошибки зодчие тогда расплачивались головами.

Стены были сделаны массивными. Толщина в месте плавного перехода от свода к вертикальной части стены была 4 метра, а в самом низу, у фундамента – 7 метров. Этого древним строителям показалось недостаточно. Тогда боковые помещения здания тоже были перекрыты меньшими сводами и куполами, поддерживавшими стены центральных сводов. Правда, как показало время, эти дополнительные мероприятия делать было не обязательно. Эти боковые конструкции, будучи жёсткими, давно рухнули, а первый центральный свод, опираясь только на свои массивные стены, продолжает стоять до сих пор. И опять особенно удивляться этому не приходится, потому как всё было продумано. Смотрите: арочный свод был устроен переменной толщины: в замке 1 метр, у пят свода – почти 2 метра. Это значительно уменьшает распор арки.

А теперь об очертании арки. Изучаемый нами свод не является круглым, цилиндрическим. Он возвышенный, его конфигурацию можно описать из трёх центров вращения. Так вот, более возвышенная форма свода ещё уменьшила распор от него и сделала его более устойчивым при землетрясениях.

И последнее о конструкции этих замечательных сводов. Выше был задан вопрос, почему первый свод уцелел, а второй рухнул. Скорее всего, тут дело в следующем: сохранившийся первый свод был более гибким, так как передней стены у него нет, а задняя стоит, отслоившись. Второй же свод был ужесточён массивными торцевыми стенами. Во время землетрясения они, взаимодействуя, дуг друга и разрушили.

Думаю, что для нас достаточно библейских равнин Месопотамии с их зиккуратами и платформами. Отправимся дальше – в долину Нила, к третьей великой речной цивилизации.

Египетские пирамиды и храмы



*Самая древняя ступенчатая пирамида фараона Джосера,
построена около 2800 г. до н. э.*

Вот перед нами ещё одна древнейшая цивилизация Востока – Египет. Эта страна, протяжённостью более 1000 км, расположена вдоль долины реки Нил и с двух сторон ограничена горами Аравийской и Ливийской пустынь. Уже с древних времён жизнь обитателей этой долины была связана с циклами разлива и спада воды в Ниле. В жаркой и сухой долине отсутствовала древесина, пригодная для строительства, но зато в окружающих горах можно было добывать самый разнообразный камень – известняк, песчаник, гранит и даже базальт, который использовался в монументальном строительстве. А для жилого строительства было достаточно тростника и глины, из которой делали сырцовый кирпич.

История Древнего Египта делится на следующие периоды: Раннее царство (3000–2800 гг. до н. э.); Древнее царство (2800–2250 гг. до н. э.); Среднее царство (2050–1700 гг. до н. э.); Новое царство (1580–1070 гг. до н. э.), а дальше шли поздний и эллинистический периоды. Столицей и религиозным центром государства был хорошо укреплённый город Мемфис.

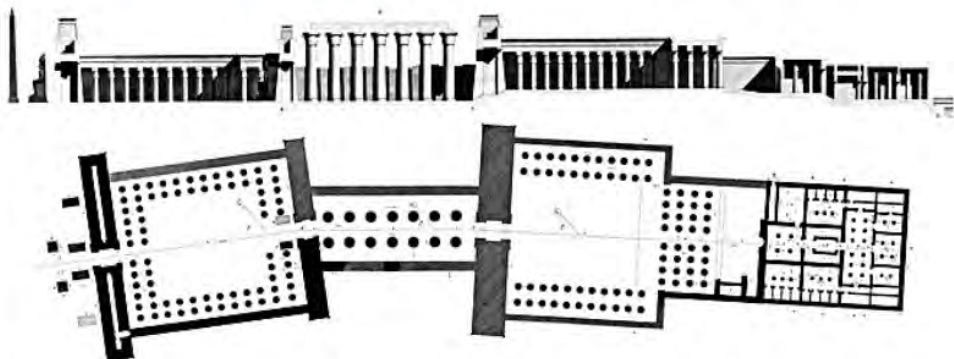
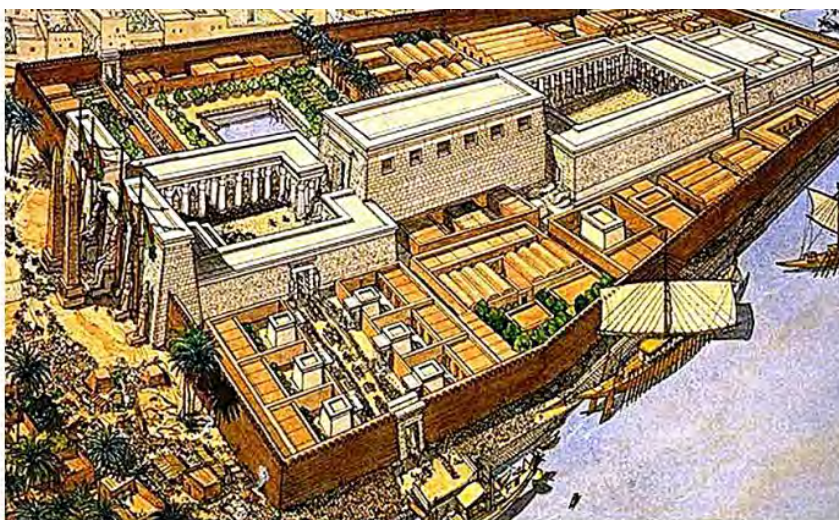
Не будем даже пытаться познакомиться с великим множеством монументальных построек Древнего Египта и оценить их сейсмостойкость, а выберем два, что называется, характерных объекта и рассмотрим их конструкцию. Это даст нам возможность получить представление об особенностях строительной техники египтян. Первый объект – это, разумеется, египетские пирамиды. Второй – это храмы в Карнаке и Луксоре, оба посвящённые общеегипетскому богу Амону-Ра и построенные во времена Нового царства.

Собственно, о высокой сейсмостойкости египетских пирамид мы уже говорили, когда в начале книги рассматривали конструкцию пирамиды Хеопса – первого из Чудес света. У этой пирамиды прекрасное скальное основание,

идеальная геометрическая форма, высокое затухание сейсмических волн в теле пирамиды за счёт подвижки между её каменными блоками и чудовищная, «космическая» тяжесть. Всё это обеспечило ей прекрасную сейсмостойкость на несколько тысяч лет.

Это относится и к другим пирамидам Древнего царства. Обратите только внимание на самую первую из известных пирамид. Это пятиступенчатая пирамида фараона Джосера, задуманная и сооружённая знаменитым «первым после царя, великим жрецом» Имхотепом около 2800 года до н. э. Её высота 60 метров, а размеры в плане 109 на 121 метр. Эта пирамида отличается от пирамиды Хеопса своей ступенчатостью и ещё большей распластанностью, а следовательно, и большей устойчивостью откосов от обрушения во время землетрясений.

А теперь познакомимся с точки зрения сейсмостойкости с конструкцией двух главных храмовых комплексов Нового царства – Карнакского и Луксорского. Эти монументальные храмы дают полное представление об архитектуре и методах строительства того времени.



Реконструкция общего вида храмового комплекса в Луксоре, его разрез и план.

Храмы расположены на правом берегу Нила, на территории бывших древних Фив. Теперь они находятся вблизи современных поселений Карнак и Луксор. Расстояние между ними около двух километров, и когда-то они были соединены так называемой «аллеей сфинксов». Оба храма посвящены египетской троице – верховному богу Амону-Ра, его жене Мут и их сыну Хонсу. Чтобы не повторяться, дальше я буду рассказывать в основном о Луксорском храме. Его планировка более компактна и наглядна, хотя примеры конструкций буду брать из обоих храмов.

Гигантский Луксорский храмовый комплекс (его длина 190 метров) в основных своих частях был построен при энергичном фараоне Аменхотепе III выдающимся архитектором и скульптором с таким же именем Аменхотеп во второй половине XV века до н. э. из песчаника. Предназначением храма было прославление этого самого фараона как сына бога Амона-Ра. В одном из дворов на стенах имелись барельефы, рассказывающие о браке бога Амона-Ра с матерью Аменхотепа III и его рождении. Отсюда и требование монументальности и вечности всего храма.



Пилоны перед входом в комплекс Луксорского храма

Теперь немного об объёмно-пространственной композиции храма, связанной с теми ритуальными действиями, что в нём проходили. Такая планировка была обязательной для всех храмов Нового царства (см. план и разрез выше).

В Луксорском храме у входа между пилонами вас встречают гигантские скульптуры сидящего фараона Рамсеса II. Проходя через огромный портал, вы попадаете в обширный двор имени Рамсеса II, окружённый колоннадой. Уже сюда вход открыт не всем желающим. Потрясённые, вы проходите через могучую колоннаду из четырнадцати двадцатиметровых колонн в форме раскрывшегося цветка лотоса и вступаете в огромный, 45 на 51 метр, двор имени фараона Аменхотепа III, окружённый с трёх сторон колоннадой из шестидеяти четырёх

колонн в форме нераспустившегося лотоса. С четвёртой стороны вас ждёт самое интересное для нас – вестибюль перед святилищем, куда вход посторонним строго воспрещён. Интересен нам этот вестибюль с восемью колоннами, расположенными в четыре ряда, конструкцией перекрытия из каменных плит.

В данном случае это вестибюль, а в Карнакском храме это – гипостильный зал с верхним освещением. Как вы видите на плане Луксорского храма, между входными пилонами и святилищем находятся два открытых двора. Чаще всего в небольших храмах Нового царства это один двор. В Карнакском же храме таких дворов несколько.

Вот теперь мы готовы говорить о конструкции этих храмов с позиции их сейсмостойкости. Начнём с грунтового основания под этими храмами. Сразу скажу, что грунт – плохой. Это наносные аллювиальные отложения с большим содержанием в их составе ила и торфа. Пока такой грунт находится в сухом состоянии, он обладает достаточной несущей способностью. Но как только в него попадает вода, картина резко меняется. Грунт плавёт, разжижается, и несущая способность его резко падает. Стоящие на таком основании сооружения с плоскими фундаментами начинают неравномерно погружаться в него. Сооружения с хорошими фундаментами в конце концов так же начинают погружаться в такое грунтовое основание, но, может быть, не так быстро.

Предвижу ваш вопрос: а что такое хороший фундамент? Хороший фундамент в данном случае начинается с того, что устраивается хорошая грунтовая подготовка: на возможную глубину удаляется коренной плохой грунт и заменяется хорошим – песком, щебнем, гравием. А далее под всё сооружение устраивается сплошная прочная платформа из крупных каменных блоков.

Небольшое примечание. Луксорский храмовый комплекс функционировал с XV века до н. э. до V века нашей эры, то есть две тысячи лет. За это время рельеф долины Нила значительно изменился. В частности, за счёт наносов грунта повысился уровень всей долины и уровень воды в реке. И теперь во время паводков вода может затопить основание храма, что уже случалось несколько раз. Больше того, соли, находящиеся в этой воде, разъедают, выщелачивают основания колонн, превращая камень в пыль. Колонны падают. За те почти полторы тысячи лет, что храм не эксплуатировался, он опустился в размягчённые грунты основания и его полностью погребли речные наносы. Храм вновь открыли в XIX столетии и тогда же начали его раскапывать.

Сразу хочу вас разочаровать: у этих древних храмовых комплексов не только плохие грунтовые основания, но и сами фундаменты очень плохие. Сплошных каменных фундаментов под всё сооружение не устраивалось. Каждый элемент храма – пилон, стена, колонна, обелиск – имел свой отдельный фундамент. Так, под колонну рыли котлован приблизительно трёхметровой глубины и примерно той же площади, что и основание колонны. На дно этого котлована насыпали полметра сухого песка, а остальной объём заполняли мелкими каменными блоками. И только в самом конце укладывали пару крупных круглых каменных блоков, на которые и устанавливалась сверттяжёлая колонна. Примерно так же были устроены фундаменты под пилоны и стены. Неравномерная осадка колонн на таких слабых фундаментах вызывала сдвиги каменных



Составные колонны храма

балок перекрытия и, соответственно, лежащих на них тяжёлых каменных плит. Сооружения с такими, даже небольшими, деформациями были готовы рухнуть от любого сейсмического толчка.

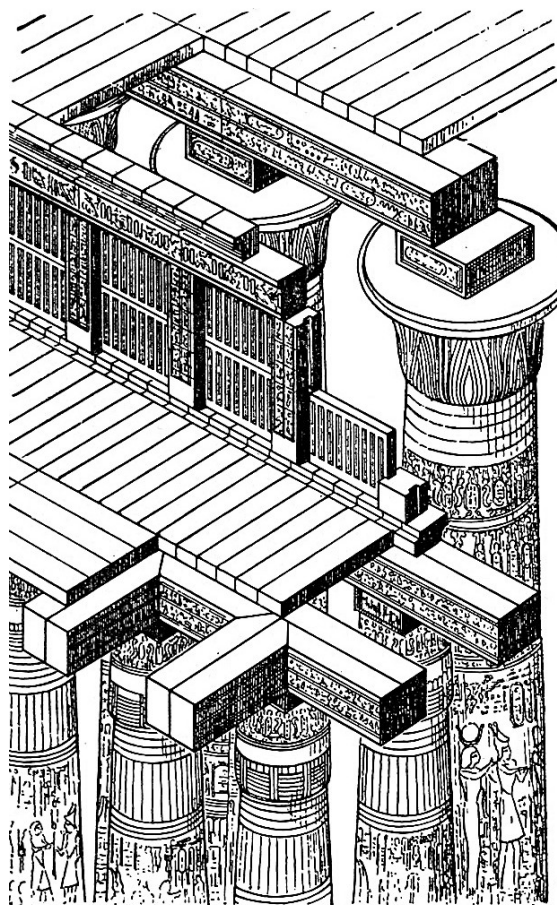
А теперь поговорим об огромных массивных колоннах этих храмов. Тут тоже не всё благополучно с точки зрения сейсмологии.

Прежде чем мы будем знакомиться с конструкцией составных колонн египетских храмов, я должен открыть вам страшную тайну. Её знали египетские жрецы, она определяла всю конструктивную схему египетских храмов.

Задумывались ли вы, почему в своих храмах египтяне так часто ставят так много дорогостоящих колонн? А вот почему. От этих сооружений требуется быть монументальными и вечными. А следовательно, они целиком должны быть выполнены из камня. Арок и куполов для перекрытий египтяне делать не умели

или не хотели. Остаётся балочно-стоечная система, когда несущие балки и плиты по ним делаются из хрупкого и плохо работающего на изгиб камня. Отсюда тайна в переводе звучит примерно так: «Расстояние между осями колонн и, соответственно, длина каменных балок перекрытия не должны превышать 5 метров». А лучше для надёжности эти балки делать ещё короче. Вот и вынуждены были египтяне так часто лепить свои колонны. Иногда, следуя этому правилу, они доходили до полного абсурда. Так, в небольшом храме Тутмоса III на площадке размером 38 на 28 меров было размещено девяносто две колонны с расстоянием между ними 2 метра.

Поговорим о составных колоннах храмов Нового царства. Во времена пирамиды Джосера тоже применялись составные колонны, но из мелкоштучного камня. Такие колонны были ненадёжны и рассыпались даже при небольших перекосах и осадках. Тогда во времена Среднего царства перешли на колонны, которые целиком вырубались из каменных массивов. Эти колонны были хороши со многих точек зрения, особенно с точки зрения сейсмостойкости, но уж очень многотрудны в изготовлении. Тогда в храмах Нового царства перешли на колонны из крупных каменных элементов.



*Балочно-стоечная конструкция
перекрытия храма*

Теперь каждый слой колонны состоял всего из двух полуцилиндров высотой от 0,5 до 1 метра. Вес каждого такого полуцилиндра колебался от 6 до 10 тонн. Для обеспечения равномерного нагружения материала таких колонн, что гарантировало бы их прочность и надёжность, необходима была точная пригонка горизонтальных и вертикальных поверхностей полуцилиндров. Дело это весьма сложное, и я думаю, что это далеко не всегда получалось.

Разумеется, слои полуцилиндров укладывали с перевязкой вертикальных швов, то есть, они совпадали через слой. В дополнение к гигантской вертикальной нагрузке, удерживающей от выпадения отдельные элементы колонны, полуцилиндры в верхней части соединялись специальными закладными деталями из дерева – «ласточкиными хвостами». Эти закладные детали, похоже, нужны были при монтаже колонн. Скорее всего такие жёсткие тяжёлые колонны, хоть и составленные из крупных блоков, сильных сотрясений выдержать не могли.

А это перед вами – балочно-стоечная система перекрытия гипостильного зала Карнакского храма. На капителях всех колон лежат крупные прямоугольные плиты, так называемые абаки. Назначение этих абак двойственное. С одной стороны, это чисто архитектурная деталь, благодаря которой зрителю внизу казалось, что потолок парит над капителями колон. В другом случае, когда капитель колонны маленькая (изображает нераспустившийся цветок лотоса), через абаку на колонну опираются балки перекрытия. С точки зрения сейсмостойкости промежуточная плита-абака – очень неудачный элемент конструкции. Она отрезает единый диск перекрытия от капителей колонн. На плиты-абаки укладывались для большей надёжности спаренные балки перекрытия. Как утверждают источники, некоторые из них достигали веса в 20 тонн. Для образования кровли по сверхмассивным балкам укладывались не менее массивные плиты перекрытия. Длина этих плит была от 3 до 5 метров и толщина от 35 сантиметров до 1,5 метра. Иногда эти плиты укладывались в два слоя.



*Колоннада вокруг одного из дворов
и часть перекрытия
над гипостильным залом*

В настоящее время эти храмы стоят в разрушенном состоянии. Что и когда их разрушило, толком не известно. Но землетрясения здесь явно оставили свои следы. Иначе и быть не могло. Из того, что мы увидели, ясно, что эти храмовые комплексы не были способны сопротивляться сейсмическим воздействиям. Действительно, эти чудовищные веса, сосредоточенные на высоте перекрытия, при землетрясениях должны были вызывать невообразимые инерционные силы, которые эти конструкции, выполненные из хрупкого материала, точно должны были разрушить. Да тут ещё жёсткие составные колонны и плохие, просадочные фундаменты и грунты. Короче говоря, египетские храмы времён Нового царства сейсмостойкими сооружениями не были.



Здесь я привожу два фото, на которых показаны несущие конструкции в обнажённом виде. Видны тяжёлые каменные балки перекрытия.

Ну, а теперь дальше – к тем самым мудрым и буйным грекам.

Сейсмостойкость сооружений эпохи древних греков

Крито-микенские времена

Начинается наше путешествие по архитектурным памятникам Эгейского мира с Трои, так как именно здесь ещё до II тысячелетия до н. э. наивысшего уровня развития достигла цивилизация. Затем первенство перешло к острову Крит, далее к Микенам, а уже потом лучшие памятники архитектуры начали сооружаться в материковой Греции. Вот в такой последовательности мы и будем дальше путешествовать.

О высокой сейсмичности районов Эгейского моря говорят те многочисленные острова, бухты и изломанные берега, которые образовались в результате активной тектонической деятельности, происходившей в этом районе. Древние греки и их предки хорошо знали об этом грозном явлении и с древнейших времён как могли защищали от него свои храмы и жилища.



Здесь откопали древнюю Трою

Начнём с легендарной Трои, расположенной на берегу Эгейского моря и воспетой в «Илиаде» Гомера. Археологические раскопки Шлимана и Дерпфельда показали, что Троянский холм содержит в себе по крайней мере девять Трой. Троя I возникла за две тысячи лет до Трои Гомера на рубеже четвёртого и третьего тысячелетий до н. э. Последующие Трои «этажами» наслаивались одна на



Тот самый сейсмостойкий Троянский конь

как трофей, он со своими коллегами ночью вылезет наружу, откроет ворота Трои и впустит в город уже вернувшихся с моря греков. Вместе они устроят всеобщую резню и захватят город. Так и вышло. Троя VII пала.

Руководствуясь нашим навязчивым желанием везде искать антисейсмические приёмы, давайте с этой позиции и взглянем на легендарного троянского коня. Да это же самое настоящее совершенное сейсмостойкое сооружение, которое соответствует всем принципам сейсмостойкого строительства! Размеры его умеренные – равен двух-трёхэтажному зданию. Конструкция симметричная. Дерево – лёгкий и упругий материал. Да ко всему прочему прекрасная сейсмоизоляция – колёса, на которых он стоит.

Сооружения самой Трои такой идеальной сейсмостойкостью уже не обладали: не те размеры и не тот материал. Для нашего путешествия выберем Трою VI, основанную греческими племенами и процветавшую уже в середине II тысячелетия до н. э. По величине она была значительно больше Трои VII. Это был богатый, хорошо укрепленный город с застройкой хорошего качества из крупных каменных квадров. Об этой Трое VI известно, что она погибла от сильного землетрясения в XIV веке до н. э. Не хватило тех антисейсмических мероприятий, что уже применялись тогда. Попробуем с ними познакомиться.

Как показали раскопки, Троя VI была внушительно укрепленным городом, с грандиозной системой обороны, состоящей, как и было положено тогда, из стен, башен и всего прочего. Всё это было сложено из крупных каменных квадров, хорошо притёсанных и плотно пригнанных друг к другу. Вес некоторых блоков достигал 2-3 тонн. Часть длинных камней укладывалась поперёк стен так называемым «тычком», что увеличивало монолитность и прочность кладки. Стены, башни и здания имели фундаменты, выложенные из особо крупных блоков и заглублённые до скалы. Для большей устойчивости стены и башни имели большой наружный уклон. Это всё приёмы разработанной уже тогда «сейсмостойкой кладки». И всё же город, построенный с такой тщательностью, рухнул, развалился при землетрясении. Его погубила чрезмерная жёсткость всех конструкций на скальном основании. Ничто не смягчило удар стихии, подобный взрыву. Город лежал в развалинах, не подлежащих восстановлению.



Стена из камня, кирпича и дерева

комбинированной из дерева, глины и камня. Такая более древняя стена была, пожалуй, более сейсмостойкой, чем стены, целиком состоящие из крупных каменных блоков. Посмотрите на рисунке, как всё продумано в этой древней стене. Основание из тщательно пригнанных с перевязкой швов каменных блоков. Далее идёт состоящий из связанных между собой брусьев плоский деревянный каркас, пустоты в котором заложены сырцовым кирпичом. Выше три слоя сырцового кирпича и опять обвязка из деревянного каркаса, и так далее. В условиях сухого климата такая стена может служить долго. Вот только от стенобитных орудий она не очень-то предохраняет...

После Трои предлагаю посетить Кносский дворец на острове Крит. Первый дворец-храм был здесь построен ещё в 2000-1700 годах до н. э. на месте находившегося здесь ранее неолитического городища. Но где-то около 1700 года до н. э. дворец был полностью разрушен сильным землетрясением. Тогда на этом же месте начали строить новый дворец, который и дошёл до нашего времени в разрушенном состоянии. Строительство этого дворца приходится на время (1700-1450 гг. до н. э.) наивысшего расцвета минойской цивилизации и особенно города Кносса.

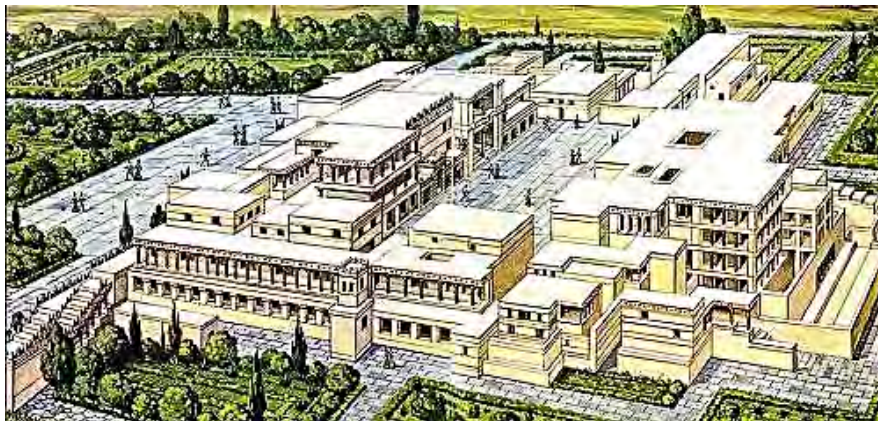
В период между 1650 и 1500 годами до н. э. в этом месте опять произошло мощное землетрясение, сопровождаемое волной цунами. Дворец сильно пострадал. Пожар в 1450 году до н. э. окончательно его уничтожил. На этом существование минойской культуры заканчивается. Остров захватывают греки-ахейцы. Они стараются приспособить остатки дворца для себя. Так, они строят тронный зал. Но и этот дворец гибнет от пожара. Больше на этом месте никто не пытался поселиться. Остатки дворца были погребены под слоями наносов.

Но миф о легендарном царе острова Крит Миносе и построенном им Лабиринте, где он держал своего сына Минотавра, сохранился. И, разумеется, никто в реальное существование этого дворца-лабиринта не верил. А вот критский собиратель древностей Минос Калокеринос этот лабиринт в 1878 году обнаружил. И уже к систематическим раскопкам дворца в 1900 году приступил английский археолог Артур Эванс.

И, если уж так сразу не покидать развалины Трои, то мы можем раскопать тут для себя нечто интересное. А именно то, что ещё более древние строители Трои всё-таки умели придавать своим стенам лёгкость, пластичность и упругость. Тогда – наверное, от бедности – применялась другая конструкция стен, и она-то была более сейсмостойкой, чем каменная.

В то время для придания стене свойств лёгкости, податливости и упругости её выполняли

Многочисленные археологические исследования развалин этого дворца показали, что он был многоэтажным, с сотнями разнообразных помещений, соединённых в разных уровнях лестницами и переходами. Всё это было сгруппировано вокруг большого парадного двора. Дальше наша задача скромная: мы будем знакомиться со строительной техникой древних критских мастеров.



Реконструкция общего вида Кносского дворца

На Крите, отличающемся высокой сейсмичностью, был накоплен большой опыт сейсмостойкого строительства. Там даже существовал специальный культ неугасимого огня, посвящённый богу Энносигею – колебателю земли. Горящий огонь постоянно напоминал жителям о грозящей им беде. Рассмотрим основные антисейсмические мероприятия, обнаруженные в Кносском дворце. Самым распространённым строительным материалом здесь являлся гипс, из которого изготовляли крупные каменные блоки. С точки зрения сейсмостойкого строительства гипс – плохой строительный материал, хрупкий и недостаточно прочный. Всё это прекрасно понимали строители Кносского дворца. Поэтому они стремились придать кладке стен хоть какую-то податливость и хоть как-то повысить их общую прочность. Для этого они прежде всего тщательно пригоняли каменные блоки друг к другу. Раствор не применялся, блоки соединялись деревянными штырями, что придавало кладке некоторую податливость.

Интересны наружные толстые стены, окружавшие дворец. Специальных оборонительных сооружений вокруг дворца не было, но внешние стены при случае могли выполнять эту роль. Кроме того, в чисто конструктивном смысле, внешние стены дворца, отличавшиеся повышенной прочностью, служили надёжной опорой всем внутренним конструкциям. Эти стены были трёхслойными: камни облицовки и внутреннее заполнение камнями с гипсовым раствором.

Но и у внутренних стен была своя специфика: они основательно армировались в вертикальном и горизонтальном направлениях деревянными брусками. Точно так же деревянными брусками стены связывались между собой и с перекрытием в единую замкнутую систему, что значительно повышало сейсмостойкость всего сооружения. Кстати, наличие большого количества дерева в каменной кладке снижало её вес. Теперь посмотрим на каменную кладку дворца.



Трёхслойные стены дворца и кладка из крупных камней

Обратите внимание на интересную деталь Кносского дворца. Видно, не от хорошей жизни, но несущие колонны здесь были выполнены из дерева. Не было, что ли, подходящего камня... Заметьте также, что эти колонны стоят утолщённым концом вверх. Это логично. Так легче опирать на них балки и плиты. Но вот долговечность они, ясно, не обеспечивали.

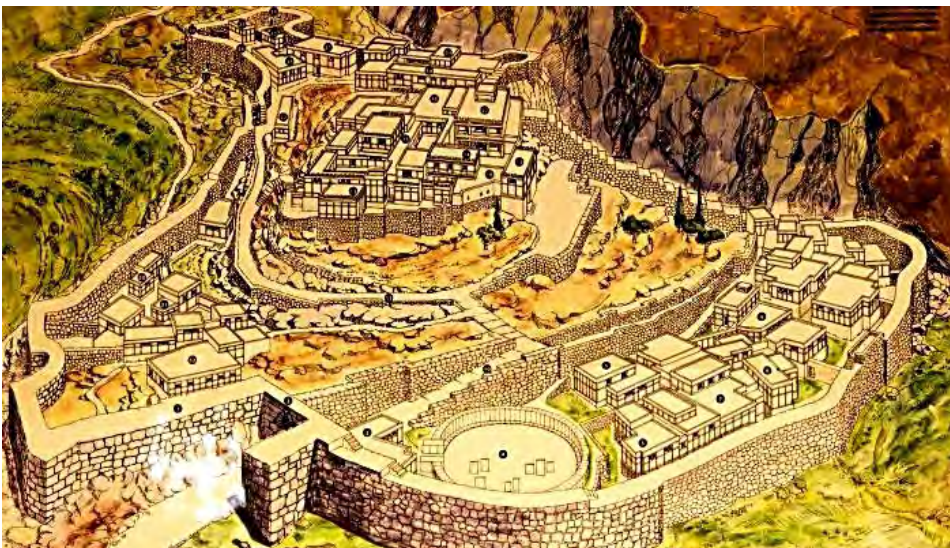


Несущие деревянные колонны

Ещё одна любопытная деталь. Здания в Кносском дворце были по крайней мере трёхэтажными. Это чуть ли не первые такие здания в те славные времена. Из-за сейсмичности района конструкция первых этажей этих зданий была особой. Во-первых, эти этажи были сильно заглублёнными. Во-вторых, первый этаж планировался из небольших помещений, так как продольных и поперечных стен здесь было

гораздо больше, чем в верхних этажах. Этим как бы создавалось надёжное основание под верхние этажи. Мера вполне разумная.

Другим интереснейшим архитектурным ансамблем того времени являются Микены, относящиеся уже к материковой Элладе. Микены находятся всего в девяноста километрах от современной столицы Греции Афин. Их наивысший расцвет приходится на XIV-XIII века до н. э. Греция того времени, раздробленная на мелкие враждующие племенные союзы, была чрезвычайно беспокойна. Это вызывало необходимость создавать хорошо укреплённые поселения. Таковыми были Микены. Недалеко от них находились Тиринф, Аргос и другие полисы.



Реконструкция укреплений Микен в XIII веке до н. э.



Пример каменной кладки и входные в Микены Львиные ворота

Оборонительные сооружения Микен были построены на горном отроге. С двух сторон их окружали недоступные обрывы, и только с остальных двух сторон, где скальный хребет плавно спускался в долину, были возведены неприступные стены.

Стены, сложенные из чудовищных каменных квадров, казались последующим поколениям сооружениями легендарных одноглазых великанов-циклопов, поэтому такую кладку стали называть циклопической. Огромные глыбы камня неизвестно как вырубали, поднимали к месту установки. И ещё непонятнее, как их тщательно подгоняли друг к другу. Эти блоки сцеплялись между собой за счёт их сложной конфигурации и огромного собственного веса. В результате образовывалась прочная кладка. В ответственных местах между блоками добавляли ещё деревянные штыри.

Но самая, пожалуй, большая достопримечательность Микен, сохранившаяся до нашего времени, это главные ворота микенских укреплений, которые называют Львиными, простоявшие больше тридцати столетий. Они сложены, при квадратном просвете ворот размером 3 на 3 метра, из четырёх гигантских блоков. Один составляет порог. Два других вертикально стоящих блока поддерживают четвёртый, перекрывающий отверстие прохода. Этот гигантский блок имеет длину 4,5 метра и весит 20 тонн. Конструкция ворот такова, что ставится задача разгрузить самый опасный верхний блок. Для этого каменная кладка над воротами выполнена по типу ложного свода постепенным надвигом блоков.



Разгрузочная система Львиных ворот

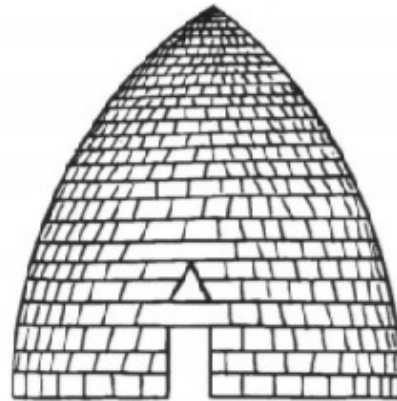
Получившееся над верхним блоком отверстие заложено треугольным камнем со скульптурными изображениями разъярённых львиц, защищающих колонну. Занимательно, что форма колонны такая же, как в Кносском дворце: расширяющийся конец наверху. Вот это и есть самая настоящая разгрузочная система. Её задача – снять нагрузку от вышележащих рядов камня на балку, перекрывающую проход. Больше того, эта балка имеет утолщение

в центре, где самый большой изгибающий момент. И совсем уж концы этой балки придавлены вышележащими слоями камня, что превращает её в статически неопределимую систему и ещё больше разгружает её середину. Ко всему прочему, очень квалифицированно были устроены фундаменты под оборонительные стены. Чтобы они не сползли по склону, в скальном основании было вырублено специальное ложе для крупных фундаментных плит.

А теперь самое интересное про строительную технику Микен. В «Нижнем городе» сохранились до нашего времени замечательные погребальные сооружения, так называемые купольные гробницы, очень интересные по своей конструкции. Для примера рассмотрим гробницу Атрея (XIV век до н. э.), легендарного правителя Микен, называемую «сокровищницей Атрея». Конструкция и форма этого мавзолея были доведены до совершенства. Многие древние гробницы из-за тех или иных просчётов давно рухнули, а гробница Атрея, обладая высокой сейсмостойкостью, стоит – правда, под землёй – почти тридцать пять столетий.

Основная часть гробницы, погребальная камера, имеет высоту 13,2 метра и круг диаметром 14,5 метра в плане. Кривая очертания купола начинается от пола и образуется постепенным напуском горизонтальных колец. Отёска внутренней поверхности купола по плавной кривой производилась уже после укладки всех блоков.

Самые крупные каменные блоки, как и положено, размещены в нижней части купола. С подъёмом вверх



Форма купола гробницы Атрея

каменные блоки делаются меньше и, соответственно, стенка купола – тоньше. Как видно на рисунке выше, профиль купола имеет стрельчатое очертание – как раз это придаёт ему повышенную устойчивость во время землетрясения.



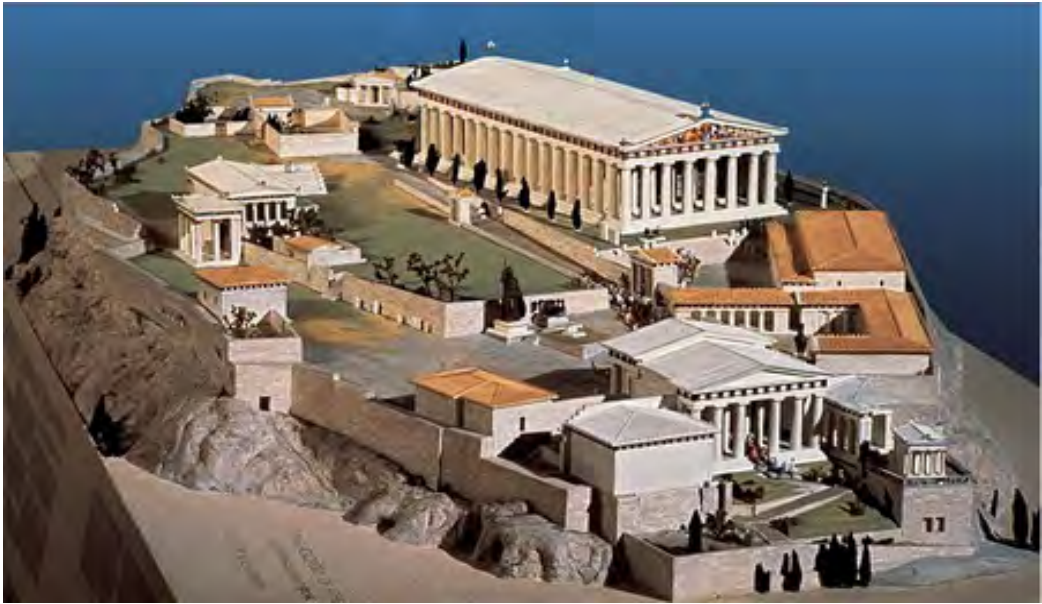
Курган над гробницей Атрея и вход в неё

Позволю себе ещё несколько замечаний по поводу конструкции этой уникальной гробницы. Купольная кривая начинается прямо от фундамента, следовательно, распор от купола передаётся непосредственно на фундамент и грунтовое основание. Но при этом имейте в виду, что вся гробница находится под землёй, и, следовательно, все кольца купола засыпаны грунтом, что, по-видимому, не только снижает распор от купола, но ещё и обжимает его.

Наверняка на повышение общей прочности этого купола повлиял ещё некий физико-химический фактор. Дело в том, что купол сложен из местного плотного и прочного кремнистого известняка. А каменные блоки из такого камня имеют свойство со временем срастаться в единый монолит за счёт роста кристаллов вдоль поверхности их контакта. Ну и, как правило, подземные сооружения оказываются более сейсмостойкими, чем стоящие на поверхности земли. Чем больше заглублено сооружение, тем с точки зрения сейсмостойкости для него лучше.

Мы познакомились с удивительным строительным искусством древних греков и с их так и не разгаданной циклопической кладкой. Теперь плывём дальше по реке времени.

Храмы афинского Акрополя

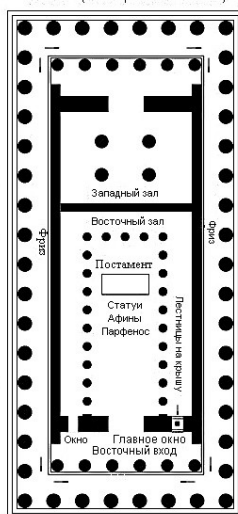
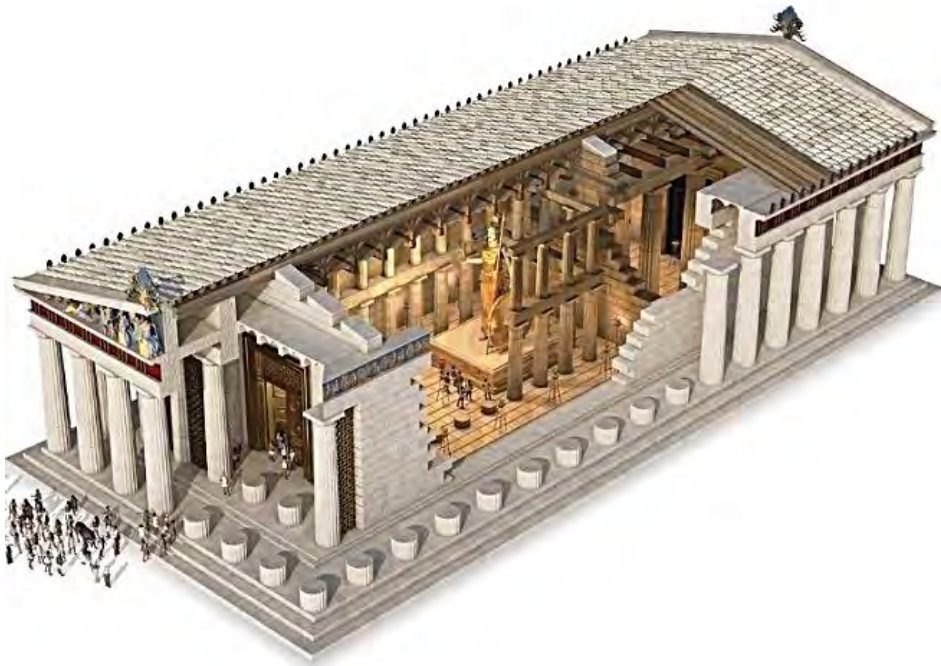


Реконструкция и современный вид Акрополя

Сразу перенесёмся в Афины V века до н. э., когда там правил выдающийся государственный деятель Перикл. К тому времени Греция уже восстановила свою обороноспособность после разорительных греко-персидских войн и могла начать решать свои внутренние проблемы. Вот тут-то Перикл в своих пламенных речах и стал призывать народ направить освободившиеся деньги на восстановление разрушенного Акрополя. Он предлагал создать там такие выдающиеся храмы, которые прославят Афины на вечные времена и сделают город поли-

тическим, религиозным и культурным центром всей Греции. А жителям Афин такое строительство даст работу и возможность проявить свои таланты.

Выполнить эту грандиозную задачу поручили знаменитому скульптору Фидию и блестящим архитекторам Калликрату, Иктину и Мнесиклу.



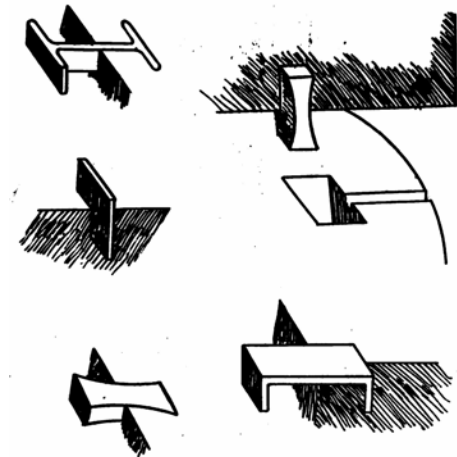
Модель Парфенона, его план и скульптура богини Афины высотой 12 метров работы скульптора Фидия

Акрополь Афин (верхний укрепленный город с храмами) располагается на плоскогорье с крутыми извилистыми склонами высотой 60-70 метров над уровнем города. Длина этой площадки порядка 300, а ширина 150 метров. Из Афин это скалистое плоскогорье выглядит очень внушительно.

Застройка Акрополя велась весьма быстрыми темпами и была закончена за сорок лет. Сразу после установки поблизости от входа на Акрополь огромной скульптуры Афины-воительницы работы Фидия приступили к строительству Парфенона, которое продолжалось с 447 по 438 год до н. э. Статуя Афины-Парфенос для храма была закончена Фидием к 437 году до н. э. Место для возведения Парфенона было предопределено. Его стали строить на месте уже стоявшего здесь ранее храма Гекатомпедона в южной части Акрополя. Новый храм посвящался прежде всего Афине-Деве, покровительнице не только Афин, но и всех эллинских государств. Храм был также памятником победы греков над персами. И здесь же предполагалось хранить казну Афинского морского союза.

Парфенон представляет собой дорический периптер (храм, окружённый одним рядом колонн) с элементами ионического ордера. Число внешних колонн 8 на 17. Площадка под колоннами, так называемый стилобат, имеет размер 69,5 метра в длину и 31 метр в ширину. Размеры внутреннего помещения в плане 21,7 на 59 метров. Высота колонн, как и в храме Зевса, 10,43 метра. Диаметр колонн в нижней части 1,905 метра (диаметр угловых колонн 1,948 метра). Здесь так подробно приведены размеры храма, чтобы подчеркнуть его пропорциональность.

С позиций наших интересов сразу начнём знакомиться с конструкцией Парфенона и, соответственно, проведём анализ этого сооружения с точки зрения его сейсмостойкости.



Бронзовые закладные детали для соединения блоков

Фундаменты Парфенона были заложены в ранее устроенную плотно утрамбованную грунтовую насыпь, поддерживаемую гигантской подпорной стеной. Этим была обеспечена однородность грунтового основания. Обращаю ваше внимание, что храм стоит не на голой скале. Грунтовое основание смягчает сейсмическое воздействие. Непосредственно над фундаментом находится трёхступенчатый стереобат толщиной 1,5 мера. Он выложен из крупных мраморных блоков, плотно пригнанных друг к другу и соединённых бронзовыми пиронами и штырями, обязательно залитыми свинцом. В результате в нижнем уровне храма образован достаточно податливый

единый диск, который не разрушается при небольших неравномерных осадках колонн. Кстати, весь храм, включая черепицу кровли, построен из хорошего пентелийского мрамора, который добывался здесь же, недалеко от Афин.

А теперь об очень интересной для нас конструкции колонн храма. Когда-то в древности колонны вырубались из огромных монолитов и делались цельными. Позднее, из соображений удобства изготовления или чтобы колонны стали гибкими, их начали делать составными из отдельных цилиндров, соединённых в центре бронзовыми или деревянными штырями.



Таков Парфенон сегодня. Взгляд с противоположных сторон.

В этом храме колонны составлялись из 10-12 цилиндров. После сборки колонны она обтачивалась по месту. Кверху диаметр колонны уменьшался. Да ещё на каждой колонне вытачивалось по двадцать вертикальных каннелюр. Вообразить невозможно, какой объём работ.

Такие составные колонны являются в какой-то степени гибкими и податливыми. И теперь такие податливые колонны могли бы служить сейсмоизоляторами для тяжёлых перекрытий. Но этого не получается, так как колонны связаны в верхнем уровне через перекрытие в единое целое с массивными жёсткими

стенами центральной части храма. Вот когда греческий храм разрушается и остаются от него только колонны, стоящие по периметру, то эти колонны прекрас-



На колоннах лежат несущие балки – архитравы

но сейсмоизолируют оставшиеся лежать на них огромные массы антаблемента. Этому мы видим много примеров, в том числе и на развалинах Парфенона, показанных выше.

Теперь поговорим о следующем важном элементе конструкции греческого храма, о несущих каменных балках-архитравах. Греческие зодчие прекрасно знали, что камень хрупкий материал, и, следовательно, он хорошо работает на сжатие и плохо – на изгиб и растяжение. Поэтому они в Парфеноне просто до минимума сократили пролёт балок между колоннами до 2,47-2,51 метра. Для облегчения монтажа и повышения надёжности этих балок их делали составными из трёх плит, поставленных на ребро. В этом случае разрушение одной плиты не вело к обрушению всей конструкции. При этом составные

плиты балки не прилегали плотно друг к другу, а устанавливались с некоторым зазором. В таком случае при подвижках во время землетрясения не происходило их соударения. Вот эти балки-архитравы передавали на колонны огромный вес лежащих на них фриза, карниза и фронтона.

Стены внутреннего помещения Парфенона – целлы – были сложены из тщательно пригнанных мраморных блоков. При этом на контактных поверхностях блоков устраивались специальные шероховатости, чтобы блоки не могли скользить друг относительно друга. Кроме того, блоки соединялись залитыми свинцом металлическими штырями и пиронами. Мягкий свинец в этих соединениях был обязательным. Он предотвращал удары металлических закладных о хрупкий мрамор.

Как апофеоз всему строительству Парфенона, в 437 году до н. э. в его целле была установлена статуя Афины Парфенос, выполненная в хрисозлефантинной технике (из золота и слоновой кости на деревянном каркасе) самим Фидием. Скульптура имела 12 метров высоты. Как и положено у благодарного народа, за эту работу Фидий, обвинённый в краже золота, попал в тюрьму.

Коротко о перекрытии храма. Всё перекрытие Парфенона было выполнено на деревянной основе. Всё внутреннее помещение, имеющее размер 59 на 21,7 метра, было перекрыто деревянными конструкциями. Арки и купола греки принципиально не применяли. Над скульптурой Афины были видны деревянные балки. Все стропила и обрешётка храма были деревянными. И только черепица перекрытия представляла собой мраморные пластинки. Вот поэтому греческие храмы часто гибли от пожаров.

А теперь некоторые соображения о сейсмостойкости Парфенона и вообще греческих храмов. Самое главное: вся кровля храма со всеми этими составными балками-архитравами, метопами, триглифами, фризами, фронтонами, деревянными стропилами с обрешёткой и уложенной на них мраморной черепицей имела чудовищный вес. Этот огромный вес во время землетрясения нёс разрушение центральным жёстким частям греческих храмов, на которые и передавалась вся сейсмическая нагрузка. А более гибкие колонны по периметру храма, как правило, сохранялись. И все штыри и пироны вместе с тщательной подгонкой каменных блоков уже не играли здесь никакой роли.

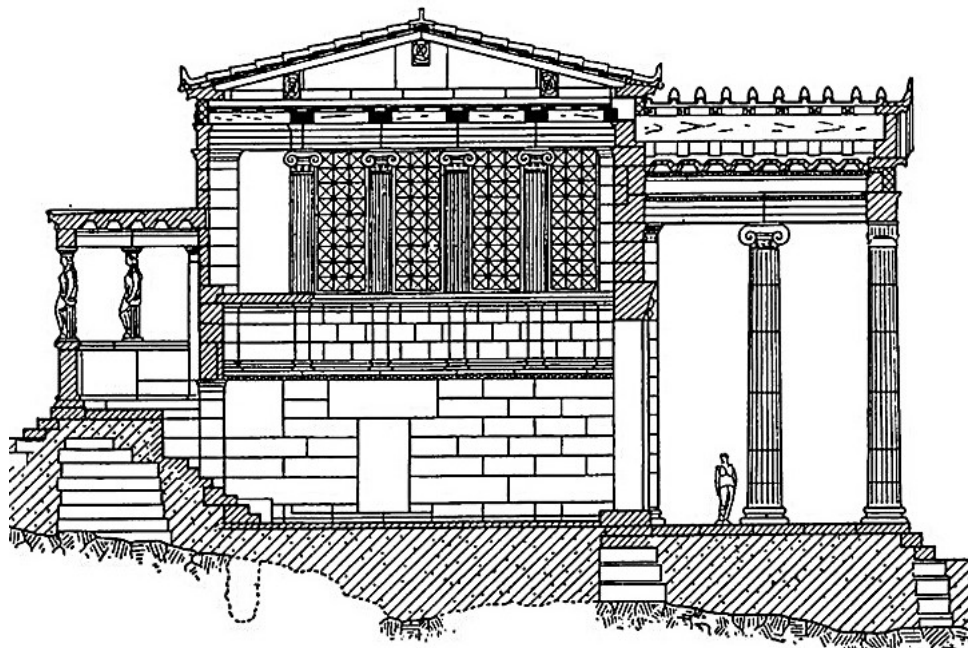
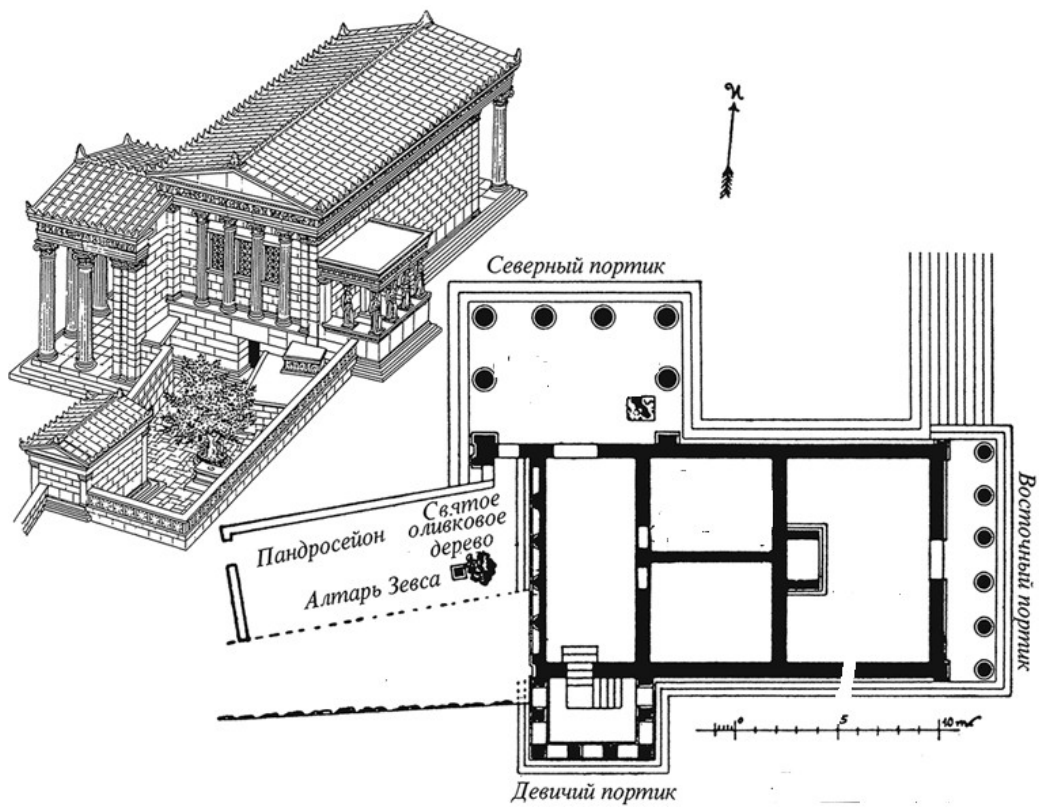
Итак, основными недостатками греческих храмов с точки зрения сейсмостойкости являются большой вес перекрытия, сосредоточенный в верхнем уровне, и неравномерная жёсткость в плане за счёт жёсткой центральной части храма и податливых колонн по периметру.

Несколько слов о сложной и трагической судьбе Парфенона. В III веке в храме случился сильный пожар. В результате пожара разрушилась крыша храма и все внутренние перекрытия. Мрамор во многих местах потрескался. В V веке Парфенон был перестроен в христианский храм Святой Софии. В 1458 году Афины завоевала Османская империя. На горе в Акрополе разместился турецкий гарнизон. В XVII веке, во время турецко-венецианской войны, турки превратили Акрополь в крепость. За толстыми стенами Парфенона они устроили пороховой склад. В сентябре 1687 года венецианцы начали обстреливать Акрополь. Один из снарядов пробил крышу Парфенона и попал в склад пороха. Произошёл сильнейший взрыв. Центральная часть храма превратилась в руины. Упало несколько внешних колонн. Это был самый большой ущерб для храма за всю его историю. Позднее храм Афины Парфенос разрушали и грабили археологи и собиратели древностей. Не будь этого взрыва, Парфенон, может быть, простоял бы до наших дней. Ясно, что он перенёс не один десяток землетрясений, но данных о последствиях этих землетрясений для храма не имеется.

Теперь мы познакомимся с Эрехтейоном. Положение этого храма относительно Парфенона можно увидеть на первых двух фото к данной главе.

Небольшой, но не менее знаменитый, чем Парфенон, храм Эрехтейон начали строить в 421 году до н. э., уже после смерти Перикла, и закончили в 406 году до н. э. Этот храм был посвящён сразу Афине, Посейдону, легендарному афинскому царю Эрехтею и ещё много чему...

Большие проблемы с этим храмом начались уже на стадии его проектирования. Дело в том, что построить его необходимо было в таком священном месте, где надо было совместить, казалось бы, самые несовместимые реликвии афинян и их богов.

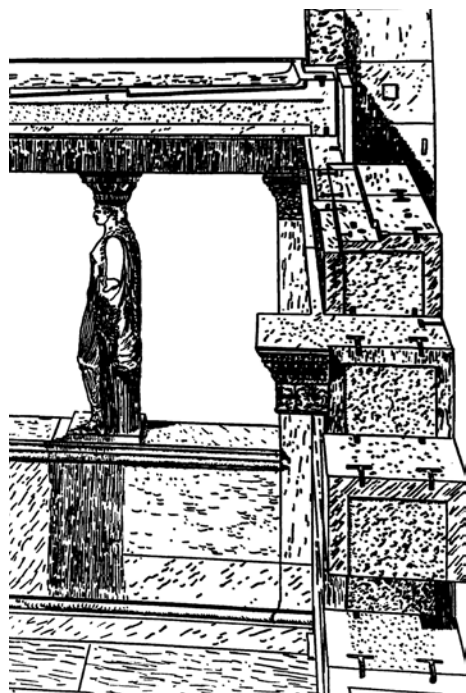


Реконструкция Эрехтейона, его план и разрез

Судите сами. На том месте, где Афина и Посейдон спорили о том, кому принадлежит Аттика, и где разозлившийся Посейдон ударил своим трезубцем в скалу, находился источник с солёной водой. Тут же рядом росло оливковое дерево, посаженное самой богиней Афиной. Надо было устроить отдельный алтарь для деревянного идола Афины, давным-давно упавшего с неба. Тут же была могила не то самого Эрехтея, не то его сына. И многое другое здесь надо было разместить. Всё это должно было оставаться на своём, неприкасаемом и неизменном месте. Да ко всему прочему, неравномерность скального рельефа в этом месте. Строители этого храма Филокл и Мнесикл с поставленной перед ними задачей справились, но Эрехтейон получился очень сложной конфигурации. Таких храмов в греческой архитектуре больше нет. Кстати, этот небольшой храм не был рассчитан на массовые процессии. Здесь священнодействовали только жрецы. Здесь же они приносили жертвы.

Попробую коротко описать планировку этого храма. Центральная прямоугольная часть храма имеет размер 23,5 на 11,6 метра. Это ядро храма. К нему примыкают три портика. Восточным портиком оформлен вход в часть храма, посвящённую Афине. Через северный портик входили в святилище Посейдона. В нём и находился солёный источник. Этот портик расположен на 3,2 метра ниже уровня центральной части храма. С южной стороны находится всем известный портик кариатид.

Теперь о конструкции храма. Очень важно, что он не стоит непосредственно на скале со сложным рельефом. Скала была засыпана уплотнённым грунтом, чтобы создать однородное основание под храм. Засыпка грунта видна на приведённом выше разрезе храма. Отдельно стоящие фундаменты под стены и колонны были устроены в ней. Со стороны склона горы фундаменты были более мощными. Разумеется, о таких принципах сейсмостойкого строительства, как равномерное распределение масс и жёсткостей, здесь говорить не приходится. Об антисейсмических швах древние строители понятия не имели, поэтому все три портика были конструктивно связаны с центральным зданием. Ясно, что это вызывало бы дополнительные усилия в местах контакта портиков и центрального здания при землетрясении. Подробно описывать строительную технику Эрехтейона не буду. Она такая же, как и в Парфеноне. Такие же мраморные блоки, притёртые друг к другу и соединённые металлическими деталями, залитыми свинцом. Для наглядности слева приведён рисунок каменной кладки стены центрального зда-



Конструкция укладки мраморных блоков храма

ния позади портика кариатид. Видны места установки металлических скреп. Ясно, что такое несимметричное во всех трёх измерениях сооружение должно было плохо вести себя при землетрясениях.

И всё же этот уникальный храм разрушили люди, а не землетрясения. Как и положено, в V веке в Эрехтейоне была устроена христианская церковь. Храм успешно просуществовал до XVII века. Но в 1687 году Афины осадили венетианцы. Они-то и разрушили храм. Позднее часть фрагментов храма была восстановлена, но всё равно он имеет вид развалин, хоть и красивых.

Пока я рассказывал вам о храмах афинского Акрополя, меня начала точить одна мысль. Сейчас я ею с вами поделюсь. Этот Акрополь со своими сооружениями стоит на плоской каменной скале с размерами в плане 300 на 150 метров и высотой 60 метров. А не является ли эта прочная скала сейсмозащитой для сооружений, стоящих на ней? Сведения о сильных землетрясениях здесь отсутствуют. Теоретически это доказать пока невозможно. Но эта могучая скала-плита вполне способна своим весом гасить сейсмические волны не хуже египетских пирамид. Это всё к решению проблемы о влиянии геологии и рельефа местности на величину сейсмического воздействия.



Современный вид Эрехтейона уже после восстановления

Греческие колонии

Многочисленные колонии были заложены полисами материковой Греции практически по всему Средиземноморью: в Сицилии, Италии, Северной Африке, Малой Азии и даже в Северном Причерноморье. Всё это называлось Великой Грецией, которая в VII–V веках до н. э. достигла наивысшего расцвета. Разумеется, многих городов и сооружений этой Великой Греции мы посетить не сможем, но для начала отправимся на запад – в Сицилию и Италию, куда плыли мужественные потомки Одиссея в поисках новых земель, богатств и славы. Именно здесь греческие колонисты начали строить свои города и могучие храмы. Город Сиракузы на восточном берегу Сицилии стал центром всей западной части греческого мира. Здесь же возникли и другие крупные города, такие, как Селинунт, Посейдония, Акрагант.

И начали в этих колониях строить гигантские храмы – как правило, это были дорические перпитыры с весьма утяжелёнными пропорциями. Такая могучая и тяжёлая архитектура, по-видимому, вполне соответствовала духу и характеру греческих колонистов. Вы только вообразите, как выглядел практически самый большой храм Греции – храм Аполлона, построенный около 520 года до н. э. в Селинунте. Его размер в плане был 50 на 110 метров, высота колонн 16 и 27 метров, диаметр колонн внизу 3,4 метра, вверху – 1,9 метра. Кстати, огромные размеры храма снижали его сейсмостойкость. Короче говоря, так как объять необъятное невозможно, предлагаю из всего многообразия построек Великой Греции выбрать три различных и посетить их, надеясь, что они дадут нам представление о высоком искусстве греков того времени. Не покидая здешних мест, предлагаю первой навестить Посейдонию, находящуюся в Италии недалеко от Неаполя. Ко второму объекту перенесёмся в Боспорское царство и побываем в Царском кургане. Это на Керченском полуострове, рядом с современной Керчью. И третьим пусть будет совсем уж что-то необычное. Например, святилище Асклепия в Эпидавре.

Сразу скажу, чем меня привлекла Посейдония. Во-первых, три хорошо сохранившихся дорических храма, с которыми мы сейчас будем знакомиться, построены на плохих грунтах. Интересно посмотреть, почему эти храмы сохранились. Во-вторых, я там был с семьёй – приятные воспоминания.

Греческая колония Посейдония была основана в VII веке до н. э. на берегу Тирренского моря. К сегодняшнему дню очертания морского берега изменились, и теперь развалины Посейдонии находятся достаточно далеко от моря. Кстати, из Неаполя до Посейдонии электричка идёт полтора часа.

Расцвет Посейдонии приходится на середину VI века до н. э. Примерно в 400 году до н. э. её захватили местные племена луканов. Началось смешение греческих и местных традиций. В 274 году до н. э. город поработили римляне и назвали его Пестумом. В IX веке город разорили сарацины, и наконец в XI веке его окончательно разрушили норманны. После этого город пришёл в запусте-

ние. Сегодня же здесь прекрасный туристический комплекс, где можно любоваться выразительными остатками греческой и римской архитектуры. Дальше всё внимание – на три сохранившихся греческих храма.



Храм Геры-I: базилика, число колонн 9 на 18, в плане 24,5 на 54,3 метра, построен около 540 г. до н. э.



*Храм Геры-2,
число колонн 6 на 14,
размер в плане 24,3 на 60 м,
середина V века до н. э.*



Храм Афины, число колонн 6 на 13, в плане 13 на 31,5 м, около 520 г. до н. э.

И ещё, чтобы вы лучше представили громадность этих храмов, фотографируюсь со своим семейством на их фоне.



Я со своим семейством на фоне Базилики

А теперь начнём с позиций сейсмостойкого строительства знакомиться с этими храмами. Вот вам для начала два совершенно бесспорных факта.

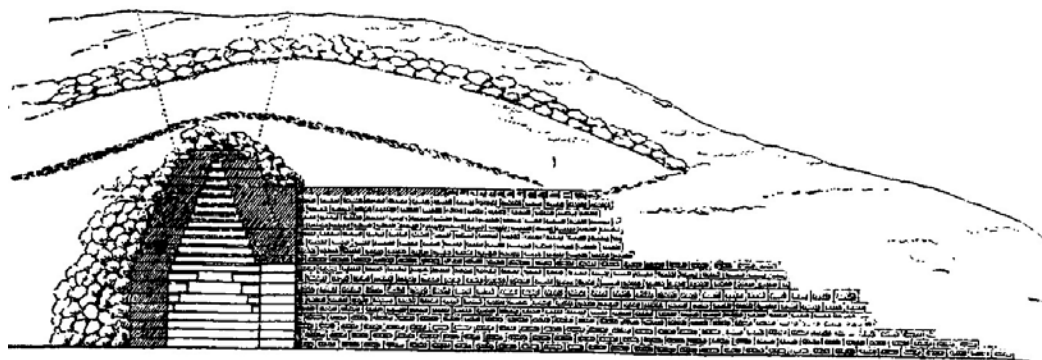
Первый. Во всех трёх сооружениях, как и должно быть в греческих храмах, разрушена центральная жёсткая часть – целла, но сохранилась более гибкая часть – колонны по периметру, которые служат сейсмоизоляторами для массивных архитравов, лежащих на них. Колонны же являются довольно гибкими за счёт того, что они собраны из каменных барабанов на центральных деревянных штырях.

Второй. Все три храма построены на плохих грунтах. Здесь была речка, которую поглотили наносы. Но смотрите: неравномерной осадки ни у одной колонны храма не видно; ни один мощный трёхступенчатый, собранный из крупных каменных блоков, стереобат (плита под колоннами) не деформировался. Это говорит только об одном – под всеми храмами были устроены какие-то основательные субструкции, вплоть до свайного основания. К сожалению, этот вопрос нигде не освещён. По-видимому, такие исследования не проводились, и тут я не могу вам ничего рассказать.

Теперь такой интересный вопрос: а знаете ли вы, что конструкции зданий способны приспосабливаться, адаптироваться к сейсмическим воздействиям? Действительно: во время землетрясения неудачно расположенные массы зданий могут обваливаться, а лишние жёсткие связи разрушаться. Остаётся только то, что успешно ведёт себя во время землетрясения. Вот эти три храма – пример ус-

пешно адаптированных к землетрясениям систем. Ясно, что эти замкнутые балочно-стоечные колоннады перенесли, не разрушившись, много землетрясений. Внимательно посмотрите на основания колонн. Многие из них как-то сдвинуты относительно центра базовых плит. Есть тут даже такие колонны, у которых край нижнего барабана уже нависает над краем базовой плиты. Это всё – результат вибраций системы от многочисленных землетрясений. Но вся система из колонн и балок стоит уже больше двух тысячелетий. Просто поразительно, как чудовищная масса фронтона храма Афины парит в небе, поддерживаемая шестью колоннами, служащими ему сейсмоизоляторами.

Отправляемся дальше – в Боспорское царство, основанное в 480 году до н. э. Где-то в середине 80-х годов прошлого века я получил командировку в это царство. Не улыбайтесь, это было на самом деле. Тогда в Совете Министров ещё СССР возникла безумная идея построить атомную электростанцию на берегу Азовского моря. Район сейсмоопасный, и надо было уточнить его сейсмоактивность. Короче, надо было сказать, случались ли здесь в древности сильные землетрясения. Сказано – сделано. К ежегодной московской археологической экспедиции, работавшей на Таманском полуострове, присоединилась группа специалистов из Института физики Земли, куда и был я включён как строитель, уже тогда интересовавшийся древними сооружениями. Можете смеяться, но мы нашли следы сильных землетрясений, происходивших в начале первого тысячелетия. Тогда же я побывал в Керчи и познакомился с Царским курганом, о котором дальше пойдёт речь. Курган произвёл на меня сильное впечатление как совершенное архитектурное сооружение. К тому же, я теперь точно знал, что Царский курган перенёс несколько сильных землетрясений, следы которых мы же и обнаружили.



Продольный разрез Царского кургана

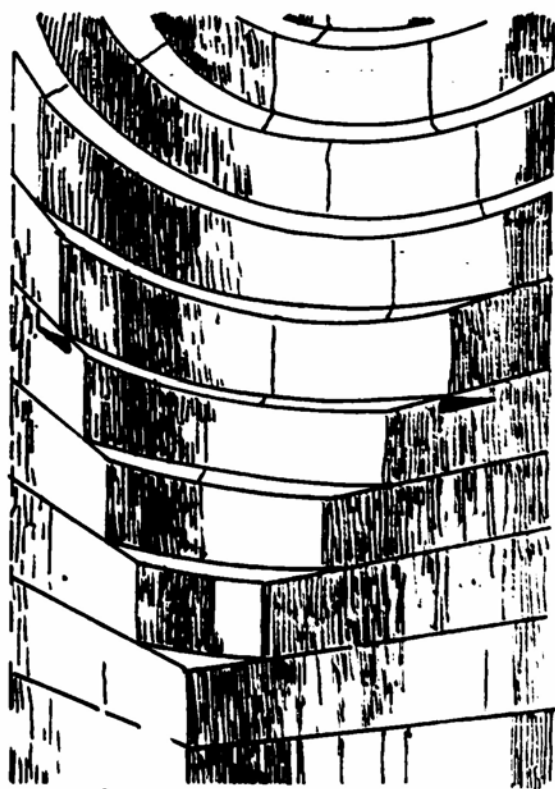
Боспорское царство занимало в древности всю восточную часть Крыма и Таманский полуостров. Царский курган, открытый в 1837 году, расположен недалеко от центра Керчи. Тут же была столица Боспорского царства – Пантикапей. Считается, что весь мемориальный комплекс Царского кургана был предназначен для правителя царства Левкона I (348-311 гг. до н. э.).



*Общий вид Царского кургана
и вход в него через дромос*

Средняя высота кургана 18,5 метра, диаметр у основания порядка 120 метров. Находящийся внутри кургана склеп состоит из камеры и длинного высокого коридора, дромоса, прорезающего толщу насыпного грунта и выходящего к основанию кургана. Самое интересное в Царском кургане – конструкция камеры,

но и сам курган насыпан с большим смыслом. Давайте с него и начнём.

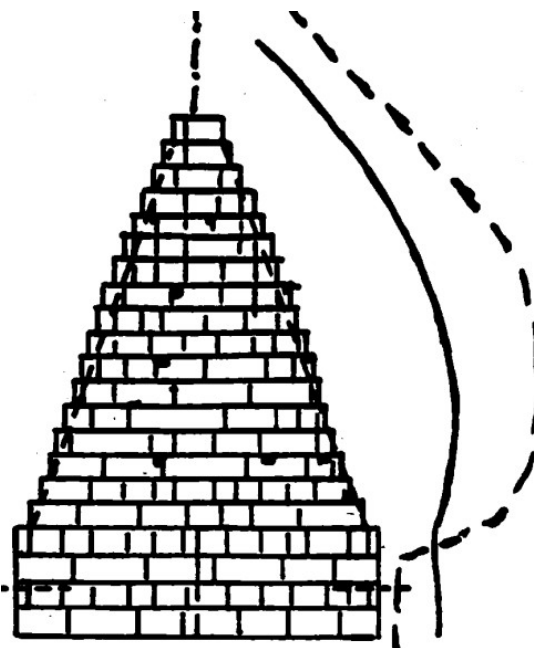


Система каменной кладки камеры

После устройства камеры и дромоса начали возводить курган. Как видно на рисунке, для начала камеру и дромос завалили крупным необработанным камнем в 6-7 рядов у основания и в 3-4 ряда над куполом. Этот необработанный камень образует как бы свод над склепом и, воспринимая нагрузку от вышележащего грунта, служит разгрузочной системой. Довольно непросто устроена многослойная земляная засыпка кургана. Первый слой насыпанной земли едва покрывает купол камеры и дромос вместе с каменным завалом. Далее вся насыпь обложена толстым слоем морской травы, очень похожей на еловый лапник. На слой травы опять насыпана земля. Этот второй слой земли, толщиной в несколько метров, покрыт в свою очередь тремя рядами рваного камня,

образующего панцирь против эрозии насыпанной земли. Наконец, третий слой земляной насыпи завершает конструкцию кургана.

Теперь рассмотрим систему каменной кладки самой погребальной камеры. Её размеры в плане 4,4 на 4,4 метра при высоте 9 метров. Через фундаментные плиты камера поставлена на скальное основание. В нижней части камеры устроен квадрат, выложенный из четырёх рядов крупных известняковых блоков, хорошо отёсанных с внутренней стороны и плотно пригнанных друг к другу. Далее с пятого ряда кладки начинается купольное перекрытие по системе «ложного свода». Начиная с углов, выдвигаются каменные блоки, образующие многоугольники. И так пять рядов. Выше надвигается ещё двенадцать рядов криволинейных блоков. Они-то и образуют конический купол. Последний верхний круг закрыт сверху массивной плитой. Уходящий ввысь, во тьму, концентрическими кругами конический купол впечатляет. Его фото вы можете видеть на следующей странице.



Вид конуса камеры и его кладка

умеется, оценили как блестяще была решена задача сопряжения квадрата низа камеры и круга конического купола. А ведь до времён, когда в христианских храмах научатся сопрягать крестовые своды и купола с помощью «парусов», было ещё очень далеко. Теперь я вас ещё больше удивлю. Ведь конусообразный купол над камерой совсем не является конусом. Истинная его форма показана сплошной линией на рисунке слева. Это как бы раздутый конус. Для чего сделана такая конфигурация? Хотел ли древний строитель скорректировать наше зрительное восприятие купола снизу или думал снизить распор на квадратное основание? Загадка... Мне эта форма напомнила безраспорные церковные луковки, которые будут изобретены много столетий спустя. Эта форма показана на рисунке пунктиром.

С южной стороны к камере примыкает коридор-дромос длиной 36, шириной 2,5 и высотой до 7 метров. Этот коридор также сложен насухо из огромных камней известняка, тщательно пригнанных и образующих уступчатый узкий свод.

Теперь о сцеплении между каменными блоками кладки стен и купола. Это важный вопрос с точки зрения обеспечения сейсмостойкости всего сооружения. Так вот. Квадры кладки вырезались довольно легко из аджимушкайского известняка – очень пористого и мягкого камня. Его ровно срезанная поверхность имеет пористый, шероховатый вид. Поставленные друг на друга, да ещё и с вертикальной пригрузкой, такие блоки исключают возможность их взаимного сдвига, так как сила трения между ними чрезвычайно велика. Происходит сцепление блоков, и сдвинуть их теперь относительно друг друга нельзя, не разрушив. В результате получилось, что погребальная камера и конический купол над ней образуют единую монолитную скорлупу-оболочку.

Мне почему-то кажется, что я недостаточно убедил вас на примере Царского кургана в виртуозной строительной технике древних зодчих. Поэтому продолжаю. Вы, раз-

И последнее. О слое из водорослей в засыпке Царского кургана. Да, в Боспорском царстве такие прослойки применялись даже в перекрытиях жилых домов. Но для чего они делались, я не знаю. Спрашивал у маститых археологов, они только руками разводили. Загадка...

Что касается анализа конструкции Царского кургана с позиций сейсмостойкого строительства, то я его делать не буду. Тут всё идеально. Это подтвердили два с лишним тысячелетия его существования. Что могут сделать высокочастотные волны скального основания с небольшой скорлупкой, запрятанной в мягкую рыхлую среду?

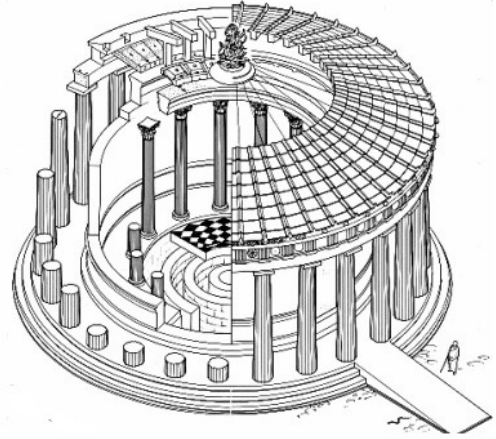
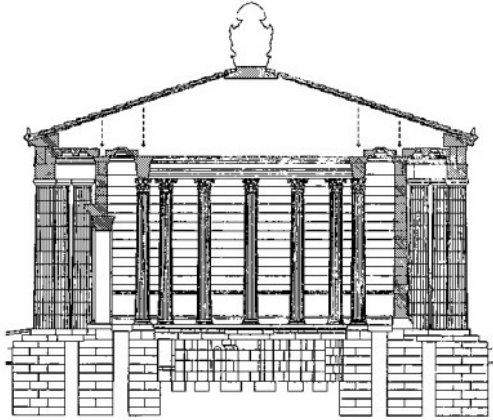
Вот добрались мы и до третьего запланированного нами для посещения объекта в Греческих колониях – Святилища Асклепия в Эпидавре. Это чисто формальное посещение. Никакими конкретными данными о сооружениях в этом святилище я не располагаю. Просто хочу продемонстрировать вам здесь единственное здание этого комплекса как постройку идеальной формы с точки зрения сейсмостойкости.

Это идеально круглое сооружение под названием Фимела было построено знаменитым архитектором Поликлетом Младшим в 360-330 годах до н. э.

Его диаметр 21 метр. Снаружи его окружали двадцать шесть колонн дорического ордера. Как видно на нижних рисунках, внутри находился ещё ряд из четырнадцати колонн коринфского ордера.



Фимела (реконструкция)



Фимела. Разрез

Приведенные здесь рисунки показывают, что это сооружение имело идеальную осевую симметрию, заглублённые кольцевые фундаменты под колонны и стены. Единственное здесь нарушение с точки зрения принципов сейсмостойкого строительства – это огромная масса перекрытия, сосредоточенная в верхнем уровне. Так что здание должно было быть сейсмостойким. Но сведений об этом не имеется.

И таких сооружений в Древней Греции было предостаточно.

А теперь все дороги ведут в Рим. Там мы познакомимся с действительно сейсмостойкими сооружениями.

Сейсмостойкость сооружений Древнего Рима

Римский бетон и сводчатые конструкции

История Рима условно делится на два крупных периода: республиканский (от изгнания этрусских царей в 509 году до н. э. до возникновения Римской империи в 27 году до н. э.) и императорский – до перенесения столицы империи в Византию в конце IV столетия. Характерной чертой римской государственной структуры, независимо от того, была ли это республика или уже империя, является способность организовывать население страны и управлять им. Римское государство имело в своём распоряжении многочисленную армию, которую могло использовать на общественных работах, и громадную массу рабов, которую можно было заставить выполнять огромные объёмы самого тяжёлого физического труда. Кроме того, в результате завоеваний в руках правящей верхушки империи скопились такие богатства, которыми можно было оплачивать большие объёмы строительных работ. Это и определило то, что в самом Риме и по всей империи было возведено множество уникальных сооружений.

Вот на этой политико-экономической основе и формировалась римская строительная техника. Прежде всего римляне почти отказались от добычи материалов, нужных для изготовления крупных деталей. Транспортировка и обработка таких деталей требуют специальных механизмов и квалифицированного труда каменщиков. Это могли позволить себе только греки, которые почти все были и мастерами, и художниками. Правда, в исключительных случаях римляне возводили сооружения, подобные греческим, из крупных каменных блоков, уложенных насухо и скреплённых штырями и скобами. Они знали, как это делается, поскольку при своих завоеваниях римляне умели присваивать не только богатства, но и знания. Обычно же они пользовались совсем иным методом.

С помощью многочисленной армии неквалифицированных рабочих заготавливалась огромная масса мелкого строительного материала: камней, обожжённого кирпича, гальки, песка, извести и вулканического шлака. Всё это под строгим наблюдением надсмотрщиков, следивших за качеством работ. Далее по указанию нескольких профессионалов и главного архитектора возводилось само сооружение. При этом выполнялись многочисленные однообразно повторяющиеся операции. Укладывался на том же бетонном растворе кирпич стен облицовки. Затем пространство между этими стенами заливалось бетоном и потом засыпалось камнями. После возведения стен начинали строить деревянную опалубку, с помощью которой отливали из бетона купол. Готовая конструкция украшалась облицовкой из красивых материалов и декоративными колоннами и скульптурами. Вот в этом, собственно, и заключалась римская техника строи-

тельных работ.

Знаменитый историк архитектуры XIX века Эжен Виолле-ле-Дюк образно представил разницу между греческими и римскими сооружениями: наружные формы греческих сооружений неотделимы от их конструкции, поэтому их можно сравнивать с обнажённым человеческим телом, на котором видно предназначение каждой его части. Римское здание напоминает человека, одетого в тогу, когда закрыты и задрапированы конструктивные части его тела.

Рассказывая о римском строительстве, невозможно не вспомнить о римском архитекторе I века до н. э. Витрувии, сопровождавшем Юлия Цезаря в его походах. Витрувий написал трактат «Десять книг об архитектуре», в котором дал рекомендации, как и что строить, как подбирать растворы, как устраивать фундаменты, как возводить оборонительные башни и как заряжать катапульту. Не сообщает он только о том, как предохранять сооружения от землетрясений. Зато говорит о качестве строительных материалов. Вот, например, как римляне определяли качество песка: насыпали его на белое полотнище, несколько раз встряхивали, затем ссыпали. Если на белой ткани оставалось пыльное пятно – такой песок браковался.

Тут мне невольно вспомнилось Спитакское землетрясение 1988 года в Армении, в обследовании последствий которого я принимал участие. Какой же плохой песок использовался там при производстве «армянского» бетона! В этом песке было всё – и глина, и земля, а порой это был просто туфовый песок. Катастрофический результат землетрясения известен. Для наглядности я привожу фото буквально рассыпавшегося во время этого землетрясения современного двадцатипятиэтажного здания.



Двадцатипятиэтажное здание, рассыпавшееся при Армянском землетрясении 1988 года.

У римлян такого быть не могло. Их «римский» бетон был высокого качества. Если их сооружения и разрушались, то происходило обрушение крупных деталей или целых фрагментов.

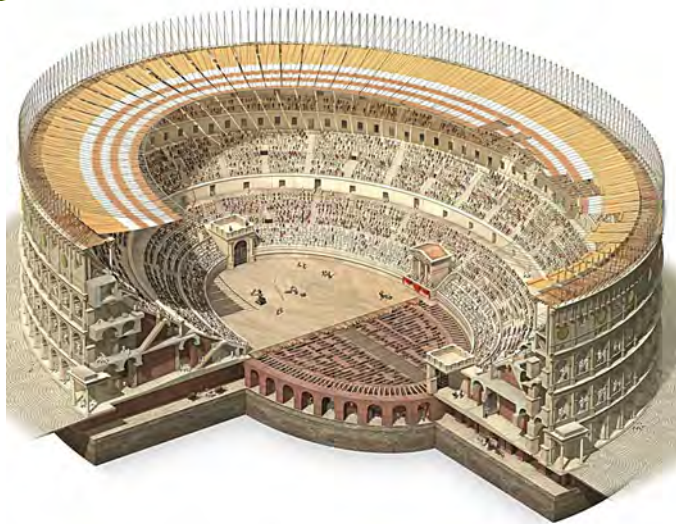
Итак, эпоха римской строительной техники характеризуется двумя новыми элементами: применением бетона и созданием литых куполов в виде полушаров или полуцилиндров. Нечто похожее на бетон делали ещё этруски на основе пуццоланового песка. Римский же бетон делался из смеси вулканической пыли из-под Везувия, известкового раствора, песка и камней. В результате добавления в эту смесь воды происходила химическая реакция. Через некоторое время смесь отвердевала и получался искусственный водостойкий камень. Так была открыта новая эра строительной техники – литые конструкции.

Престиж могущественного государства требовал возводить сооружения с большими пролётами. Такие пролёты тогда можно было создавать только с помощью куполов. Но делать купола с криволинейными поверхностями из штучного материала довольно сложно. Тут нужны квалифицированные рабочие. А вот отлить их, используя труд чернорабочих, намного проще. Вот так на основе оригинальной римской строительной техники и появились специфические римские сооружения.

Теперь пара замечаний по поводу римской строительной техники с позиций сейсмостойкого строительства. Появились сооружения из монолитного римского бетона. Как это – хорошо или плохо с точки зрения их сейсмостойкости? Конечно, хорошо. Правда, материал тяжеловат. Это прекрасно понимали римские строители, и дальше мы увидим, как они старались облегчить свои бетонные конструкции. Но сооружения из этого материала получаются прочными, с однородными свойствами. А если конструкцию из бетона к тому же сделать симметричной, с регулярным распределением масс и жесткостей, то сооружение получается сейсмостойким. Есть ещё одно большое различие между греческими и римскими сооружениями. Греческие постройки имели податливые узлы и отдельно стоящие фундаменты под колонны и несущие стены. Римские сооружения получались абсолютно жёсткими. Это требовало и соответствующих фундаментов – общих под всё сооружение. Такие фундаменты тоже повышали сейсмостойкость – римские здания во время землетрясений колебались как единое целое. И последнее. Римские сооружения были весьма тяжёлыми и поэтому, когда их ставили на слабые грунты, эти грунты старались удалить, заменяя их прочными субструкциями.

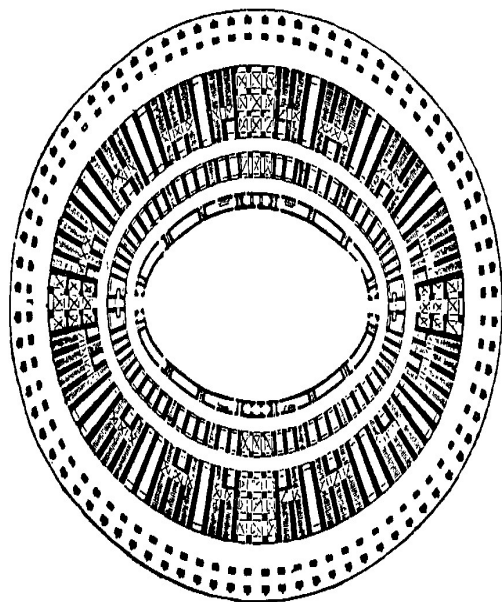
Итак, вперёд – знакомиться с конструкцией римских сооружений с позиций сейсмостойкого строительства. Не будем скромничать и выберем самые знаменитые: Колизей, Пантеон, термы Каракаллы и собор Святого Петра.

Колизей – амфитеатр Флавиев



Колизей – современный вид и реконструкция

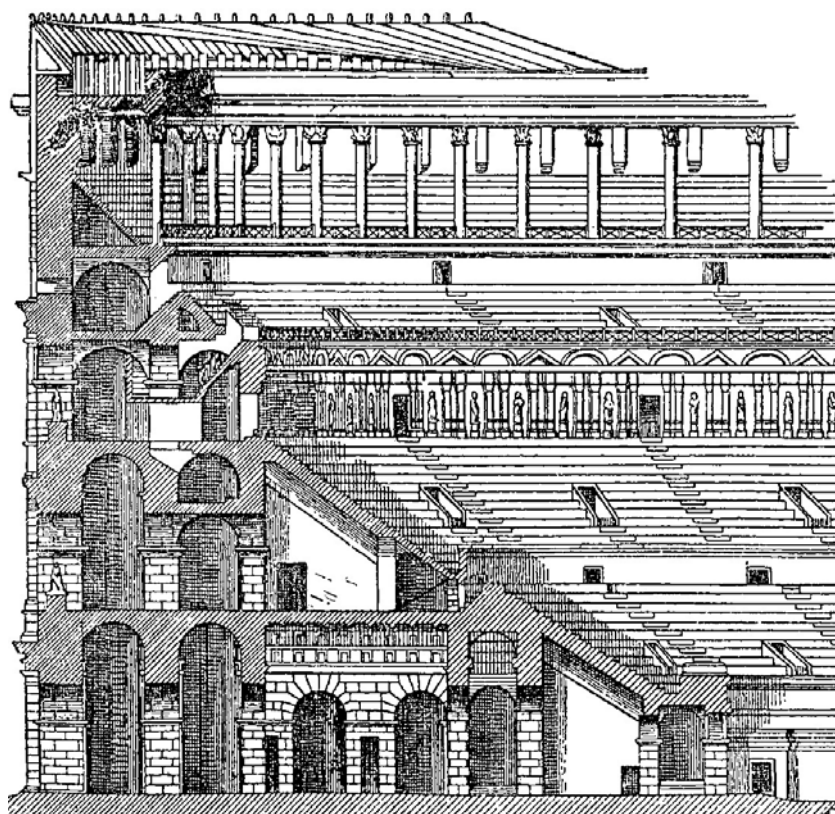
Этот самый грандиозный амфитеатр древнего мира был заложен императором Веспасианом в 75 году и открыт его сыном Титом в 80 году. Вместимость Колизея составляет 50 тысяч зрителей. В плане сооружение имеет форму эллипса, размер по продольной оси 188 метров, по поперечной – 156 метров. Высота сооружения 49 метров. Арена была той же формы, с размерами 85 на 53 метра. Протяжённость эллипса по внешнему периметру 520 метров. Над возведением этого гигантского сооружения трудилось сто тысяч рабов, специально пригнанных из Иудеи.



План Колизея

Колизей был построен на месте пруда рядом с бывшим «Золотым домом» императора Нерона. Как и положено, плохие грунты были удалены на глубину 12 метров на площади, превосходящей площадь Колизея. На месте удалённых грунтов были возведены двухслойные субструкции. Нижний их слой состоял из крупных каменных плит, на которые были поставлены мощные каменные столбы, соединённые цилиндрическими сводами. Эти субструкции видны на приведённом выше рисунке реконструкции Колизея. Кстати, для лучшего контакта между фундаментными плитами устраивали прослойки песка. В результате во время землетрясения эти плиты могли проскальзывать друг относительно друга. Чем вам не сейсмоизолятор?

Вот на эти надёжные субструкции и был поставлен Колизей, представляющий собой четырёхэтажное сооружение. Первым трём этажам соответствуют три открытых яруса мест для публики. На четвёртом этаже находится четвёртый, уже крытый, ярус для зрителей. Перекрытие над этим ярусом поддерживают колонны, идущие по всему периметру амфитеатра. Всё это хорошо видно на схеме, приведённой на следующей странице. На этой же схеме дан разрез несущих конструкций сооружения. Основными несущими элементами всех этих зрительских трибун являлись мощные столбы-пилоны из травертина. В поперечном направлении их было семь, а дальше они шли, разумеется, по всему периметру сооружения. Травертин – не очень прочный, хрупкий камень. Между собой эти пилоны были связаны цилиндрическими сводами из бетона или кирпича. Травертиновые блоки укладывались насухо и связывались между собой металлическими скрепами. Кто-то даже ухитрился подсчитать, что на весь Колизей для закладных металлических деталей потребовалось 30 тонн железа. Были устроены здесь и поперечные стены из бетона или туфа, облицованные кирпичом, для поддержки лестничных маршей. Внешняя стена была бетонной, покрытой травертиновыми блоками.



Конструктивная схема и общий вид Колизея

А это внешняя стена Колизея. Внизу три этажа – сплошные арочные пролёты, а четвёртый этаж – солидная монолитная стена. С точки зрения сейсмостойкости такое решение удачным не назовёшь.



Облицовка внешней стены и несущие конструкции трибун.

Теперь мы смело можем приступить к рассмотрению конструкции Колизея с позиций принципов сейсмостойкого строительства. На первый взгляд, когда видишь это идеально симметричное сооружение с его равномерно расположенными несущими элементами, кажется, что оно-то уж точно должно быть

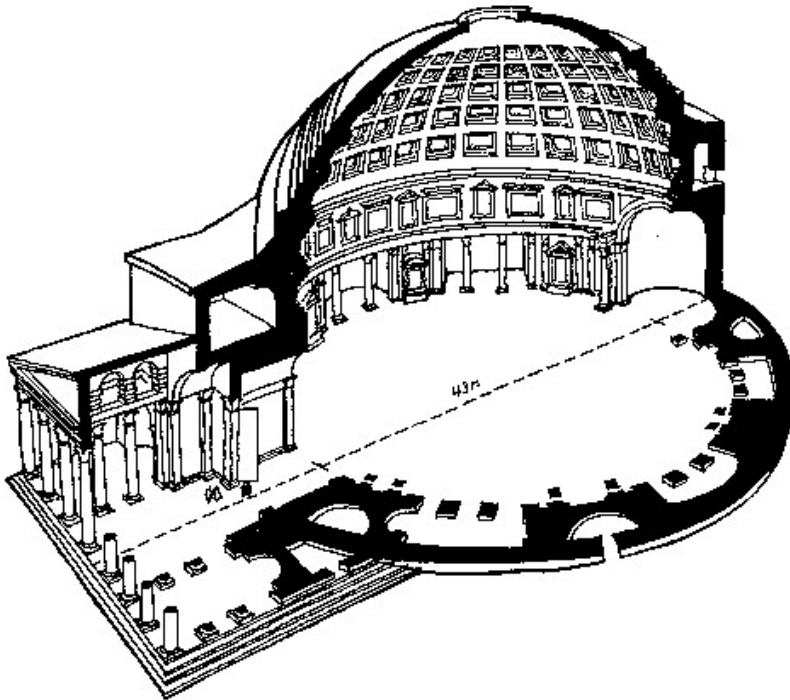
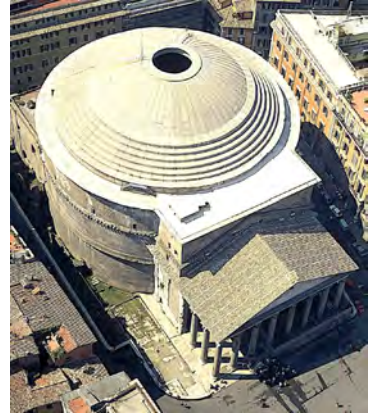
сейсмостойким. Но когда начинаешь глубже вникать в суть дела, оказывается, что здесь не всё так хорошо...

Смотрим. Будем считать, что с фундаментом всё нормально. А дальше... Какие гигантские размеры этого эллиптического кольца, лежащего на этом фундаменте – почти 200 на 150 метров! Если фундамент начнёт дышать на сейсмической волне, то жёстким такое кольцо не останется, его прочности не хватит. Оно разрушится. А почему оно разрушится? Эти почти 50-метровые столбы-пилоны, сложенные из хрупких каменных блоков, и той же высоты стены, ослабленные многочисленными сводчатыми проёмами, не смогут выдержать сдвиговыж нагрузок, возникающих при землетрясении. А ещё конструкция Колизея собрана из материалов различной прочности и жёсткости: хрупкого травертина, жёсткого бетона и достаточно пластичного кирпича. По своим прочностным свойствам она получилась неоднородной. Опять же, жёсткость и прочность внешней стены резко меняются по высоте из-за того, что на третьем и четвертом этажах остаются только два поддерживающих стену пилониз семи. Много чего ещё можно назвать. Короче говоря, большие размеры и неоднородность конструкции снижают сейсмостойкость Колизея. Но, несмотря на наш не совсем лестный отзыв, простоял амфитеатр Флавиев тринадцать веков и перенёс множество землетрясений. Пока не наступила осень 1349 года: случилось в Риме сильнейшее землетрясение, которого уже не смог выдержать Колизей. Рухнула большая часть его стены, раздавив своей тяжестью зрительские трибуны.

И тут сразу возникает идея. А что, если бы существовало понятие уровня сейсмостойкости сооружения? Имеется в виду, что для каждого здания мы могли бы определять максимальную интенсивность землетрясения, которое с большой долей вероятности его разрушит. Во всяком случае, при существовании таких расчётов уровень сейсмостойкости Колизея не получился бы очень высоким. А вот для Пантеона, который мы посетим в следующем разделе, такая оценка получилась бы высокой. Сразу мелькает мысль: а какому сооружению возможно было бы присвоить наивысшую отметку уровня его сейсмостойкости? Пока мне ничего в голову не пришло, кроме сказочной избушки на курьих ножках. Всё в ней отвечает принципам сейсмостойкости, да ещё какие сейсмоизоляторы!

А теперь от Колизея – сразу к Пантеону.

Пантеон – храм всех богов



Общий вид Пантеона и его продольный разрез

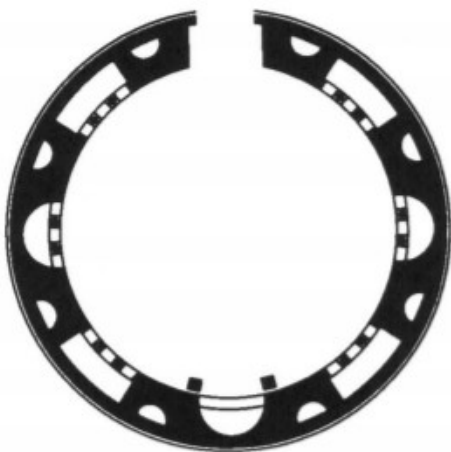
Перед нами уникальный по замыслу и совершенный по воплощению римской строительной техники храм всех богов – Пантеон, построенный на Марсовом поле в Риме.

Пантеон был возведён в 118–128 годах, во время правления императора Адриана. Строил храм зодчий Аполлодор из Дамаска. Император часто вмешивался со своими советами в работу зодчего, на что тот позволял себе шуточки



Пропорции храма – вокруг шара

Здание Пантеона имеет простейшую форму. При общей высоте 43,0 метра оно состоит из приземистого цилиндра внутренним диаметром 43,5 метра, перекрытого сферическим куполом диаметром 43,2 метра. Толщина литой бетонной стены с кирпичной облицовкой 6,7 метра. Толщина оболочки купола меняется от 1,8 метра у основания до 1,2 метра у вершины. Размеры всего Пантеона подобраны так, что в его внутреннее пространство вписывается шар диаметром 43,44 метра. Этим, собственно, выполнен один из важных принципов сейсмостойкого строительства: форма сооружения должна быть простой, а его размеры – пропорциональными.



Пустоты стены

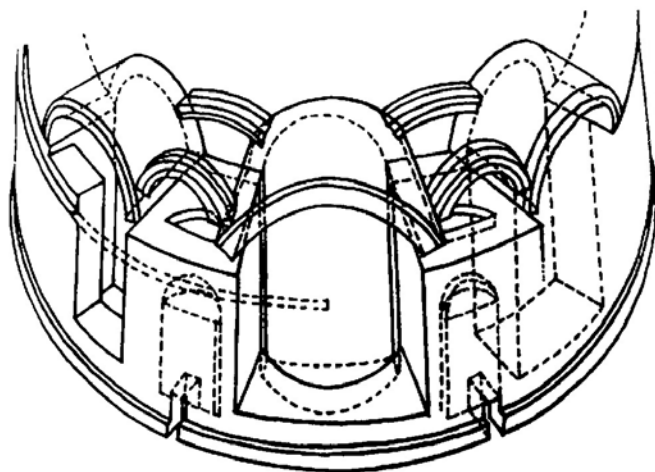
по поводу архитектурных талантов императора Адриана. Кончилось всё плохо. Император приказал казнить зодчего, сам претендуя на авторство в строительстве храма. Но, разумеется, никакой император не может быть автором такого уникального сооружения. Тут видна рука мастера высочайшего класса. А у меня впечатление, что строитель этого храма только и думал о том, как повысить сейсмостойкость здания Пантеона. Уже то, что это сооружение целиком отлито из монолитного бетона, говорит о его высокой сейсмостойкости.

С некоторым трепетом приступаю к описанию конструкции Пантеона. Удастся ли мне достаточно наглядно о ней рассказать?..

Цилиндр стен Пантеона опирается на прочный кольцевой фундамент шириной 7,3 и глубиной 4,5 метра. Это кольцо было выполнено из тяжёлого бетона, так как заполнителем ему служила травертиновая крошка. Стены Пантеона трёхслойные. Они состоят из наружной кирпичной облицовки и внутреннего литого бетона. Чтобы надёжно связать облицовку с монолитом стены, в ней заложено достаточно много крупных кирпичных плит.

Для восприятия распора от чрезвычайно тяжёлого купола (у него на 1 квадратный метр перекрываемой площади приходится 7,3 тонны) стены были устроены довольно толстыми – 6,7 метра, как уже было сказано. Но для снижения веса таких массивных стен, из экономии, а может, даже с точки зрения сейсмостойкости, в них было устроено семь ниш полуциркульных и трапециевидных очертаний и проём входа.

Ширина больших ниш 8,9 метра, глубина 4,5 метра. Объём ниш составляет почти треть объёма стены. При этом из-за армирования стены кирпичными



Система кирпичных арок в стене

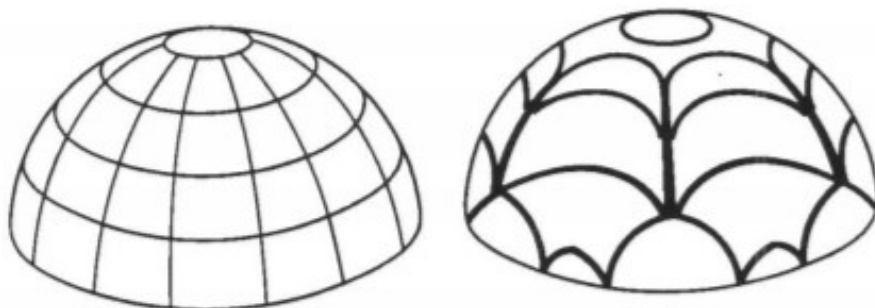
ми арками прочность её от этого не снизилась. За счёт глубоких ниш в стене получилось, что она состоит из восьми устоев-пилонов, которые перекрыты кирпичными арками. На эти арки опирается следующая система арок в стене. В совокупности эти арки создают основу для опоры купола. Мощные полуциркульные кирпичные арки двойкой кривизны, проходящие через всю толщину стены и заложённые в массив её верхней части, работают подобно

упругим волнистым рессорам, на которые опирается сам купол со своим двойным, опять же кирпичным, каркасом. Во всей этой очень даже непростой конструкции из монолитного бетона и втопленного в него каркаса из кирпичных арок очень важно было обеспечить их совместную работу. Я уж не буду объяснять вам такую мелочь, как добились древние строители равномерной усадки такого большого неоднородного массива при твердении бетона. Попробуйте сами сообразить. Вопрос в другом. Как работали кирпичные арки в монолите бетона? Всё гениальное просто: в замесы бетона добавляли излишнее количество извести, а в качестве инертных заполнителей в нём использовали достаточно мягкий камень травертин. В результате получилось, что жёсткие кирпичные арки работали в более мягкой пластичной среде, воспринимая на себя всю нагрузку от купола. Опять же, умеренно пластическая масса Пантеона служила гасителем колебаний при землетрясениях.

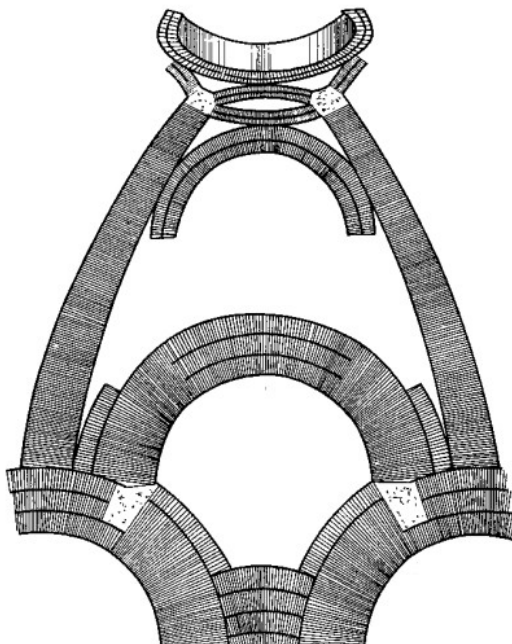
Добрались мы и до литого купола Пантеона. Совсем уж интересна его конструкция. Для обеспечения куполу надёжности в его основу заложены две арочные системы из кирпича. Обе эти системы втоплены в монолитный бетон купола. За счёт такой конструкции купол получился прочным и несколько даже пластичным. Нижняя кирпичная каркасная система купола состоит из 5 поперечных и 28 меридиональных рёбер. Вся система, разумеется, замкнута и обра-

зует регулярный каркас. Вторая каркасная система расположена в монолите купола над первой. Она состоит уже из 8 более мощных меридиональных рёбер (по числу пилонов стены) и набора арок, связывающих эти рёбра между собой в единый каркас. Указанные рёбра второго каркаса опираются не на жёсткие пилоны, а на упругие арки, перекиннутые между пилонами стены. Вот эти две каркасные системы, втопленные в более мягкий, обладающий в какой-то степени пластическими свойствами, однородный массив бетонного купола, и создали уникальный по своей идее сейсмостойкий купол.

Других куполов с двойным каркасом пока нигде не обнаружено.

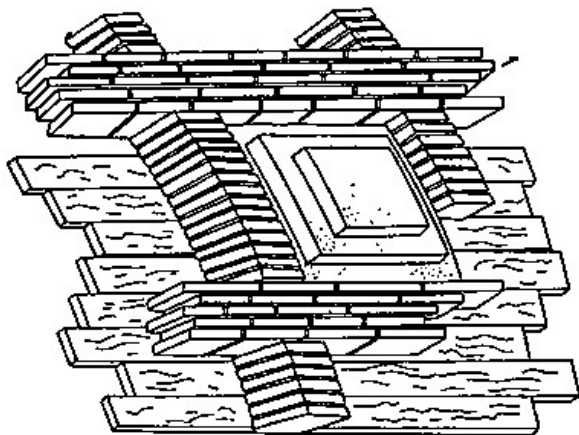


Схемы нижней и верхней каркасных систем монолитного купола



Фрагмент верхней каркасной системы

Разумеется, вес купола зодчие Рима тоже стремились снизить без потери его прочности. Для этого было проведено два основных мероприятия.



Устройство кессона

Первое. По всей нижней поверхности купола были устроены кессоны, которые представляют собой углубления между рёбрами нижнего прямоугольного каркаса. Эти кессоны – пустоты довольно больших размеров, у основания купола они имеют глубину 0,8 метра при ширине 4,0 метра, у вершины их глубина 0,6, а ширина 2,5 метра. Таких ячеек в куполе всего 140 штук. Это снизило вес купола примерно на шестую часть. Кстати, важно, что кессоны отливались одновременно с куполом. В результате получилось, что

сферическая оболочка опирается на арочную систему, образованную рёбрами.

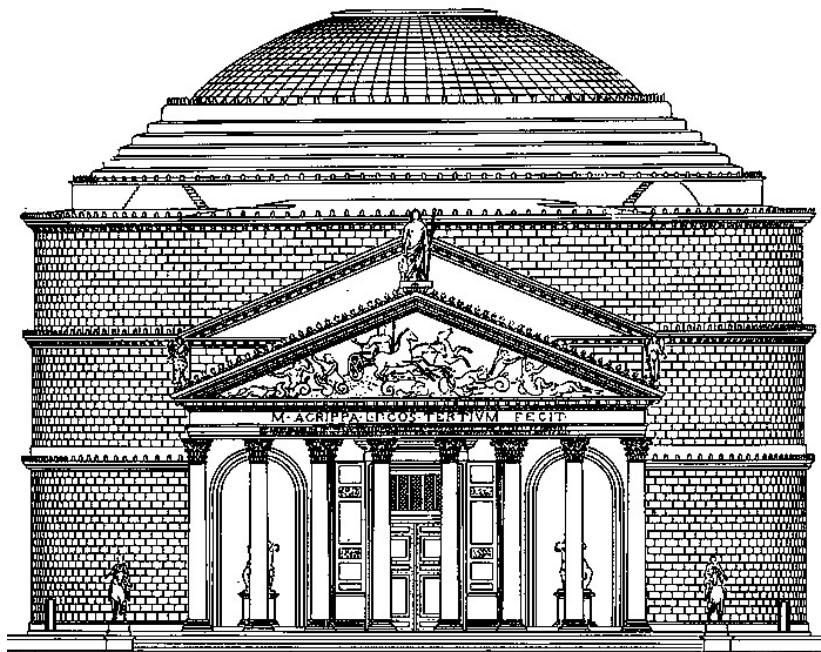
Второе. Для снижения веса купола в нижних его частях, где самые большие напряжения, применяется в качестве заполнителя бетона тяжёлый травертин. Выше применяются более лёгкие заполнители из туфа и пемзы.



Внутренний вид Пантеона – видно оформление ниш в стенах.

Никакого анализа Пантеона с позиций сейсмостойкого строительства я делать не буду. Просто мне нечего сказать: всё совершенно и даже больше. Ясно, как продуманно боролись римские зодчие за вечность своих сооружений.

Нам остаётся только вспомнить, что мы были в храме всех богов. И главный среди них – Юпитер. Для общения с ним на самой вершине купола было устроено отверстие размером 8,9 метра – охайон. Вот на этой странице и приводится фотография, показывающая, как проникает свет в этот храм. Здесь же видны кессоны потолка и дан общий вид Пантеона.

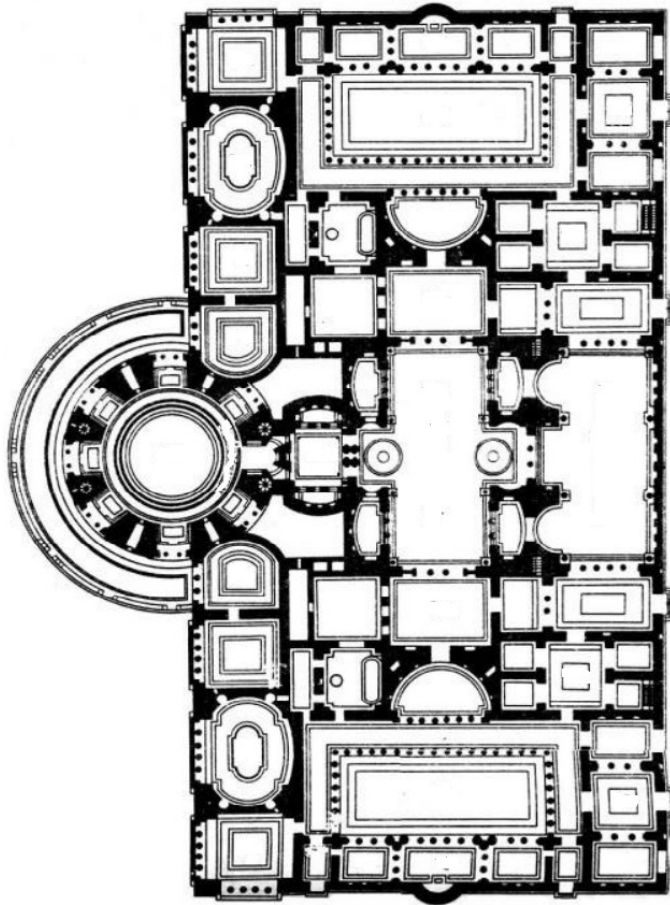
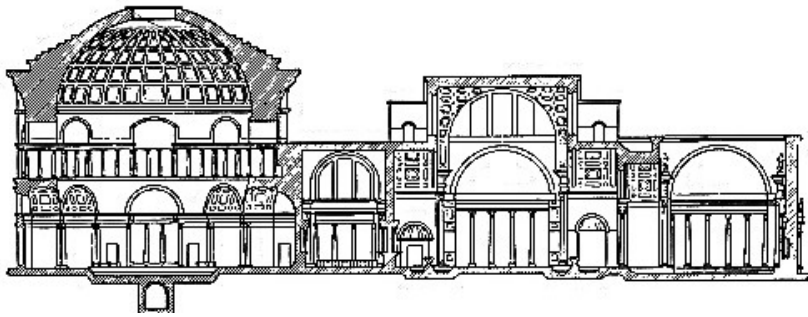


Термы Каракаллы



*Термы Каракаллы: реконструкция
и современное состояние центрального здания.*

В предыдущей главе на примере Пантеона мы познакомились с тем, как надо строить в сейсмически опасных районах. В этой главе на примере терм Каракаллы мы увидим, как не надо строить в таких районах.



Разрез и план центрального здания терм Каракаллы

В начале III века (212-216 гг.) в Риме при императорах династии Северов были построены колоссальные общественные сооружения многоцелевого назначения – термы Каракаллы. Центральное здание имело размер в плане 214 на 110 метров. Оно состояло из симметрично расположенных помещений разной высоты и конфигурации.

Каждое из этих помещений имело свой тип перекрытия, а кое-где его вообще не было. Короче говоря, это огромное в плане здание с одной плоскостью симметрии имело чрезвычайно нерегулярную и неоднородную структуру. Уже это является нарушением принципов сейсмостойкого строительства. Посмотрим, к чему это привело.

Как видно из плана и разреза терм, всё сооружение группировалось и примыкало к круглому залу, перекрытому литым, как у Пантеона, куполом диаметром 35 метров. Купол был весьма массивным и намного тяжелее, чем у Пантеона. И вообще, все элементы конструкций терм были массивными и тяжёлыми. Это было связано с тем, что при устройстве трёхслойных стен для внешней их оболочки здесь часто использовался камень, а не кирпич. Это мы увидим дальше, когда начнём знакомиться с руинами терм.

В центре здания терм располагался огромный зал размером 20 на 54 метра, перекрытый тремя крестовыми цилиндрическими сводами из литого бетона, опиравшимися на восемь столбов. Купол и этот зал являлись самыми высокими частями терм. К ним примыкали другие, более низкие, перекрытые сводами помещения. Получалось, что передаваемыми и воспринимаемыми распорными усилиями части здания были связаны между собой, поддерживая друг друга. Поэтому антисейсмических швов, которые разделяли бы это гигантское сооружение на отдельные части, чтобы те могли во время землетрясения колебаться независимо друг от друга, устроено не было. Это ещё одно нарушение принципов сейсмостойкости. Получалось, что во время землетрясения эта огромная неоднородная плита-здание должна была начать изгибаться и разваливаться, как ей вздумается, на отдельные массивные куски. Вот руины терм и состоят сегодня из таких огромных глыб бетона. Единственное требование сейсмостойкости, которому отвечала конструкция терм, это прочность и некоторая пластичность их материала – бетона. Но этого было недостаточно, поэтому термы Каракаллы и дошли до нас в руинном состоянии.

Расскажу вам об одном любопытном мнении по поводу терм Каракаллы. Был такой авторитетный археолог – Алексей Степанович Башкиров, который написал четыре тома о сейсмостойкости древних сооружений. Так он высказал мнение, что таким неоднородным гигантское здание терм было построено специально для обеспечения его сейсмостойкости. Он считал, что каждая часть терм будет во время землетрясения колебаться по-своему, оказывая гасящее воздействие на соседние части, которые будут двигаться по-другому. И так будет происходить взаимное гашение колебаний неоднородных частей терм и, соответственно, сооружения в целом. В принципе это возможно. Но, к сожалению, вопрос этот совершенно не исследован. Где-то произойдёт взаимное гашение колебаний, а где-то случится их наложение. Этот подход использовался в китайских пагодах. Но там было два элемента: гибкий и жёсткий. А как быть, когда элементов несколько? Не ясно.

Так что вопрос движения нерегулярных систем во время землетрясения остаётся открытым.

А теперь побываем на руинах терм Каракаллы и бросим на них пару взглядов.



Эти два пилона – остатки опоры главного купола



А на этом месте был центральный зал

Дальше нам некуда деваться. Раз уж мы в Риме – отправимся в собор Святого Петра. Проследим трудный творческий путь, которым шли величайшие зодчие, создавая собор и его купол.

Собор Святого Петра в Риме



Собор Святого Петра в Риме

Собор Святого Петра в Риме является самым крупным сооружением эпохи Возрождения. Идея его возведения, можно считать, принадлежит Донато Браманте (1444-1514) – крупнейшему архитектору эпохи Высокого Возрождения. А началось всё с того, что древняя базилика с захоронением апостола Петра, заложенная ещё в IV веке императором Константином, начала ветшать и грозила обрушением. Вот тогда-то Браманте и предложил папе Юлию II возвести на месте старой базилики грандиозный собор с вознесённым высоко в небо огромным куполом. Этот новый собор должен был не только увековечить память об апостоле Петре, но и прославить имя римского папы Юлия II.

С 1503 года, когда Браманте был назначен главным архитектором собора Св. Петра, он занялся разработкой его проекта. Перед ним стояла очень даже не простая архитектурная и техническая задача. При возведении нового собора, кроме большого горизонтального внутреннего пространства, необходимо было добавить вертикальное обозрение, что можно было сделать только с помощью устройства большого купола. Но теперь купол должен был опираться не на массивные стены, как это было в Пантеоне, а на четыре пилон, которые не должны были разрывать связь центрального пространства под куполом с пространством боковых нефов. Кроме всего прочего, купол должен был высоко парить над зда-

нием собора, поднятый на цилиндрическом барабане со множеством световых отверстий. За счёт поднятия купола на большую высоту поднимался и центр тяжести всего здания, что плохо влияло на его сейсмостойкость. Надо было также обеспечить надёжную связь барабана купола со всей системой перекрытия собора на случай землетрясения. Всё это прекрасно понимали замечательные архитекторы, которые трудились над созданием собора. Наша задача только это проследить.

После одобрения папой Юлием II проекта собора, разработанного Браманте, в 1506 году состоялось его торжественное заложение. Общая площадь здания должна была при этом составлять 134 на 134 метра, а купол Браманте предполагал сделать практически таким же, как в Пантеоне, взяв его диаметр 42,3 метра.

К 1510 году были возведены два подкупольных пилона, и тут обнаружилось существенные ошибки в проекте. Тяжёлый монолитный купол предполагалось установить на сорока восьми высоких колоннах, расположенных по его периметру в три ряда. Стало ясно, что их будет недостаточно для восприятия не только сейсмических, но и ветровых нагрузок. Опять же, четыре возводившихся подкупольных опорных пилона слабы, чтобы поддерживать всё тот же массивный купол. Кризис идей – надо было срочно менять проект. А тут умирает папа Юлий II (1513), а вскоре и сам Браманте (1514). Работы над собором на некоторое время прекратились.

После Браманте главным архитектором собора был назначен знаменитый Рафаэль Санти (1483-1520) с помощниками Антонио Сангалло (1484-1546) и Томмазо Перуцци (1481-1536). Но, к сожалению, из-за войн и других политических событий со времени от смерти Браманте до смерти Перуцци (1536), сменившего в 1520 году Рафаэля на посту главного архитектора собора, работы по строительству практически не велись. Но надо сказать, что Рафаэль успел создать свой проект собора, в котором он отказался от центричности здания, значительно удлинив его. Здесь наше внимание должен привлечь творческий труд Перуцци над разработкой центрических планов вообще и собора Св. Петра в частности. Он ищет новое решение для создания облегчённого купола. Понимая недостатки купольных опорных пилонов Браманте, он предлагает вместо четырёх сделать восемь пилонов, да ещё усилить их шестнадцать приставными колоннами, что, разумеется, разорвало бы связь подкупольного пространства с нефами. А вот по поводу размера купола предложения у Перуцци были самые фантастические. Он предлагал вместо купола диаметром 42,3 метра устроить купол в 66 метров. Затем он захотел построить колоссальное центрическое сооружение, целиком перекрытое куполом диаметром в 185 метров, но для сооружения из камня, кирпича и бетона это уж слишком, тем более – в сейсмически опасном районе.

Строительство собора возобновилось при Антонио Сангалло в 1534 году. Этот этап строительства продолжался до 1546 года. Архитектор постарался сохранить сделанное Браманте. Дальше будем продолжать обсуждать конструкцию только самого главного фрагмента здания – купола, от которого и зависит, собственно, надёжность всего сооружения.

Создавая свой первый проект купола, Сангалло постарался сохранить внешнюю форму сферического купола Браманте и при этом внести только такие конструктивные изменения, которые исправили бы его ошибки. Прежде всего было усилено соединение между куполом и несущим его цилиндрическим барабаном. Для лучшего восприятия распора от купола стена барабана была значительно утолщена с 4 метров, как было у Браманте, до 7,5 метра. Сорок восемь кольцевых колонн остались, но теперь они были прислонены к стене с небольшими оконными проёмами. Всем этим была обеспечена хорошая связь между куполом и несущим барабаном. Интересны предложения по изменению самого купола. При сохранении сферической внешней поверхности купола внутренняя поверхность имеет возвышенную форму – точно так, как это было сделано Брунеллески веком ранее в куполе Флорентийского собора. Кривая Сангалло имеет стрельчатую форму и описывается из двух центров, что обеспечивает плавное сопряжение купола и цилиндра. Кстати, стрельчатая форма куполов и арок повышает их сейсмостойкость.

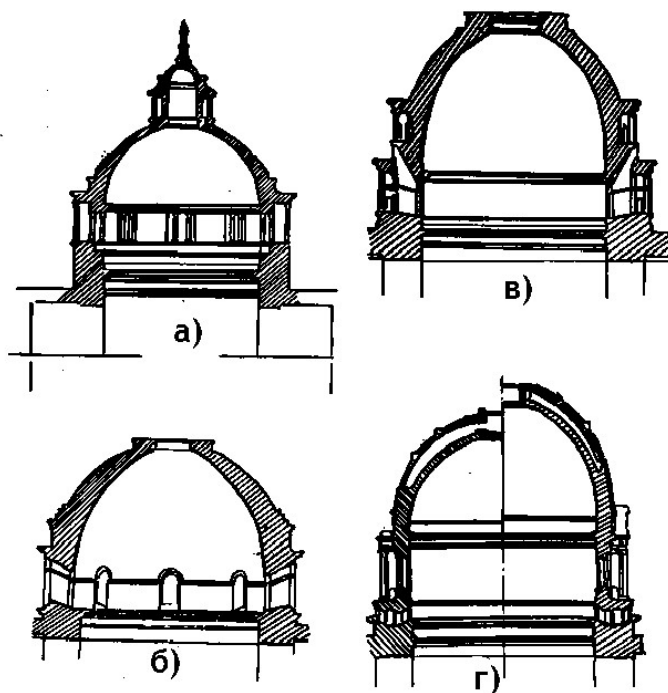
По-видимому, проведённые усовершенствования купола Браманте Сангалло не удовлетворили. Уцепившись за идею стрельчатости купола, он стал доводить её до совершенства. Сколько было промежуточных вариантов купола, мы не знаем, но последний известен. Он был разработан в 1533 году и сохранился до наших дней в виде хорошей модели. В этом проекте использованы два интересных для нас приёма. Форма купола совсем иная, чем во всех предыдущих проектах: эллипсоидная, вытянутая вверх. Ясно, что этим сразу уменьшается распор от купола и обеспечивается плавность перехода от купола к барабану. Эта плавность важна для сейсмостойкости купола.

Другая особенность купола Сангалло, обеспечивающая ему повышенную устойчивость, в том, что нижняя его часть охвачена, как поясом, двумя ярусами аркад. Сами аркады опираются на утолщённую стенку барабана, который теперь надёжно гасит распор от купола. Подкупольные опорные пилоны были усилены. С точки зрения прочности новый вариант собора был вполне приемлем, но сильно заострённый купол, загромождённый двумя ярусами арок, потерял пропорции и архитектурную выразительность. Проект был забракован.

После смерти Сангалло (1546) дошла очередь и до Микеланджело (1475-1564). Папа Павел III дал ему широкие полномочия, назначив одновременно главным зодчим собора, комиссаром и инспектором, поручив наконец-то закончить собор, наведя порядок в том строительном хаосе, который царил на строительной площадке со времён Браманте. Микеланджело подверг всё сделанное критике и начал перекраивать заново, используя, разумеется, уже накопленный опыт. Он даже пытался осуществить мечту Браманте и вознести на барабане сферический античный купол. В результате инженерного анализа этот вариант им тоже был отвергнут – он искал своё решение.

Любопытно, что все изменения, которые Микеланджело решительно провёл в конструкции собора, были направлены на придание ему монументальности и архитектурной цельности, но при этом он не забыл повысить его прочность и сейсмостойкость. Микеланджело предложил в новом проекте здания собора провести переделки явно с учётом принципов сейсмостойкого строи-

тельства. Он значительно упростил план собора, убрал выступающие части и упразднил угловые башни. На первый план было выдвинуто центрально-купольное пространство, вокруг которого формируется всё симметричное здание с плавно очерченными и без изломов сопряжёнными стенами.



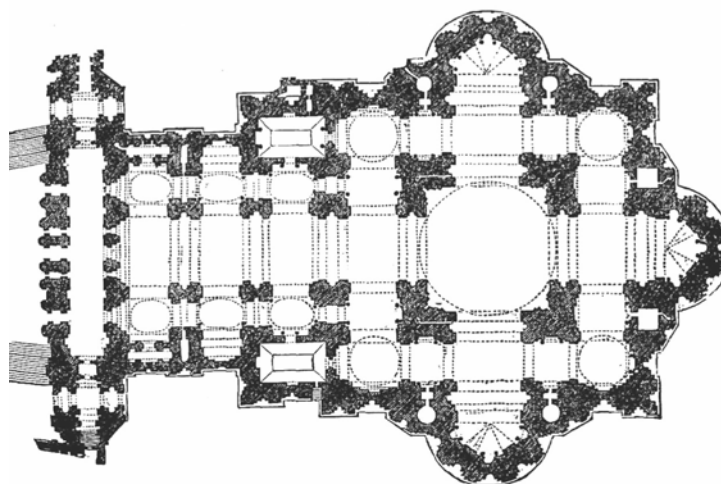
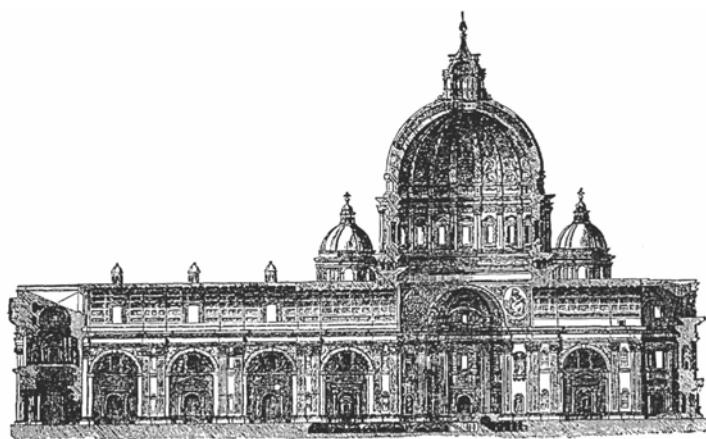
*Варианты купола собора Св. Петра:
а - Браманте; б - исходный Сангалло;
в - последний Сангалло;
г - Микеланджело и Джакомо делла Порта.*

Особое внимание Микеланджело уделил, конечно, куполу как самому сложному и ненадёжному с точки зрения сейсмологии элементу конструкции. Он сделал несколько моделей из глины и дерева, но уже в первой модели применил конструкцию двойного купола, состоящего из двух скорлуп, соединённых рёбрами жёсткости. Материал в таком двойном куполе расположен более рационально, чем в сплошном, и, соответственно, купол получается легче. Во Флорентийском соборе тоже двойной купол, но там несущая оболочка одна, другая – защитная. Здесь же Микеланджело сделал обе оболочки равноправно-несущими. Микеланджело успел возвести только барабан купола, а сам купол закончил в 1588-1590 гг. Джакомо делла Порта, следуя идеям Микеланджело, поднял очертание купола более чем на 4 метра, снизив ещё этим распор.

Созданные по идеям Микеланджело конструкции собора отличаются изяществом и тонкостью, что не всегда идёт на пользу сооружению с точки зрения его долговечности. Так, стена барабана, возведённого ещё при Микеланджело,

имеет всего трёхметровую толщину, к которой добавлено шестнадцать каменных контрфорсов, украшенных спаренными коринфскими колоннами. Дополнительно в основание купола было заложено три кольцевых железных обруча. Но всего этого оказалось недостаточно, чтобы держать распор от гигантского, более чем сорокаметрового купола. Плохо связанные с основанием купола и, соответственно, недогруженные контрфорсы отслоились от перегруженной стенки барабана, а в самом куполе зазмеились трещины. В XVIII веке основание купола пришлось усиливать шестью мощными металлическими обручами: четыре на купол и два на барабан. К этому можно добавить: слава Богу, что за более чем четырёхсотлетнее существование собора в Риме не было сильных землетрясений. Думаю, что восьмибалльное землетрясение может стать для собора критическим, а девятибалльное будет роковым.

Размеры собора: высота 189 метров, длина с портиком 211 метров. До 1990 года это был самый большой собор христианского мира. А теперь посмотрим несколько иллюстраций к сказанному.



Продольный разрез и план Собора Святого Петра



Купол и его барабан



Подкупольное пространство и опорные пилоны

Храм Святой Софии в Константинополе



Музей Айя-София в Стамбуле

Перед нами собор Святой Софии – самое выдающееся произведение византийского зодчества. Собор был главным христианским храмом не только Константинополя, но и Византийской империи. Он был самым большим храмом в мире до того, как в XVI веке был построен собор Святого Петра в Риме.

Первая христианская базилика, посвящённая Святой Софии – Премудрости Божией, была построена на этом месте в 324-337 гг. ещё при императоре Константине. В 404 году во время народного восстания этот храм сгорел. Следующая базилика того же названия была возведена на этом месте при императоре Феодосии II. И этот храм сгорел при следующем восстании 13 января 532 года. Спустя сорок дней после пожара император Юстиниан I распорядился построить на этом месте собор того же имени. По его замыслу собор должен был не только украсить столицу, но и прославить величие империи в веках. Приказано было денег на храм не жалеть. Что и было исполнено – на строительство храма ушло три годовых бюджета империи.

Для составления проекта собора и руководства его строительством были

приглашены лучшие архитекторы того времени: Исидор Милетский и Анфимий Тралльский. Работа пошла высокими темпами, что не всегда на пользу прочности сооружения. Ежедневно работало две команды по пять тысяч человек. Строительство было закончено в кратчайшие сроки – с 532 по 537 год.

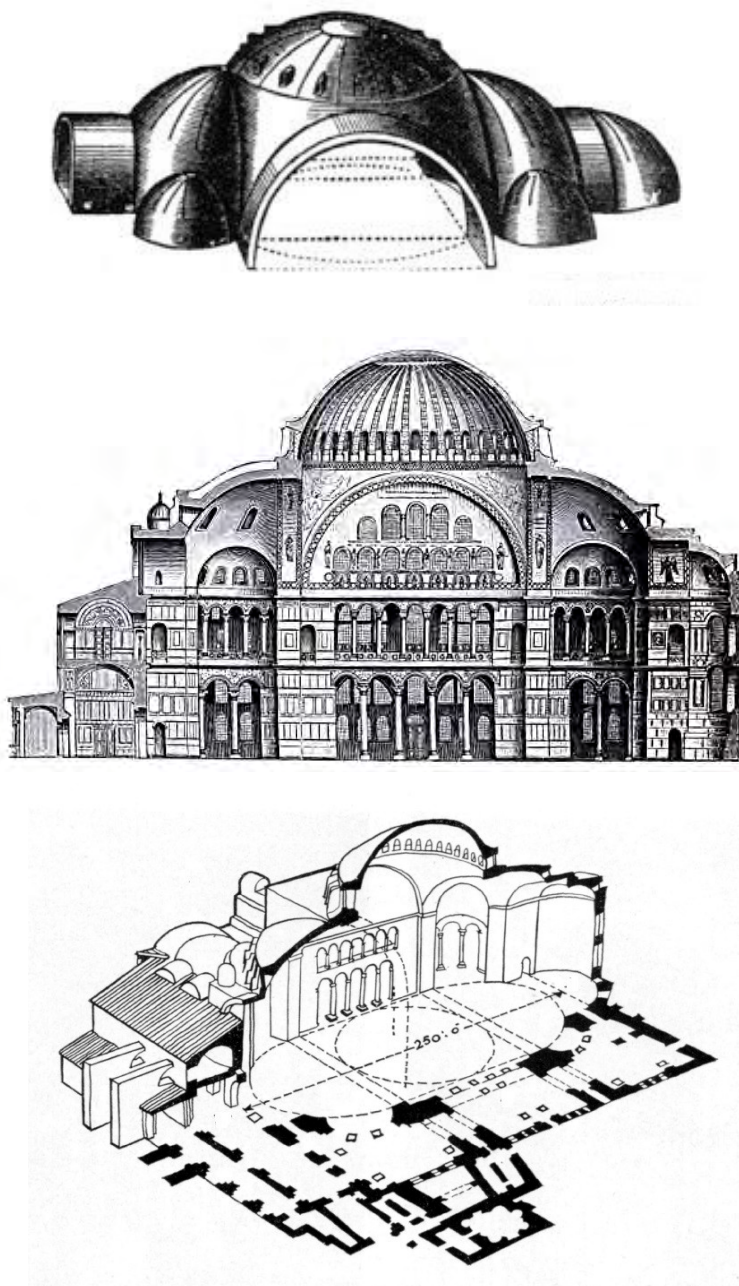


Схема системы куполов, продольный и аксонометрический разрезы собора.

Собор Святой Софии был очень богато украшен, но мы с вами люди суровые: нас его художественные ценности интересовать не будут. Для нас главная ценность – прочность и сейсмостойкость храма. А вот с этой точки зрения в конструкции собора не всё было в порядке. Не зря его купол уже в византийские времена несколько раз обрушивался. Вот и займёмся конструкцией собора.

Существует, собственно, два типа перекрытий зданий. Первый – это балочно-стоечный, который применяли древние греки в своих храмах. Этот же тип конструкций применялся в раннехристианских базиликах – этаких прямоугольных сооружениях с почти плоской кровлей, разделённых внутри на отдельные нефы рядами колонн. Был и второй тип, когда центрическое здание перекрывалось куполом или цилиндрическим сводом. Такие сооружения мы видели у римлян. Зодчие Софийского собора Исидор и Анфимий решили использовать некий промежуточный тип. Прямоугольную базилику шириной 70 и длиной 75 метров они решили перекрыть сложной системой взаимно связанных куполов. В центре находится главный купол диаметром 31 метр. По художественному замыслу авторов этот первый купол имел весьма небольшую стрелу подъёма, всего 8,2 метра. И, соответственно, от такого достаточно тяжёлого купола из кирпича передавался очень большой распор на нижележащие несущие конструкции. Кстати, основным строительным материалом собора являлся кирпич, уложенный на толстых слоях цементного раствора (это смесь извести, толчёного кирпича, песка и воды). В ответственных элементах конструкции использовался крепкий известняк. Так, четыре подкупольных пилона выложены из крупных блоков известняка со свинцовыми прокладками для лучшего контакта.

Вот теперь мы можем заняться вопросом, куда и как передаётся вес и распор от центрального купола. Кстати, расстояние от пола собора до вершины купола – 55 метров. Вес купола передаётся на четыре мощных подкупольных пилона из камня, которые почти не работают на сдвиг и поэтому распор от купола не держат. Как можно увидеть на приведённых выше рисунках, в продольном направлении распор от купола воспринимают полукупола того же диаметра, к которым пристроено в свою очередь ещё по три небольших купола. Вот такая сложная взаимосвязь была устроена. Хуже обстояло дело в поперечном направлении. Через арки горизонтальное усилие передавалось на продольные стены собора, которые плохо работали на сдвиг в этом направлении. Получилось, что центральный купол опирался на конструкции разной жёсткости в продольном и поперечном направлениях. Разумеется, такая несимметрия плохо кончилась. Уже при ближайшем небольшом землетрясении в 557 году купол рухнул. Сыграла здесь свою отрицательную роль и цепочка из взаимосвязанных куполов, которые не могли работать независимо друг от друга, как требовалось...

Стало ясно, что эстетически очень красивая, мудрёно задуманная система куполов перекрытия с прочностной точки зрения не очень-то удачна. Такое перекрытие надо было срочно усиливать. Чтобы снизить распор, новый купол Исидор Младший в 563 году возводил уже в виде сферы. Этот купол был выше рухнувшего на 6,3 метра. Но этого было недостаточно. Купол продолжал разрушаться. Особенно сильно купол разрушился при землетрясении 989 года. Его восстановлением занимался армянский архитектор Трдат.



*Видно, как центральный купол в продольном направлении
опирается на полукупол,
а в поперечном – на продольные стены.*

Трдат, добиваясь ещё большего снижения распора от купола, сделал его ещё более высоким. Но самое неприятное заключалось в том, что с целью укрепления продольных стен их подпёрли мощными каменными контрфорсами. От этих грубых контрфорсов здание собора потеряло свой прежний обтекаемый вид. Эти контрфорсы вы увидите на следующей фотографии.

Применялись и другие способы укрепления купола. Так, например, при каждом восстановлении купола устраивались монтажные металлические затяжки в его основании. Потом они спиливались. Позднее спиливать их перестали, а, наоборот, стали делать более прочными.



Видны контрфорсы, которые обезобразили общий вид собора

В 1453 году турецкие войска султана Мехмеда II захватили Константинополь. Из христианского собора они устроили мечеть, назвав её Айя-София. При этом проблемы с усилением купола, разумеется, сохранились. В XV веке купол обжали металлическим обручем, а в 1847 году купол и своды снова укрепляли – железными цепями.

Короче говоря, наши принципы сейсмостойкого строительства совершенно правы, когда требуют, чтобы сооружение было наипростейшей формы или было разрезано на такие простые формы.

В 1935 году по декрету, подписанному Мустафой Кемалем Ататюрком, Айя-София стала музеем. Бывают же мудрые правители.

Буквально сегодня (16.06.2020) в турецком парламенте обсуждают предложение сделать Айя-Софию опять мечетью. Думаю, что я не успею дописать книгу, как это сбудется. Так оно и случилось уже в августе.

Из Византийской империи наш путь лежит дальше на Восток, в Армению, которая имела тесные контакты с империей.

Сейсмостойкость храмов Армении

Античный храм Гарни



Античный храм Гарни, I век н. э.

Храм Гарни, сохранившийся до наших дней античный храм, был построен в I веке н. э. по заказу армянского царя Трдата I (правил в 66-88 гг.). Он находится в двадцати восьми километрах от Еревана в долине реки Азат. Здесь уже в дохристианские времена была сооружена неприступная крепость, в состав которой и входил храм Гарни. С приходом в Армению христианства такие языческие храмы подлежали уничтожению. На их месте ставили огромные кресты, а потом и церкви. Храм Гарни тогда каким-то чудом уцелел, но в 1679 году его полностью разрушило сильное землетрясение.

В XIX веке развалинами храма начали интересоваться археологи и путешественники. В 1933 году архитектор Н. Г. Буниatian составил план реконструкции первоначального вида храма. В 1966-1976 гг. под руководством архитектора А. А. Саиняна храм был восстановлен.

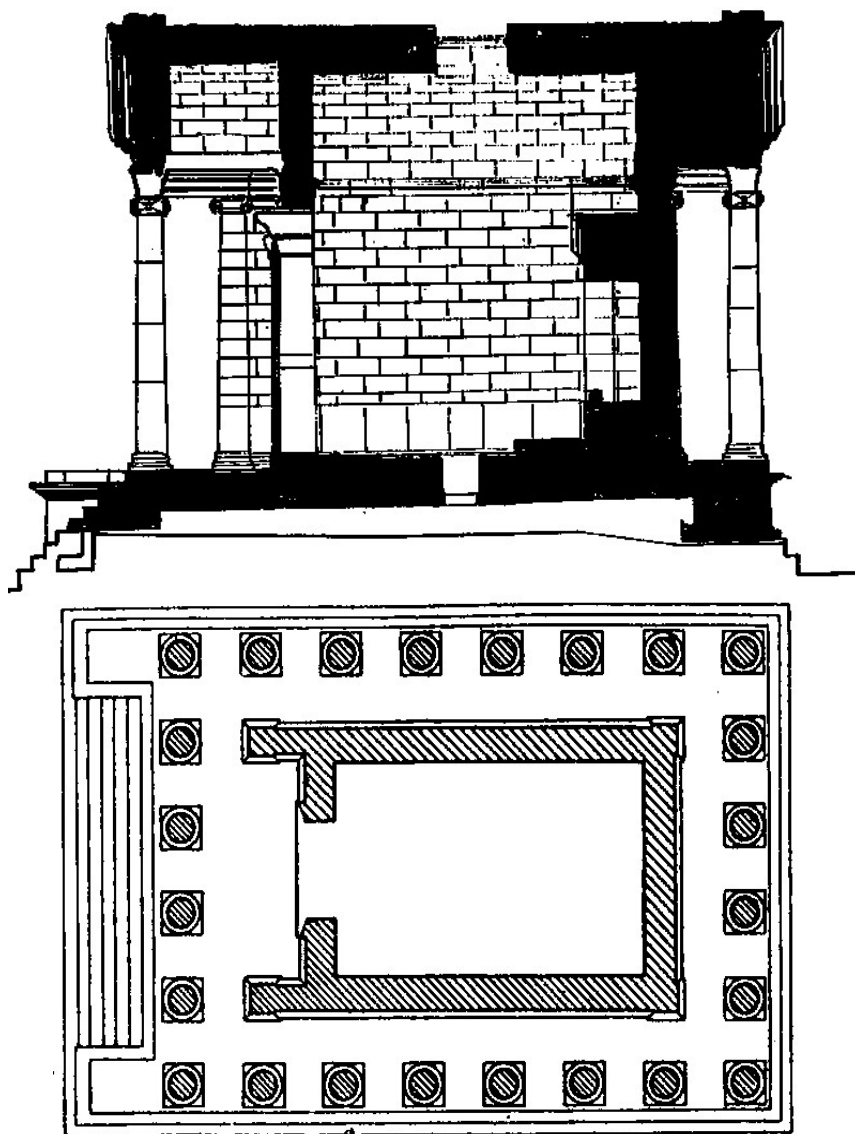
Наша задача совершенно конкретна. Мы хотим познакомиться с устройством этого необыкновенного храма и узнать, почему он так сразу рухнул от землетрясения.



Храм Гарни перед началом восстановления и после него

Самый первый взгляд на античный храм Гарни вызывает некоторое недоумение. Как сюда попал этот греческий храм? Перед нами самый настоящий периптер с завитками ионических колонн. Но это только на первый взгляд.

На самом деле в этом храме гармонично сочетаются греческие формы и строительные приёмы армянских мастеров. Хотя бы такой факт: весь храм сложен из деталей, вырубленных из базальта. Греческие мастера работали с мрамором и известняком и твёрдый базальт никогда не обрабатывали. Но, как всегда, начнём по порядку – с фундамента.



Продольный разрез и план храма Гарни

Храм стоит близко к краю обрыва на наклонном участке скалы, поэтому с помощью известкового бутобетона скала была выровнена таким образом, что получилась горизонтальная площадка. При этом ближе к обрыву толщина бутобетона достигала 2,5-3 метров. С противоположной стороны она практически равнялась нулю. Из того же бутобетона чисто по-восточному выполнена платформа, на которой стоит всё сооружение. Это так называемый подиум храма.

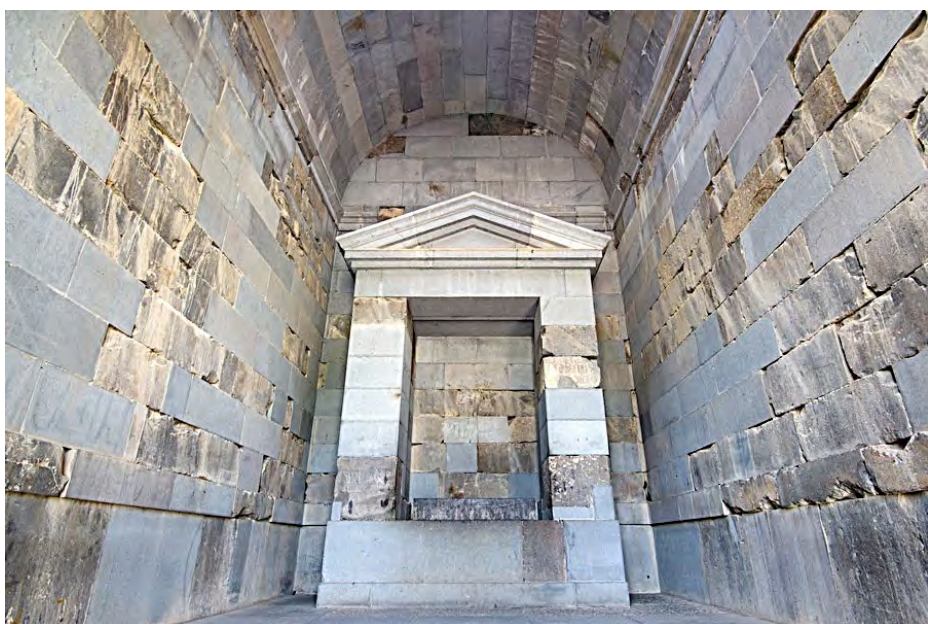
Стены же целлы, как и положено в греческом храме, выложены из базальтовых блоков всухую, без раствора. Камни стен и перекрытий в горизонтальном и вертикальном направлениях соединены между собой железными штырями и скобами, обильно залитыми свинцом. При этом стены сложены из одного ряда каменных блоков, так что толщина стены равняется ширине камня. Любопытно, что колонны составлялись из каменных барабанов, соединённых между собой, с плитой пола и с перекрытием двумя и тремя бронзовыми стержнями. Греки в таком случае ставили один центральный штырь.



Вид на храм Гарни сбоку



Видны отверстия в барабанах и основаниях колонн, сделанные перед сборкой.



Элементы кровли и внутреннее пространство целлы

Части перекрытия также соединяются стержнями и скобами, залитыми свинцом. Храм Гарни имел над своей центральной частью, целлой, перекрытие в виде цилиндрического свода пролётом 5,5 метра из клиновидных камней, соединённых известковым раствором одновременно с металлическими связями.

Греки в принципе таких перекрытий не устраивали. Они применяли более лёгкие деревянные стропильные перекрытия. Этот же храм целиком каменный. Пространство между сводом целлы и плоским перекрытием из плит над боковыми колоннами и кровлей было целиком залито известковым раствором с лёгким заполнителем из вулканической пемзы. Таким образом, двускатная поверхность кровли была образована массой облегчённого бутобетона, который был залит от нижних плит покрытия до черепицы кровли.



Общий вид храма Гарни и окружающие его горы

Если проанализировать конструктивную схему храма Гарни, с которым мы только что познакомились, то мы получим расчётную модель сооружения, с которой пока не встречались. Ранее мы рассмотрели податливые схемы греческих храмов или жёсткие монолиты римских сооружений. Теперь мы встретились как бы с комбинированной схемой, которая выглядит следующим образом: две абсолютно жёсткие пластинки, нижняя – платформа из тяжёлого бутобетона и верхняя – перекрытие из камня и лёгкого бутобетона, а между ними достаточно податливая опорная связь из колонн и стен, образованная каменными блоками, поставленными насухо и соединёнными упруго-пластическими связями.

В этой модели сооружения все жёсткости и массы расположены симметрично относительно продольной плоскости симметрии. Размеры сооружения в плане весьма умеренные, порядка 10 на 15 метров, что соответствует требованиям сейсмостойкости. В описанной расчётной модели сооружения податливые колонны и стены будут работать во время землетрясения как сейсмоизоляторы. Движения нижней жёсткой плиты не будут полностью передаваться на верхнюю плиту за счёт смягчающего действия податливо работающих стен и колонн. Соответственно, будет снижаться и сейсмическая нагрузка в таком сооружении. Как видите, конструктивная схема этого сооружения очень чёткая: упру-

го-пластически связанные две жёсткие пластинки.

Короче говоря, весь комплекс антисейсмических мероприятий, который был применён древними строителями в этом храме, должен был обеспечить ему вечное существование. Он и простоял шестнадцать веков, а рухнул только в 1679 году от землетрясения по самой бытовой причине: с изобретением огнестрельного оружия окрестные жители начали добывать свинец из его стен. Они так расковыряли его, что храм стал несейсмостойким.

Единственное, в чём можно упрекнуть конструкцию храма Гарни с позиций сейсмостойкого строительства – только в том, что у него слишком тяжёлая каменная кровля. Она относительно более тяжёлая, чем в греческих храмах.

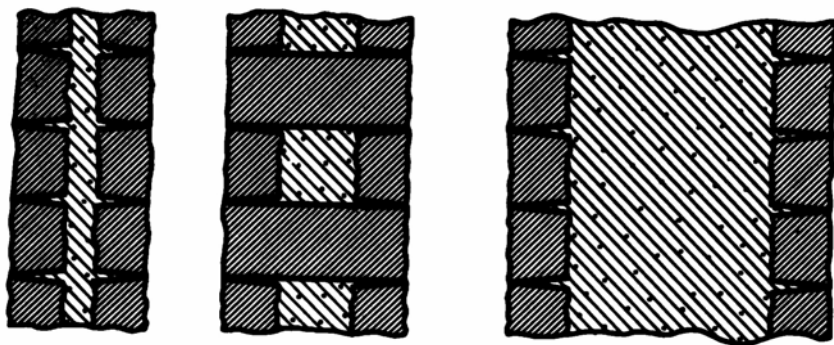
Строительная техника и землетрясение 1988 года в Армении

Мы познакомились с удивительным сооружением – храмом Гарни, созданным армянскими зодчими во времена античности, и увидели высочайший уровень и виртуозность строительных приёмов, которые существовали две тысячи лет тому назад. Двинемся дальше по реке времени и посмотрим, как обстояли дела с сейсмостойким строительством во времена раннего средневековья, а может, заглянем ненадолго и в наше время.

В качестве средневекового примера в следующей главе рассмотрим всемирно известный Эчмиадзинский кафедральный собор, который начал формироваться на рубеже III–IV веков. Но сначала давайте детально поговорим о конструкции стен и куполов армянских храмов вообще. От них зависит сейсмостойкость всего сооружения. Основной строительный материал, которым располагали армянские зодчие, это камень. Менялись времена, менялись люди, менялись и способы возведения стен из камня. К сожалению, как мы увидим дальше, эти изменения шли не всегда в лучшую сторону. На примере античного храма Гарни мы видели, что тогда, в I веке, применялась кладка насухо из крупных притёсанных каменных блоков, соединённых железными и бронзовыми штырями и скобами, залитыми свинцом. Это было всего две тысячи лет тому назад. А какая кладка была ещё раньше? В дохристианские времена кладка крепостных стен шла из гигантских, довольно точно пригнанных, разноразмерных камней. Эту кладку мы называем циклопической. Представьте себе, сколько нужно было мастерства, а главное – трудолюбия и упорства, чтобы вырубать, отёсывать, перетаскивать и устанавливать многотонные базальтовые глыбы. Всё это уму непостижимо!

В первых церковных сооружениях уже не использовалась сплошная кладка из насухо пригнанных друг к другу каменных блоков. Теперь стала применяться трёхслойная неоднородная кладка, состоящая из двух параллельных рядов камней, пространство между которыми заполнялось камнями с известковым раствором. При этом в первых постройках внутреннее пространство, заполненное бетоном, было незначительным и, соответственно, вся нагрузка приходилась на камни. Но было, по-видимому, замечено, что такая конструкция стен не обеспечивает нужной прочности, так как трудно забетонировать все внутренние пустоты, и, следовательно, два ряда камней будут плохо связанными и не смогут работать совместно. Отсюда низкая прочность стен. Тогда стали применять более надёжную конструкцию. Каменные плиты теперь служили только облицовкой, а во время строительства ещё и опалубкой, в которую забрасывали разноразмерный камень, который потом заливали известковым раствором. Пригонка и притёска облицовочных плит на месте производилась настолько тщательно, что раствор не просачивался наружу. При такой конструкции стен всю нагрузку воспринимает сердечник из бетона, и если даже каменная облицовка обвалится,

то стена не потеряет своей несущей способности. Сейсмостойкость таких монолитных стен, ограниченных с двух сторон облицовочными плитами, подтвердили многочисленные удары подземной стихии, на протяжении многих веков обрушивавшиеся на древние сооружения Армении.



Основные типы трёхслойных стен

Храмы с такими стенами, как правило, хорошо выдерживали сейсмические удары. А уж если они и разрушались, на это были какие-то другие веские причины. Такие храмы падали солидно, разваливаясь на отдельные крупные фрагменты. Чуть дальше я покажу вам такой разрушившийся храм. Кстати, при Спитакском землетрясении 1988 года современные здания из-за плохого качества бетона при разрушении буквально рассыпались на мелкие кусочки.

Дальнейшее усовершенствование каменной кладки проводилось в следующем направлении: стали ещё больше экономить камень, известь и трудозатраты, а, следовательно, стены делали тоньше, нагрузку уже передавали и на бетон, и на камень. В этом случае необходимо было обеспечить совместную работу камня с бетоном. Добивались этого укладкой через два-три ряда длинных поперечных связующих камней на всю толщу стены. Такие стены тоже хорошо работают в условиях сейсмического воздействия.

Выше я обещал рассказать вам о храме, рухнувшем при Спитакском землетрясении 1988 года. Так вот, в 1859-1873 годах в армянском городе Александрополе (после революции это был Ленинакан, а потом ему вернули армянское название Гюмри) построили храм Святого Спасителя. Его строили с соблюдением всех древних канонов строительства храмов. Стены были трёхслойные, с облицовкой из камня и массивным сердечником из прочного известкового бетона. Была сделана только одна ошибка, которую древний строитель никогда бы не допустил: неудачно выбрана площадка для строительства. Храм возвели в центре города, в его низменной части. Здесь залегали мягкие, просадочные грунты, которые совершенно теряли несущую способность при замачивании. Постройка была хорошего качества и всё бы, может быть, обошлось. Но уже в наше время умудрились проложить рядом канализационный туннель, который с самого начала стал протекать. Грунты под храмом начали замачиваться и терять несущую способность. Он затрещал. Стали думать, как спасать положение.

И тут грохнуло землетрясение. Центральная часть сооружения, где было самое большое замачивание, рухнула. Мне удалось (как – сейчас расскажу) по лазить по развалинам этого храма буквально через 4-5 дней после землетрясения. А пока посмотрите на фото обрушившегося храма.

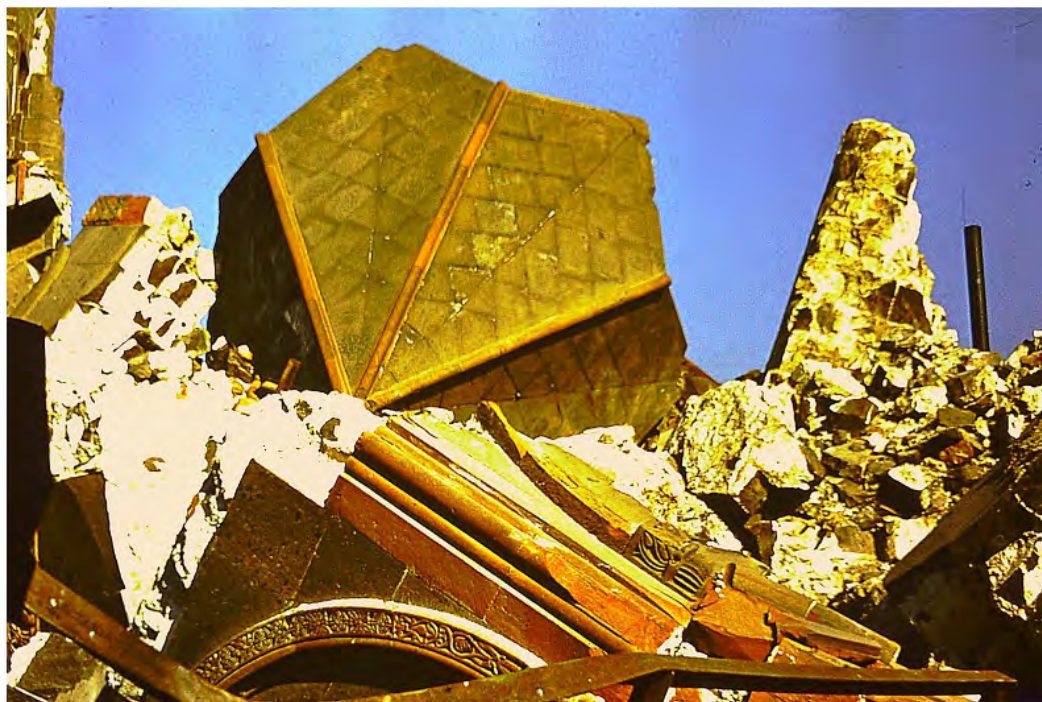


Храм Святого Спасителя до землетрясения и после него

Первое фото сделано в год землетрясения. На втором видно, что руины уже убраны и идёт подготовка к реставрации. Дальше идут мои снимки, сделанные через несколько дней после землетрясения.



Чудом уцелела половина купола и часть стены с входным порталом



Маленький боковой купол упал с высоты храма и уцелел

Удивительно, что задняя стена храма с половиной большого центрального массивного купола уцелела. На срезе этого купола была видна забутовка на прочном известковом растворе. Для облегчения купола использовался в качестве заполнителя лёгкий туф. При таком сильном разрушении, я думаю, могла бы сохраниться только половина купола Пантеона. Купол собора Святого Петра обязательно бы рухнул.

Центральная часть сооружения, где было самое большое замачивание, обвалилась. Над этими развалинами возвышалась чудом уцелевшая узкая полоска стены с входной дверью. Почему уцелела именно эта часть наружной стены – загадка, хотя и известно, что армянские строители придавали большое значение сохранности дверных и оконных проёмов на случай землетрясения. Что-то тут в конструкции есть такое, чего мы понять не можем. Ещё одна любопытная деталь: небольшой боковой купол упал на землю с высоты крыши и не раскололся. Это говорит о прочности известкового раствора.

А теперь я хочу рассказать вам об одном не очень приятном для меня приключении, связанном с фотографированием мной этого самого рухнувшего храма. Этим повествованием я хочу дать вам некоторое представление о том, что тогда происходило. Ни о каких тогдашних ужасах я рассказывать не буду.

Спитакское землетрясение, как его чаще всего называют, произошло 7 декабря 1988 года в 11 часов утра. Произойди оно ночью, жертв было бы неизмеримо больше. Меня оно застало в Ашхабаде на всесоюзной конференции, посвящённой 40-летию Ашхабадского землетрясения 1948 года.



Развалины точно такого же дома

только что видели. Хотелось его обследовать, зная, что стоявший неподалёку более старинный храм уцелел. Несколько раз был в Ленинакане, но времени побывать на этих развалинах не оставалось. И тут случай представился.

В Ленинакане находился штаб во главе с очень строгим и решительным сибирским генералом, руководившим ликвидацией последствий землетрясения. Хорошо, что фамилию его я забыл. Этому генералу нужен был консультант по сейсмостойкому строительству. Вполне понятно, никто не хотел ехать к этому строгому генералу. А я согласился, как псих ненормальный. Решил, что теперь уж точно поизучаю развалины храма. И поизучал!

Из Еревана выехал очень рано, чтобы уже в 8 часов утра приступить к работе. Приехал. В приёмной генерала меня встретил такой буквально блестящий адъютант. Выделил мне рабочий стол. Сажу, изучаю какие-то бумаги. Очень важный. Без моей визы генерал ничего не подписывает. Делаю замечания. И тут подходит время обедать. Штабные офицеры явно собираются идти куда-то. Подходит ко мне прилизанный адъютант и сладким голосом говорит, что «вот там на площади стоит походная кухня, где кормят беженцев, и там я могу спокойно пообедать». Вот те на! Виду не подал, но основательно чертыхнулся. Вышел на площадь. В пункте питания, прямо на холоде, получил миску горячего макаронного супа с мясными консервами и компот из сухофруктов. Всё это быстро заплотнул и наконец-то отправился на развалины храма – тут же рядом. Посмотрел всё, что хотел, и вернулся на своё рабочее место.

Председатель вдруг объявил, что в Армении произошло катастрофическое землетрясение какой-то невероятной интенсивности, что конференция окончена, всем необходимо отправиться в свои институты.

Вернулся в Москву – и тут же с группой сотрудников вылетел в Армению. Жили мы комфортабельно, в ереванской гостинице, но каждое утро рано выезжали на машинах в пострадавшие районы и очень напряжённо работали: проводили обследования разрушенных зданий, составляли различные протоколы и рекомендации. Всё это при довольно сильном морозе и большой психической нагрузке. Приходилось видеть и расплюснутые трупы, и тяжело раненных людей. При всей своей загруженности я не забывал о своём хобби и старался посещать старинные армянские храмы.

Не давал мне покоя рухнувший в Ленинакане храм, который вы сейчас

Продолжаю трудиться, но настроение уже недоброжелательное. А тут и рабочий день идёт к концу. В декабре рано темнеет. Пора бы после такого напряжённого дня где-то отдохнуть. Опять подходит ко мне совершенно любезный адъютант и голосом Иуды говорит: «Вот вам направление в гостиницу, где вы можете отдохнуть». Славно. Беру эту грамоту и отправляюсь в центральную гостиницу, здесь же на площади. Здание гостиницы было кирпичное, дореволюционной постройки, поэтому при землетрясении оно мало пострадало. Захожу в гостиницу. Вокруг жарко натопленной печки-буржуйки сидит женский персонал гостиницы и что-то пахучее стряпает себе на ужин. Протягиваю свой «мандат», они как-то подозрительно хмыкают и дают мне стопку солдатских одеял. Называют номер моего люкса на втором этаже. Поднимаюсь. Картина, мной обнаруженная была не из приятных.

Бесконечный коридор, по сторонам двери в номера. Освещение слабое, лампочки мигают, во дворе слышно, как тарыхтит движок электропитания. Ясно, что может заглохнуть в любой момент, и тогда наступит крошечная тьма. По коридору шастают какие-то подозрительные личности. Захожу в свой номер. Окно выбито. На улице 15 градусов мороза. Дверь не запирается. В комнате только кровать с металлической сеткой. В умывальнике лёд. Вижу, что здесь лучше не укладываться, потому что встать потом шансов мало. Надо просто как-то спастись. Вокруг меня лежал в полной тьме чужой, незнакомый, разрушенный землетрясением, город.

В Ленинанкане я раньше бывал и имел здесь друзей, с которыми выполнял совместно какие-то работы. Но где их тут найдёшь среди развалин? Вспомнил одного нашего бывшего аспиранта по имени Каруш, который жил на окраине города в своем доме. У него мне доводилось бывать. Решил добираться до него. Примерно выбрал направление вдоль главной магистрали города и дальше, руководствуясь только звериным чутьём в борьбе за выживание, отправился в путь. В опасной темноте приходилось пробираться среди гигантских развалин от мгновенно рухнувших шестнадцатизэтажных зданий. Внутри этих развалин горел огонь, который невозможно было потушить, и шёл от них чёрный маслянистый дым с тяжёлым рвотным запахом. Сидели какие-то люди у костров, но к ним я старался не приближаться. В любой момент можно было куда-нибудь свалиться или попасть ногой в трещину. Несколько раз падал, но удачно. И всё-таки чудом в целостности и сохранности добрался до нужного дома.

Постучал. Дверь открыла с трудом узнавшая меня мать знакомого. Сразу, по моему виду, врубилась в моё состояние. Только сказала: «Заходи, снимай пальто». И тут же мягкой тёплой рукой налила и поднесла мне полный до краёв гранёный стакан чачи: «Пей!» Заглотнул. В голове сразу зашумело, мышцы размякли, понял, что жизнь прекрасна. И хорошие люди существуют. Дальше было корыто с горячей водой, хороший ужин, чай с инжирным вареньем. Были и интересные разговоры о землетрясении. Мои друзья были его очевидцами.

Землетрясение началось с того, что издали послышался тяжёлый гул, как будто быстро приближается колонна танков. И этот грохот накрыл их. Они выскочили на улицу, где буквально увидели землетрясение. Был виден передний фронт приближающейся сейсмической волны. При сильном сжатии камней мо-

стовой выдавливалась земля между ними и образовывались фонтанчики пыли. Видно было, как мостовая изгибается. От колебаний земли люди не могли удержаться на ногах и падали. Некоторые для удержания равновесия хватались за деревья, но и деревья сильно раскачивались. А дальше был уже слышен грохот от рухнувших современных зданий и крики людей.

Утром Каруш мне сказал, что с такими людьми, как этот генерал, лучше не иметь дела, посадил в машину и отвёз к рейсовому автобусу на Ереван. В этом штабе даже не поинтересовались, куда я исчез. Путаницы было предостаточно. Вскоре я улетел в Москву. Было у меня ещё одно приключение, похлеще этого, связанное с тем же землетрясением и моим нездоровым интересом к древним сооружениям. Расскажу об этом позднее.

И тогда же, во время моих поездок по пострадавшим от землетрясения районам Армении, мне удалось не только посмотреть, но и потрогать совершенно замечательную небольшую церковь VII века, простоявшую в целости и сохранности до наших дней. Это чудо армянской строительной техники находится недалеко от Еревана – в селении Аштарак. И называется оно церковь Кармравор. Что значит по-армянски Красная церковь, а по-русски – Красивая церковь.



Церковь Кармравор VII века в Аштараке и я

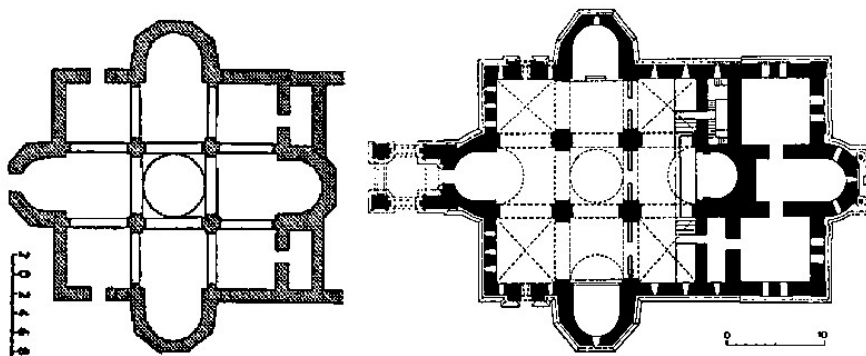


Крестовокупольная церковь Кармарвор, VII в.

А показываю я вам эту церквушку совсем не случайно. Это чуть ли не одна из первых армянских церквей с крестовокупольным перекрытием. В следующих главах мы и будем рассматривать большие храмы с такими перекрытиями. С этой точки зрения храм Кармарвор интересен нам тем, что его внутреннее устройство хорошо видно и снаружи. В плане церковь представляет собой крест, в центре которого лежит подкупольный квадрат. Боковые объёмы перекрыты цилиндрическими сводами. Над центральной частью церкви устроен невысокий восьмигранный барабан, увенчанный древним шлемовидным покрытием. Всё просто и гениально.

Объяснять, что в этой осесимметричной церкви соблюдены все принципы сейсмостойкого строительства, я не буду. Это подтвердило время. Церковь сохранилась при всех подземных бурях, сотрясавших её.

О конструкции Эчмиадзинского собора



Эчмиадзинский собор и его планы: V века и современный.

Эчмиадзин, основанный в начале II века, находится недалеко от Еревана. Прежнее его название – Вагаршапат. Здесь находится известный армянам всего мира Эчмиадзинский монастырь, в котором расположена резиденция Верховного Патриарха и Католикоса всех армян. Мы с вами хотим на примере этого древнейшего христианского храма проследить, как возникла и усовершенствовалась центрическая крестовокупольная система перекрытия храмов.



Центрическое крестовокупольное перекрытие Эчмиадзинского собора

крыты цилиндрическими сводами, которые составляют единое целое с арками, связывающими четыре мощных подкупольных пилона. А уже эти арки плавно переходят в подкупольный барабан, на котором и установлен сам купол. Угловые пространства, оставшиеся вне креста из цилиндрических сводов над апсидами, тоже перекрываются крестовыми сводами.

Нам остаётся проанализировать эту конструкцию храма с позиций сейсмостойкого строительства. Сооружение имеет две плоскости симметрии и соответствующее равномерное распределение масс и жёсткостей. Ясно, что арки большого пролёта, перекинутые между пилонами и поддерживающие барабан достаточно тяжёлого купола, будут иметь большой распор. Чтобы его воспринять, пилоны связаны со стенами через цилиндрические своды. А чтобы повысить устойчивость стен на опрокидывание, устроены выступающие контрфорсы-пятигранники. Короче говоря, все взаимосвязанные несущие элементы храма образуют единую замкнутую пространственную систему, которая обеспечивает ему высокую сопротивляемость сейсмическим воздействиям.

Шло время, и Эчмиадзинский собор ветшал или подвергался каким-то разрушениям во время войн. Как утверждают археологи, в современном соборе от того храма V века сохранились стены центральной части и пятигранные выступы апсид. Всё остальное было заменено. Так, в 1627 году было восстановлено всё перекрытие и возведён новый купол. Делались и какие-то дополнительные пристройки, которые нарушали идеальную симметрию всего сооружения. В 1658 году к западной апсиде со стороны входа была пристроена колокольня. А в 1869 году во всю ширину храма с восточной стороны было пристроено хранилище церковной утвари. Всё пристраивалось без устройства антисейсмических швов. Ясно, что это снижало сейсмостойкость всего сооружения в целом.



Эчмиадзинский собор и его колокольня

Храм Звартноц – чудо чудное, диво дивное



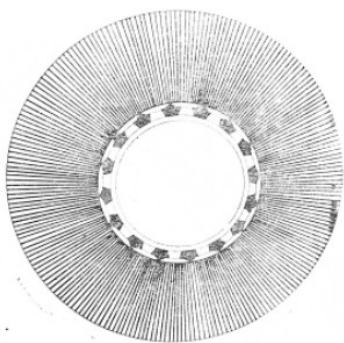
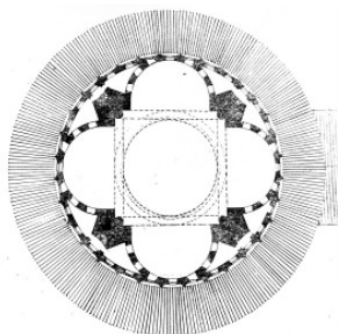
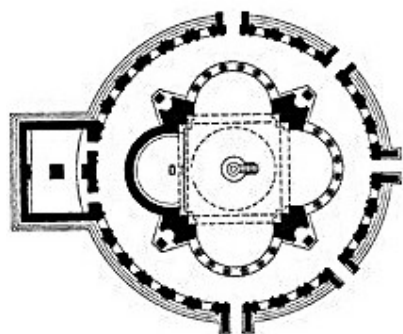
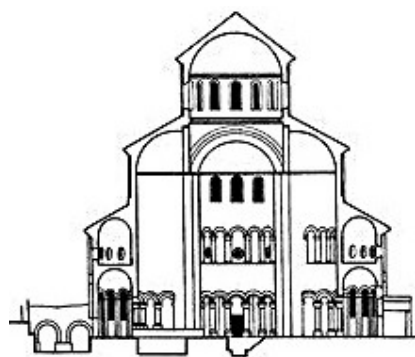
Реконструкция храма Звартноц и его руины

Храм Бдящих Сил, а проще Небесных Ангелов, Звартноц расположен недалеко от Еревана. Он был построен на собранные народом деньги в 640-650 годах при католикосе Нерсесе III Строителе. На освящении этого удивительного

храма присутствовал сам византийский император Константин II. Он забрал зодчего храма с собой. Хотел построить такой же храм в Константинополе.



Современное состояние руин храма Звартноц



*Поперечный разрез и планы
всех трёх ярусов храма Звартноц*

Сразу скажу, что Звартноц не единственный храм с осевой симметрией. Были и ещё такие храмы в Армении и Грузии. Сам Звартноц простоял больше 300 лет и рухнул в X веке, скорее всего – от землетрясения. Как всегда, не будем с вами отвлекаться на красоты Звартноца, на его оригинальную резьбу по камню и удивительной формы колонны, а займёмся конструкцией. Попробуем разобраться в достаточно нетрадиционной и оригинальной конструкции Звартноца. Он представляет собой, как видно из рисунков, осецентрическое сооружение, состоящее из трёх цилиндров, поставленных один на другой. Диаметр нижнего 37,5 метра, среднего около 26 метров. Общая высота около 45 метров. В конструкции храма явно тщательно продумано, куда и через какие элементы конструкции передаются и распределяются нагрузки. Первый – нижний, самый большой и самый высокий цилиндр образован монолитной стеной (видно слева на разрезе нижнего барабана). Второй цилиндр меньшего диаметра опирается на кольцо, отлитое из каменно-известкового бетона (показано слева пунктирной линией на разрезе среднего барабана). Это очень интересный элемент всей конструкции. Бетонное кольцо имеет длину 82 метра по внешнему кругу, толщину 1,5 метра, ширина его колеблется от 2,75 до 6,5 метра. Известковый раствор такой прочности, что камень трескается, а раствор кольца остаётся целым. Само кольцо опирается на четыре главных пилона, которые проходят через него и поддерживают самый верхний малый цилиндр с коническим куполом. Вот это прочное кольцо является узловым моментом всей конструкции. Во-первых, это опора второму ярусу; во-вторых, это антисейсмический пояс, связывающий в единую замкнутую систему пилоны, колонны и стены первого яруса. Вся конструкция Звартноца получилась лёгкой и изящной. К тому же, строители старались максимально облегчить вес сооружения, применяя в качестве заполнителя бетона туф и пемзу и закладывая в купол карасы – пустотелые горшки.

И всё-таки, несмотря на то, что в этом оригинальном башнеобразном храме всё было сделано хорошо и замечательно, он рухнул от землетрясения. В чём же была ошибка? Разные исследователи называют самые банальные причины. Одни говорят, что качество было плохим. Другие утверждают, что пилоны длинноваты. Третьи считают, что колонны слабоваты. Я думаю, что все они не правы. Никаких ошибок не было. Всё было сделано на хорошем уровне и тщательно продумано. А прав архитектор Т. А. Марутян. Он считает, что всё дело в трёхвековом владычестве арабов. За это время храм обветшал, неоднократно горел, и вообще в нём была устроена каменоломня. Вот такой уже значительно повреждённый храм и рухнул при землетрясении.

А теперь мне остаётся познакомить вас с весьма оригинальным мнением о причине разрушения Звартноца, которое высказал замечательный писатель Леонид Волынский в своей повести «Две недели в Армении». Об этом весьма эрудированном писателе мы узнали в 50-х годах прошлого века из повести «Семь дней», в которой он рассказал о том, как сразу после войны спасал картины Дрезденской галереи из каких-то затопленных штолен.

Так вот, повествуя о своих прогулках по Армении, Леонид Волынский пишет о Звартноце буквально следующее: «Выглядело величественно, красиво, но это была лишь скорлупа, декоративная оболочка. Внутри скрывался «тетраконх» – крестобразная конструкция из колонн и аркад». Он считал, что осесимметричная и крестово-купольная системы несовместимы. Они каким-то непонятным образом вошли в противоречие друг с другом, и храм рухнул.

Со всем этим нельзя совершенно согласиться. В том-то вся и штука, что строитель храма сумел гармонично слить две системы, равномерно распределив нагрузку между ними. Это всё прекрасно видно на приведённых выше разрезах.

Ну а дальше – к следующей жемчужине армянской архитектуры, Гандзасарскому собору.

Камни Гандзасарского собора



Территория Гандзасарского монастыря, построенного в XIII веке.

Вот перед нами ещё один из красивейших армянских храмов – Гандзасарский собор, который находится в горах Нагорного Карабаха, сравнительно недалеко от Степанакерта. Добраться до него достаточно трудно – во всяком случае так было раньше, но я в этом соборе побывал. Попал я в него с некоторыми приключениями, о которых сейчас хочу вам рассказать, прежде чем мы начнём знакомиться с собором. Что называется, расскажу вам о времени и о себе.

Это произошло весной 1989 года и напрямую связано с Армянским землетрясением 1988 года. Тогда ещё СССР был единым могучим государством, а Армянское землетрясение было последним, в ликвидации последствий которого участвовали все республики. Из союзного бюджета были выделены приличные деньги для проведения восстановительных работ. На часть этих денег стал претендовать Нагорный Карабах, утверждая, что и они пострадали от этого землетрясения. От Госстроя СССР туда должен был полететь специалист и оценить, какая помощь должна быть оказана. Если вы помните, в тех местах в это время было очень беспокойно. Происходила чуть ли не вооружённая борьба между Азербайджаном и Арменией за зоны влияния в Нагорном Карабахе. Беспокойно там и сегодня. А тогда в столице Нагорного Карабаха Степанакерте заседал комитет по примирению под началом Аркадия Вольского – решительного и делового человека. Вот в этот Нагорный Карабах, в распоряжение этого комитета и надо было лететь. Естественно, никто не хотел рисковать. Я же, находясь «не в

здоровом уме и твёрдой памяти», вызвался добровольцем. Видите ли, мне позарез хотелось увидеть Гандзасарский собор XIII века – чудо древней армянской архитектуры. Меня с удовольствием спровадили. Полномочия дали солидные. Я должен был подписывать заключения о состоянии зданий и сооружений. На основании этих бумаг армяне потом могли выбивать деньги из Совмина СССР. Ясно, что они были во мне очень даже заинтересованы.

Только приземлился мой рейсовый самолёт из Москвы в аэропорту Еревана, а там под парами уже ждал ЯК-40 с сопровождающими армянскими специалистами. Самолёт тут же взмыл в небо, и через час мы приземлились около Степанакерта. Первый сюрприз: в аэропорту русские солдаты в касках. Они пропускают меня как своего, а моих спутников отводят в помещение для обыска – нет ли у них оружия. Тактичнее было бы и меня обыскать... Устраиваемся в гостинице. Знакомлюсь со здешними специалистами, с которыми мне предстоит работать. Они мне сразу понравились. Застолье. Разговор о конфликте.

Утром обнаружилось, что специалисты из Еревана испарились, а я должен предстать пред светлыми очами того самого комитета, который заседал в солидном здании Обкома КПСС. На улицах видны военные патрули с автоматами и в касках. Явно зелёная молодёжь. Захожу в просторное здание, представляюсь секретарю комитета, который предлагает мне пройти в зал заседаний, где члены комитета по примирению сторон уже чинно сидят за длинным столом. Нет только председателя. Он должен появиться ровно в 10.00. Я знал, что самого Аркадия Вольского не будет. Он улетел, видимо, решив, что заниматься таким бесполезным делом не стоит. Должен появиться его заместитель. Стрелка часов к десяти, и в зал быстро входит небольшой мужичок. Ба! Старый знакомый! Виктор. Мы с ним вместе учились. Он ещё в институте выбрал партийную карьеру, став секретарём комитета комсомола факультета. После окончания института пошёл вверх по партийной лестнице, добравшись до поста партийного секретаря какого-то края в Сибири. А теперь он заседал здесь. Меня узнал. Лично подошёл, поздоровался. Комитет поручил мне заняться обследованием состояния зданий сначала в Степанакерте, а потом в его окрестностях. Это я и без них знал, для того сюда и прилетел.

Работал с местными армянскими специалистами с удовольствием. Ездили по объектам и составляли заключения об их состоянии. Ребята делали всё толково и быстро. Мнения наши почти всегда совпадали, и я подписывал протоколы без лишних разговоров. А дело было в том, что состояние многих зданий являлось катастрофическим без всяких землетрясений – из-за низкого качества строительных работ. Их надо было усиливать или, что лучше, отстраивать заново. А на это нужны были деньги.

Через пару дней я опять явился пред светлыми очами комитета с докладом о проделанной работе. В том числе я сказал, что в школе, которая видна из окна, детям находиться категорически нельзя. Стоило мне попрыгать в одном из классов, как пол подо мной начал прогибаться и «дышать». Ясно, что деревянные покрытия подгнили. И солдатам, которых поселили в кинотеатре «Родина», находиться там было противопоказано. Кирпичная кладка там была уложена на таком растворе, что я легко проткнул его пальцем. При малейшем землетрясе-

нии всё это здание развалится. К этому я добавил: «Вон из окна видно в конце улицы новенькое светлое здание Политпросвета, в котором удобно и безопасно можно разместить и детей, и солдат». Физиономии у членов комитета вытянулись, как будто я сморозил какую-то несусветную глупость. Только председатель не растерялся и сказал, что они обязательно над этим подумают. Больше я этих членов примирительного комитета никогда не видел. Кстати, жил этот комитет в отдельном коттедже – за колючей проволокой и под охраной солдат. Председатель, мой знакомый, всё обещал пригласить меня к себе. Но так и не собрался. Видимо, непосвящённым совсем не обязательно знать, как скромно живут партийные труженики.

Работа была закончена, все протоколы подписаны, и армяне остались довольны. Тут они меня и спросили, чего бы мне хотелось. Я скромно сказал, что хотел бы видеть Гандзасарский собор. Ответили, что завтра же поутру едем. Действительно, выехали. В это время обстановка опять накалилась, ждали нача-



Таким я увидел Гандзасарский собор

ла военных действий со стороны Азербайджана. По дороге встретили несколько контрольных пунктов, где дорога была перекрыта танками с русскими экипажами. Петля среди живописных гор, всё-таки добрались до места.

Уже начало темнеть. Остановили машину под горой, на которой виднелся храм, освещённый заходящим солнцем. Армяне начали выгружать припасы, а мне пред-

ложили идти вверх по тропе и начать знакомиться с храмом.

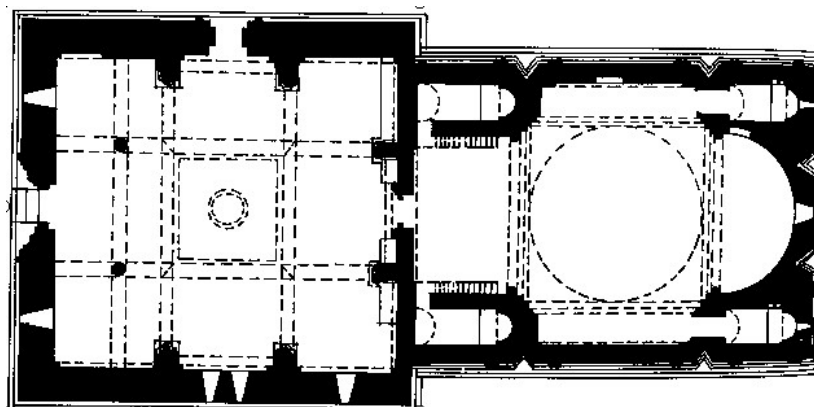
Уже подходил к каменной стене, окружающей территорию вокруг храма, как из ворот со свирепым лаем выскочила чудовищных размеров собака и понеслась прямо ко мне. Подбежала, остановилась, принялась и тут же дружелюбно завияла хвостом. Пока мы с собакой знакомились, подошли и мои армяне: «Вот видишь, собака сразу поняла, что ты христианин, мусульманина она бы тут же разорвала!» Армяне отправились готовить застолье, а я в полутьме один бродил при свете свечей внутри собора и вокруг него. Впечатление потрясающее. Разве что я не встретил призраков похороненных здесь князей. Тут я окончательно понял, что не зря сюда стремился.

После основательного ужина в старинной капелле XI века, состоявшего из жареного на костре дикого кабанчика, вина в кувшинах и зелени, мы отправились обратно в Степанакерт. Приехали в город ранним утром, и тут меня ждал большущий сюрприз: комитет по примирению сторон в полном составе только

что спешно бежал от греха подальше из Карабаха на последнем самолёте. Дальнейшее воздушное сообщение было заблокировано. Обо мне этот комитет даже не вспомнил. Просто бросил. Что будет дальше – никто не знал. Не растерялись тут только мои армяне. В Армению через территорию Азербайджана уходили два автобуса, набитые под завязку женщинами и детьми. Туда они меня и втиснули. Добирались очень даже не просто, но добрались. И я вернулся в Москву. А бесполезный этот комитет на том и закончил своё существование.



Вид на Гандзасарский собор с юга



План Гандзасарского собора: слева находится притвор (гавит), справа сама церковь Иоанна Крестителя.

Гандзасарский собор – «жемчужина армянской архитектуры», как сказал один очень известный историк архитектуры, был построен по желанию князя могущественного Хаченского княжества Гасана-Джалала Вахтангиняна. Предполагалось, что в притворе храма будут хоронить князей этого рода. «Гандзасар» по-русски – «гора сокровищ», так как здесь раньше были серебряные рудники. А вот названа церковь в честь Иоанна Крестителя по совершенно удивительному поводу. Считается, что именно здесь была похоронена одна из важнейших христианских реликвий – голова Иоанна Крестителя, отрубленная по велению царя Ирода. Собор украшен внутри и снаружи многочисленными барельефами и надписями. В притворе находится захоронение основателя храма Гасана-Джалала. Церковь Иоанна Крестителя была построена в 1216-1238 годах и представляет собой прямоугольный зал, имеющий центрическое крестово-купольное перекрытие, его размеры 12,3 на 17,75 метра. Четыре пилона, служащие опорой куполу, связаны с массивными стенами, что повышает их сопротивляемость горизонтальным нагрузкам.

Притвор (гавит) церкви был построен чуть позже, в 1266 году. Его размер 11,8 на 13,25 метра. Здесь перекрытие зала поддерживают две пары взаимно пересекающихся арок. Самый центр зального перекрытия украшен сталактитами. К этому надо добавить, что в Гандзасарском соборе были представлены все лучшие достижения армянской строительной техники того времени.

При самом первом взгляде строителя на Гандзасарский собор замечаешь высочайшее качество строительных работ. Как точно были пригнаны каменные плиты облицовки трёхслойных стен! Известковый раствор не мог даже просочиться между ними. Как плотно прилегают друг к другу слегка криволинейные каменные блоки, из которых собраны две пары пересекающихся мощных арок, несущих свод в притворе! Такое впечатление, что, если разобрать всё сооружение по камешкам, то при обратной сборке каждый камешек должен лечь только на своё, предназначенное ему место. В результате, как утверждали местные строители, за всё время его существования собор ни разу не пришлось серьёзно ремонтировать. Так, по-видимому, оно и есть. Обнаружить какие-нибудь трещины или сдвиги в камнях стен или стилобата невозможно.

Теперь можем заняться рассмотрением конструкции собора.

Здание собора построено на вершине небольшой пологой горы. На защищенном и выровненном скальном основании была отлита пятиступенчатая платформа-стилобат из бутобетона на известковом растворе. Те каменные блоки в основании стен по всему периметру храма, что видны на фотографиях, служили опалубкой для этой плиты-платформы. Вот эта мощная плита на прочном скальном основании и является надёжной опорой всему сооружению. Ясно, что трёхслойные стены толщиной от 60 до 100 сантиметров составляют единое монолитное целое с платформой основания.

Церковь перекрыта с помощью центрической крестово-купольной системы. Два крестообразно расположенных цилиндрических свода, опирающиеся на стены, и четыре пилона служат опорой для барабана зонтичного купола. Это крестовое перекрытие церкви хорошо видно и снаружи. Интересно, что арки между пилонами имеют стрельчатую форму.



Крестово-купольное перекрытие церкви

Это перекрытие через стены и пилоны составляет единое пространственное целое с платформой основания и вообще со всем сооружением.



*Вид на собор с запада. Виден вход в храм через притвор.
Внизу показаны каменные блоки стилобата,
где не видно не единой трещины.*



Видны парные арки перекрытия притвора и вход в церковь

Притвор перекрыт по совсем другой системе, чем церковь. Его свод поддерживают две пары перекрещивающихся арок. Эта конструкция гармонично вписывается в объём всего собора. У меня тут есть только единственный вопрос. Как видно на приведённом выше плане придела, две продольные арки со

стороны входа опираются на две колонны. Зачем они? Мне кажется, что такие колонны помешают аркам работать нормально.

А в остальном, как я думаю, вы уже заметили, что в конструкции Гандзасарского собора древние строители соблюдали все наши принципы сейсмостойкого строительства. В результате, если и были тут землетрясения, храм их хорошо перенёс, никаких следов землетрясений на нём нет. Правда, нет нигде и упоминаний, что на Гандзасар обрушивались землетрясения. И у меня опять закрадывается подозрение: не служила ли эта пологая гора защитой храма от сейсмических волн? На прощание взглянем на купол собора.



Купол собора, украшенный многочисленными барельефами.

Как пример показываю Вседержителя и Адама с Евой



Покидаем Армению и отправляемся в знойную Среднюю Азию.

Сейсмостойкость памятников архитектуры Средней Азии

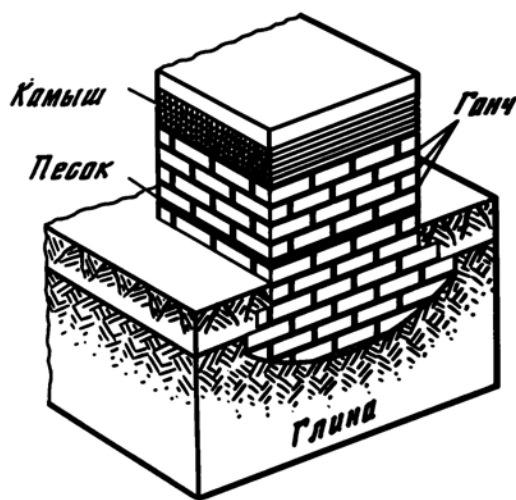
Типовые секреты сейсмостойкости древних сооружений Средней Азии

Добрались мы и ещё до одного региона этого подлунного мира, лежащего на обширных территориях со сложной историей и разнообразными традициями, а нам интересного теми замечательными архитектурными формами и строительными приёмами, которые были здесь созданы и отработаны на протяжении многих столетий. Уже на нашей с вами памяти земля Средней Азии много раз содрогалась от ударов сейсмической стихии, а за всю её беспокойную историю на этих территориях случилось множество катастрофических землетрясений, о чём свидетельствуют мгновенно разрушенные города, погребённые под песком до сих пор. Естественно, что древние мастера с присущей им наблюдательностью искали способы защитить свои постройки от землетрясений. И находили! В результате был разработан целый типовой набор приёмов по обеспечению сейсмостойкости среднеазиатских сооружений. Эти секреты сейсмостойкости по принятой тогда традиции передавались строителями древности от поколения к поколению. Разумеется, зодчие Средней Азии пришли к тому же выводу, что и все другие их современники и предшественники: только эластичные и прочные материалы в конструкции могут обеспечить сейсмостойкость. При этом должны соблюдаться определённые правила компоновки сооружения. Как мы увидим дальше, эти правила совпадают с теми принципами сейсмостойкого строительства, что были сформулированы в начале этой книги. Идеи по вопросам сейсмостойкого строительства у зодчих Средней Азии были такие же, как у всех, а вот конструктивные воплощения совсем другие, очень оригинальные. Не рассматривая пока конкретные сооружения, попробую перечислить типовой набор антисейсмических мероприятий, которые применялись в Средней Азии.

Начнём с растворов. Основными вяжущими растворами были ганч и глина. Хотя строителям Средней Азии был знаком известковый раствор, они предпочитали ганч из-за его прочности и пластичности. Изготавливался он из местного алебастра путём обжига, последующего измельчения и просеивания. Умелые мастера предпочитали ганч крупного помола, который схватывался не так быстро, как состав мелкого помола, и набирал наивысшую для этого материала прочность через год. Как раствор для кладки, в чистом виде ганч почти никогда не применялся – обычно он смешивался с какими-то другими компонентами ещё в порошке: с лёссом, песком, древесным углём и ещё неизвестно с чем. Все эти добавки позволяли придать раствору из ганча нужные строителю в данном месте свойства. Песок и кирпичная крошка были инертными добавками, а вот

лёсс замедлял процесс схватывания и повышал вяжущие свойства раствора. Зола добавлялась для повышения водостойкости раствора. Глина и древесный уголь смешивались с ганчем для придания связующему раствору повышенных пластических свойств. В одном и том же сооружении требуются растворы с различными свойствами. Это прекрасно понимали зодчие древности. Меняя состав добавок в ганч, древние строители придавали нужные качества растворам. В мавзолее XII в. султана Санджара в Старом Мерве нижние ряды кирпича уложены на ганче с золой и древесным углём для повышения водостойкости кладки, в средней части с кирпичной мукой как инертной добавкой, а в верхней части почему-то с песком. Хотя песок тоже инертная добавка.

Казалось бы, ганч с различными добавками как вяжущий раствор обладает самыми совершенными свойствами. Но древние зодчие продолжали его улучшать. В конце концов была найдена ещё одна очень эффективная добавка. Это шереш-порошок, полученный из высушенных и размолотых корней каких-то растений. Небольшая щепотка этого порошка на обычный замес ганча в 10-12 кг придавала ему водостойкость и значительно замедляла скорость его твердения, чем улучшала возможности работы с ним. Вот на этом прочном ганчевом



Типовой набор антисейсмических мероприятий

растворе, обладающем повышенными упругоэластическими свойствами по сравнению с известковым, возведено подавляющее большинство сооружений Средней Азии.

Строительство этих сооружений начиналось с рытья котлованов, дно которых на глубину в 60-80 сантиметров заполнялось плотной массой сырой гончарной глины без примесей. Такую пластичную глиняную подушку можно наблюдать почти под всеми памятниками архитектуры X-XVII столетий. Иногда дно котлована перед укладкой глины утрамбовывалось копытами лошадей. На таким образом подготовленном основании возводился фундамент из обожжённого кирпича, как правило, на глиняном растворе. Подошве фунда-

мента под стены придавалась слегка закруглённая форма. Это описание конструктивного решения первого уровня защиты сооружения от землетрясений. Глиняная подушка с пластическими свойствами смягчает удар сейсмической волны. Закруглённые фундаменты легче входят в пластическую массу. Кстати, чтобы глиняная подушка не высыхала, применялись специальные меры – всякие засыпки и вымостки. В наше время вместо таких упругоэластических подушек устанавливаются различные слоистые резинометаллические сейсмоамортизаторы. Но глиняные подушки лучше. В них гашение энергии сейсмического

воздействия выше.

После выкладки фундамента из кирпича на глине, толстые слои которой также играют роль упругопластических прокладок, на уровне поверхности земли укладывался ряд кирпича на тощем лёссовом растворе, в который входило до 80% песка. Выше уже возводился цоколь сооружения. Вот этот слой тощего раствора под всем сооружением является следующим антисейсмическим мероприятием. Через тысячу лет его назовут скользящим поясом и будут делать из двух пластинок нержавеющей стали или пласмассы. Назначение скользящих поясов – уменьшать сейсмические движения, передающиеся от грунта на сооружение. Если сейсмическая сила превзойдёт силу трения по этому поясу, то произойдёт проскальзывание сооружения, что значительно снизит сейсмическую нагрузку на него. Чем сила трения меньше, тем лучше. Кстати, скользящие пояса из песка и сегодня применяются в Китае. А в Японии устраивают ещё и смазку между пластинками скользящих поясов.

Кладка цоколя закончена. Перед возведением стен поверхность цоколя тщательно выравнивается слоем раствора, на который укладывается пояс из камыша. Камышовый пояс представляет собой прослойку толщиной 8-10 сантиметров из уложенных ровным слоем стеблей. Укладывается он перпендикулярно плоскости стены, очень тщательно, камышинка к камышинке, так, чтобы кирпичи вышележащей стены не раздавили его. Иногда таких поясов укладывали два, иногда, разумеется, их вообще не делали. Получается, что за счёт камышовых поясов связь между сооружением и его цоколем податливая. Назначение их такое же, как скользящих поясов и упругопластических прокладок – снижать движение, передаваемое во время землетрясения от грунтового основания на сооружение. Сразу возникает мысль: а существует ли какой-то современный аналог этим камышовым поясам? Первое, что пришло в голову – назвать чугунные шары, которые обеспечивают трение качения между зданием и его фундаментом. Но понял, что это не подходит. А вот если сделать эти шары из прочной резины, то получится что-то похожее.

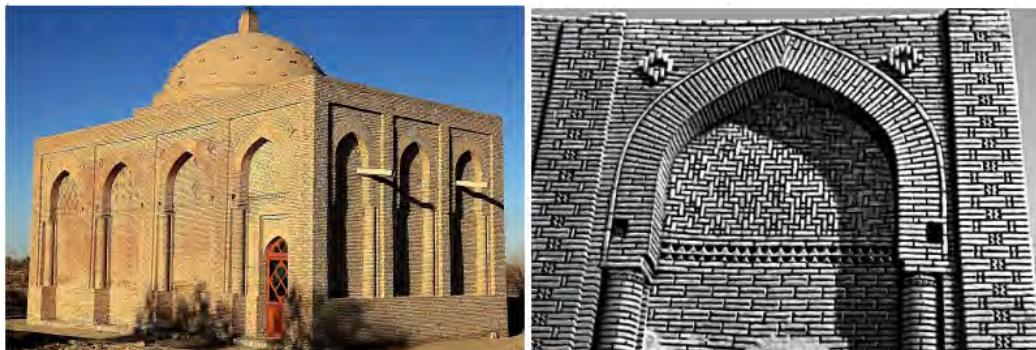
На камышовом поясе выкладывалась стена. Конструкция стен была такова, что они сами являлись антисейсмическим мероприятием, особенно когда в качестве вяжущего раствора использовалась глина. В мавзолее Фахруддина ар-Рази (XII век) стены выложены на глине, а купол на ганче, и мавзолей стоит до сих пор. Но чаще всё-таки и стены выкладывались на ганче.

Любопытно, как шла выкладка стен. В нижней части стены толщина раствора равнялась толщине кирпича (5 сантиметров), выше толщина раствора уменьшалась и достигала 10-12 миллиметров в верхней части. Получалось, что объём ганча в общем объёме стены доходил до 30%, а это обеспечивало стене из кирпича упругопластические свойства, что и требуется по условиям сейсмостойкости. На ганче выкладывались все элементы сопряжения стен с куполом и сам купол. Таким замечательным набором антисейсмических мероприятий пользовались зодчие Средней Азии. И вполне успешно. Многие их постройки сохранились до наших дней.

Теперь познакомимся с конкретными сооружениями и посмотрим, как эти принципы сейсмостойкости воплощались в них.

Мавзолеи, мечети, минареты

Если кому-то из вас крупно повезёт – вы попадёте в Среднюю Азию и посетите древние памятники – внимательно взгляните в узор их кирпичной кладки: вы увидите перед собой восьмое чудо света. Меня всегда поражают орнаменты из кирпича, выложенные на вознесённых в небо минаретах. Форма минарета – это постепенно сужающийся кверху конус, на котором широкими полосами из цветного кирпича выложены какие-то повторяющиеся рисунки. Представляется, что где-то по высоте эти рисунки должны не совпасть, нарушится гармония рисунка. Но нет: всё выше и выше, кольцо за кольцом повторяются лаконичные орнаменты. Чтобы убедиться в том, что сбоя нигде нет, придётся несколько раз обойти минарет. А посмотрите, как равномерно и плавно сопрягаются стены с арками и куполами, при этом всё замысловатое сооружение чудесным образом делается из кирпича одного размера. Сложной конфигурации мечеть XI века Талхтан-баба в Туркмении, в 30 километрах от Старого Мерва, вся построена из кирпича одного типоразмера, 25 на 25 на 5 сантиметров.



Мечеть Талхтан-баба XI века - пример виртуозности кирпичной кладки

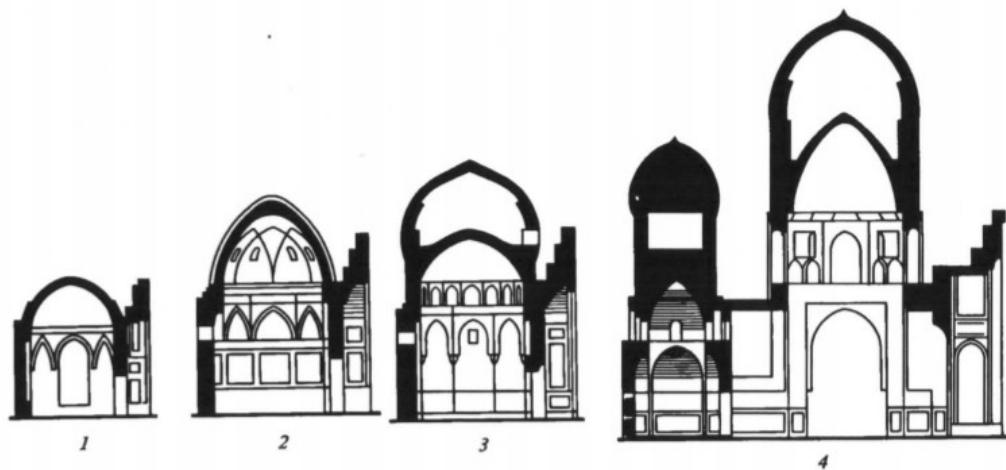
Известный исследователь древней архитектуры Средней Азии А. П. Прибыткова утверждает, что обожжённый кирпич здесь стали применять с VIII века и что его форма была выбрана исходя из антисейсмических задач – обеспечения монолитности и однородности кладки. Я бы сказал ещё больше: расположение кирпича в кладке, узоры из него определяются не только эстетикой, но и теми свойствами, которые нужно придать данному участку стены или купола. И ещё о кирпиче. Существует предание, что древние обжигали кирпич до того, чтобы он звенел при ударе по нему, и не просто звенел, а издавал звук «ля».

Начнём наше путешествие в страну кирпича и солнца с Самарканда, города с почти трёхтысячелетней историей, над которым пронеслись все бурные исторические события Средней Азии, и в древних памятниках которого отпечаталась вся история строительного искусства той эпохи.

Для того, чтобы наглядно представить, как менялись со временем объёмно-планировочные решения древних построек, рассмотрим комплекс культовых сооружений Шах-и-Зинда (Шах-и-Зинда – «живой царь»), который начал формироваться в южной части Самарканда в XI веке вокруг мнимой могилы Кусам ибн Аббаса. Кусам ибн Аббас – личность вполне реальная и очень значительная. Он был двоюродным братом пророка Мухаммеда, в Самарканде появился с первыми войсками арабов в VII веке и тут погиб. Этот культовый комплекс расширялся и достраивался ещё в XV веке.

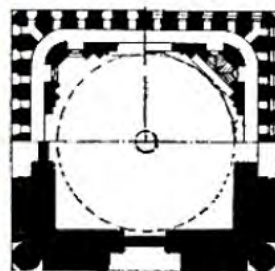
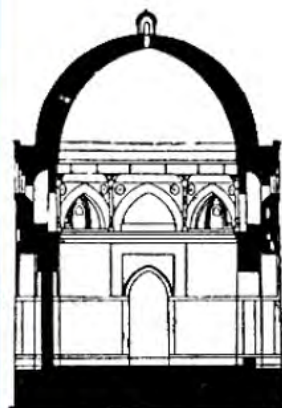
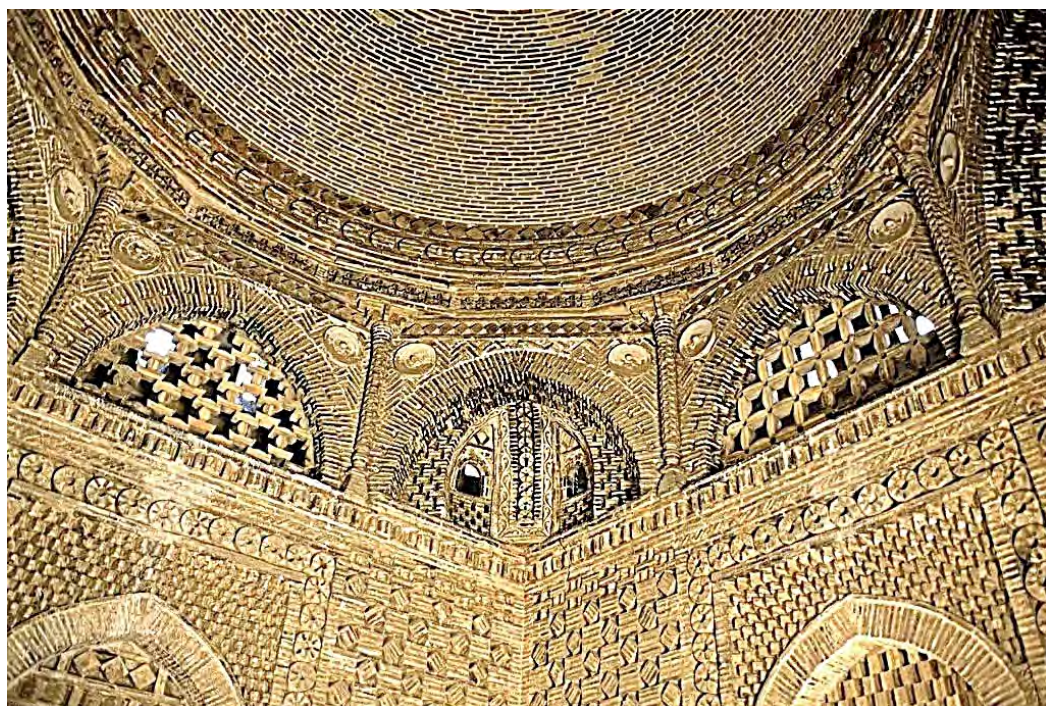
Так вот, если вернуться к интересующей нас истории строительства, то, анализируя ансамбль древних архитектурных памятников Шах-и-Зинда, можно представить эволюцию архитектуры всей Средней Азии с некоторыми, разумеется, отклонениями.

На показанном здесь графическом изображении эволюции купольных мавзолеев первым показан мавзолей Ходжа Ахмада, построенный в 1361 году. Мавзолей пропорционально сложенный, умеренных размеров, с небольшим порталом. Купол у этого мавзолея одинарный, с небольшой стреловидностью. Распор от него передаётся на стены, усиленные арками. С точки зрения сейсмостойкости особых претензий к объёмно-планировочному решению этого мавзолея вроде бы и нет. Но его разрушение началось именно с отслоения этого небольшого портала, который был плохо связан со стенами и нарушал однородность всей конструкции.



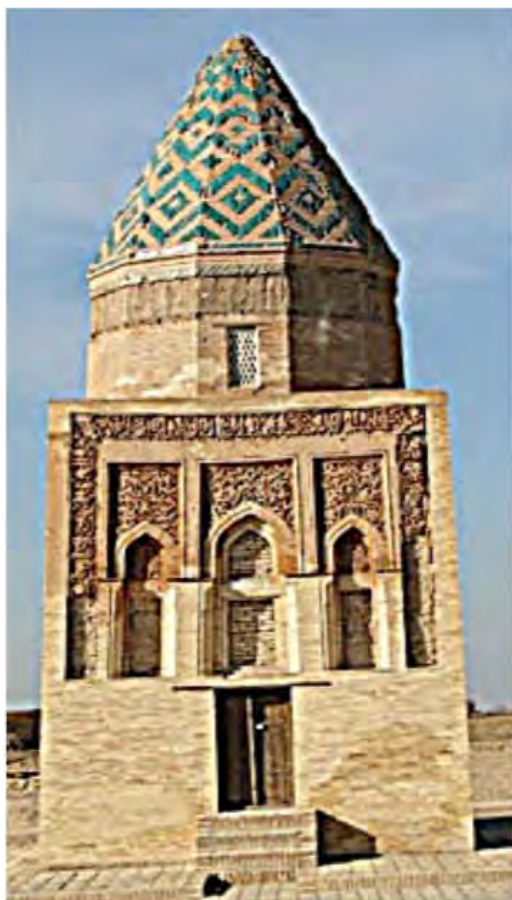
Эволюция купольных конструкций мавзолеев Средней Азии

В этом смысле нам интересны совсем ранние мавзолеи, в которых порталы ещё не устраивались. Классическим примером является мавзолей Саманидов в Бухаре, построенный на рубеже IX-X веков. Этот мавзолей является одним из древнейших памятников монументального зодчества Средней Азии и памятником мирового значения. Он чудом сохранился благодаря тому, что был засыпан последующими захоронениями на этом месте. Откопан и реставрирован он был в первой половине прошлого века.



Мавзолей Саманидов: сопряжение купола со стенами, общий вид, разрез.

Мавзолей Саманидов имеет предельно простую композицию. Он представляет собой поставленный на небольшую кирпичную платформу приземистый куб размером в плане 10,8 на 10,8 метра при общей высоте с фонарём 15 метров. Стены толщиной 1,8 метра, как и всё сооружение, выполнены из обожжённого кирпича на ганче. Квадрат стен с помощью арочных тропов переходит в восьмигранник, который плавно сопрягается со сферическим куполом. Вот вам пример идеальных пропорций и размеров, желательных для сейсмостойкого здания жёсткой конструкции из кирпича. Это подтвердила тысячелетняя история существования мавзолея Саманидов.



Мавзолей Фахруddина ар-Рази в Куня-Ургенче, XII век.

Здесь же попутно познакомимся с ещё одним беспортальным, замечательных пропорций мавзолеем Фахруddина ар-Рази, аналога которому нигде в Средней Азии нет. Вообще-то в этом мавзолее захоронен хорезмшах Иль-Арслан, но никто не может объяснить, почему в ходе истории имя могущественного шаха было заменено на имя скромного богослова. В этом небольшом ургенчском мавзолее чуть ли не впервые был применён двойной купол с относительно большим межкупольным пространством. Контур этого купола показан на правом ри-

сунке (внутри барабана).

Этот пропорционально сложенный мавзолей XII века прекрасно выдержал не только все землетрясения, обрушившиеся на него, но и уцелел при разгроме Ургенча монголами.

Как видно на правом рисунке, мавзолей поставлен на трёхступенчатый фундамент из кирпича. Его внешние размеры в плане 6,5 на 6,65 метра. Размеры внутреннего квадратного помещения 3,63 на 3,63 метра. Высота слегка сужающегося кверху куба нижней части мавзолея примерно 6,7 метра. Куб мавзолея перекрыт внутренним сферическим куполом. Внешний двенадцатигранный конический купол, выложенный методом ложного свода, то есть, постепенным надвигом камней, опирается на двенадцатигранный барабан, плавно переходящий в стены. Внутри этого барабана находится массивный сферический внутренний купол. Всё это хорошо видно на правом рисунке. Внешний и внутренний куполы вместе с барабаном образуют единый замкнутый пространственный контур, что соответствует одному из важнейших принципов сейсмостойкого строительства. Стены мавзолея выложены из кирпича на глине, а купол – на ганче. Получается, жёсткая скорлупа куполов опирается на массивное упругопластическое тело, которое служит ей сейсмоизолятором. Вот так зодчие этого простого по форме мавзолея, имеющего две плоскости симметрии, пропорциональные размеры, да ещё и являющегося в принципе сейсмоизолятором, создали образцово-показательное сейсмостойкое сооружение.

Продолжим изучение эволюции купольных мавзолеев, что условно изображены на приведённой выше схеме. Эта эволюция началась с древних центрических мавзолеев. Позднее начали выделять один из фасадов как главный и оформлять его в виде пышного, часто очень массивного портала. Появились портално-купольные сооружения, которые теперь не являлись центрическими с равномерным распределением масс и жёсткостей, что уже не отвечало принципам сейсмостойкого строительства.

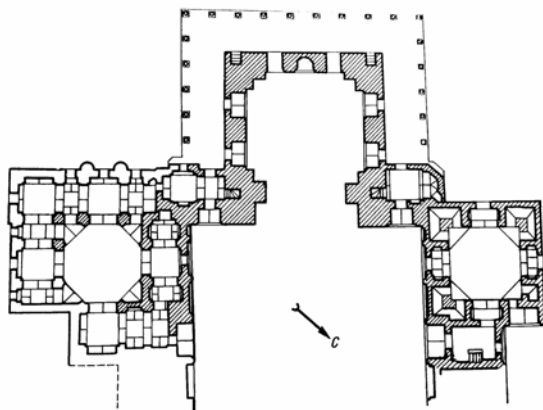
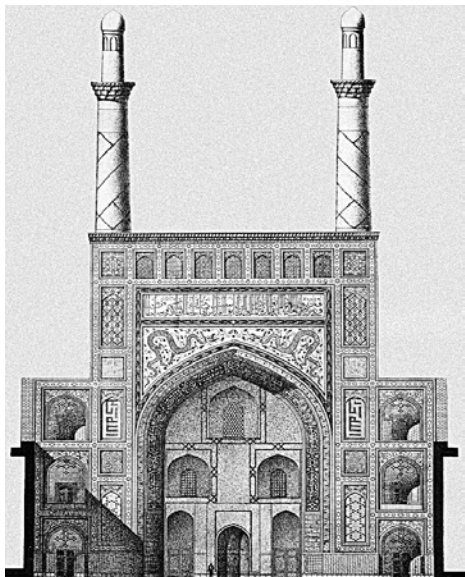
Под вторым номером на схеме показан представитель нового поколения мавзолеев – мавзолей Шади-Мульк-ака XIV века. У этого мавзолея уже увеличен диаметр купола, и его поддерживают рёбра жёсткости, образующие подкупольный каркас. Давление на грунт под фундаментами самого здания мавзолея и его портала получается разным. Под порталом это давление, как правило, значительно большее. Здесь явное нарушение одного из главных принципов сейсмостойкости – равномерного распределения масс и жёсткостей. При этом нарушении получается перегруженным место соединения основной массы мавзолея с порталом. С этого места и начинается разрушение всего сооружения.

В качестве примера такого разрушения продемонстрирую вам так называемую «мечеть в Анау», которая на самом деле является мавзолеем шейха Джемал-уль-Уаддина и была построена в 1446-1457 годах. Мечеть, названная «Домом красоты», находится рядом с современным городом Анау, в двенадцати километрах к востоку от Ашхабада. Мозаичные украшения портала мечети не имеют аналогов в мусульманской архитектуре. На арке портала изображены два обращённых головами друг к другу злобных змея-дракона. С этими драконами связана замечательная легенда.

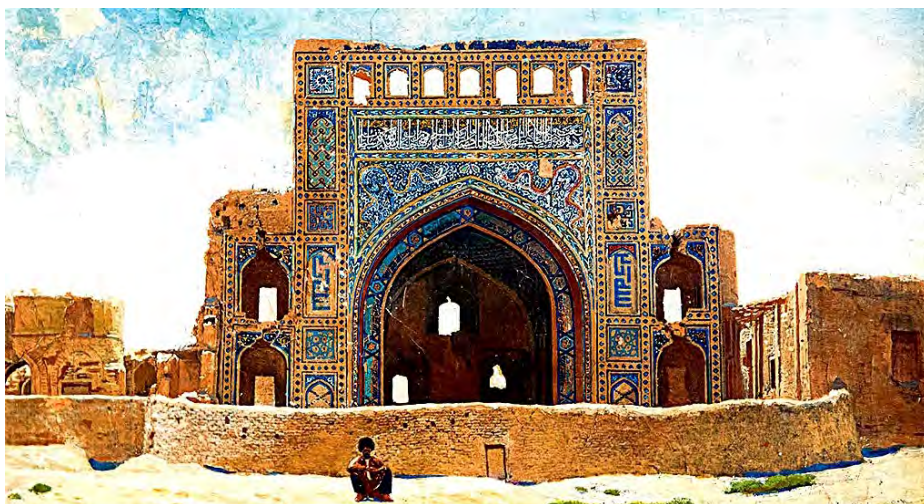
Поселение Анау возникло чуть ли не в каменном веке. Оно росло и процветало, пока в XIII веке не было уничтожено монгольскими войсками Чингисхана. Но уже в XV веке здесь опять был богатый город Анау, окружённый стенами из сырцового кирпича. И существовал в этом городке замечательный обычай. Вне крепостных стен города росло большое дерево. Жители повесили на этом дереве медный колокол, чтобы любой бедствующий путник мог дать знать о себе, позвонив в этот колокол. Жители приходили и выручали его.

Однажды, это было ещё во время правления справедливой и мудрой царицы Джемаль, все услышали сильный и тревожный звон колокола. Почти все жители города вместе с царицей откликнулись на этот сигнал и сбежались к дереву. Что же они здесь увидели? Огромный зубастый змей-дракон сотрясал дерево, и колокол звонил, как бешеный. Когда все застыли от ужаса, дракон начал показывать хвостом то на мастеров с топорами и пилами, то на горы. Всё стало ясно: где-то там в горах дракону требуется помощь мастеров. Вскоре дракон пополз в горы, а мастера последовали за ним. Здесь они увидели второго дракона, задыхавшегося и корчившегося в страшных судорогах. Этот дракон не смог проглотить пойманного им крупного козла с огромными рогами. Козёл просто застрял у него в горле. Мастера смело залезли в драконью пасть и отпилили козлу рога. Дракон с облегчением проглотил козла и перестал задыхаться.

В благодарность за спасение драконы открыли мастерам пещеры с сокровищами и предложили взять их столько, сколько они унесут. Больше того – на следующий день драконы приползли в город и ещё притащили всяких драгоценностей. На полученные богатства жители Анау решили построить невиданной красоты мечеть с примыкающими к ней другими религиозными зданиями. А драконы в свою очередь обещали стать покровителями города и особенно защищать новую мечеть от всяких бедствий. К сожалению, жизнь более прозаична. Деньги на сооружение мечети с могилой Джемал-уль-Уаддина дал его сын.



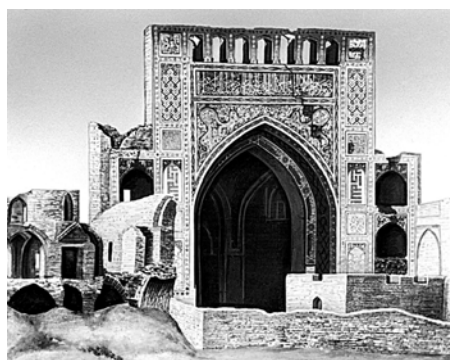
*Реконструкция портала мечети
и план всего религиозного комплекса
из трёх зданий*



Мечеть в Анау. Картина художника Константина Мишина, 1900 год.

Удивительной красоты религиозный комплекс был построен, но с такими нарушениями принципов сейсмостойкого строительства, какие только можно вообразить. В этом случае никакие драконы уже не могли защитить его от землетрясений. Посмотрите на приведённый выше план этих сооружений. В центре находится мечеть, перекрытая куполом. Само здание мечети имеет одну плоскость симметрии. Но в данном случае для сейсмостойкости эта симметрия не играет никакой роли, так как здание мечети состыковано с тяжёлым порталом и основательно соединено с различными боковыми, опять же купольными, зданиями. Никаких антисейсмических швов здесь не устроено. В результате получается, что ни о какой равномерности распределения масс и жёсткостей тут и речи нет. Город Ашхабад расположен в зоне с повышенной сейсмической активностью. Тут часто случаются землетрясения. Они постепенно и разрушали комплекс «мечеть в Анау». Уже в XIX веке весь он находился в руинном состоянии. Это видно на картине К. Мишина, написанной в 1900 году.

Купол мечети ещё не рухнул и в 1940 году, что видно на фото ниже.



Два фото состояния «мечети в Анау» в 1940 году

При сильнейшем Ашхабадском землетрясении 1948 года «мечеть в Анау» разрушилась окончательно. Но свободно стоящий портал выдержал удар подземной стихии.



А это развалины «мечети в Анау» сегодня

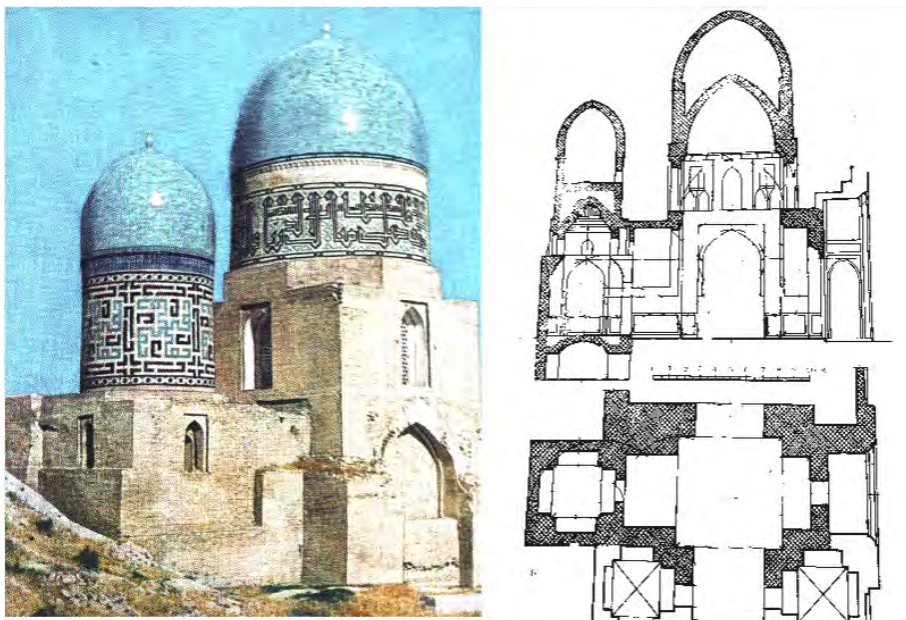
Следующий этап развития купольных сооружений представлен мавзолеем Ширин-бек-ака. Его разрез показан всё на той же выше приведённой схеме эволюции купольных мавзолеев под третьим номером. Здесь уже применяется двойной купол: внешний и внутренний. При этом форма внешнего купола такая, что он не передаёт распор на цилиндр барабана. Такие двойные купола образуют замкнутый однородный контур, что, конечно, хорошо с точки зрения сейсмостойкости.

На грани XIV-XV веков в архитектуре культовых и мемориальных сооружений возникают новые существенные изменения. Это связано с появлением громадной империи Тимура со столицей Самаркандом, где сосредотачиваются огромные богатства, куда доставляются лучшие мастера со всех концов империи, где создаются огромные армии чернорабочих. Всё это порождает экономические предпосылки, способствующие тому, что эволюция купольных сооружений достигает своей высшей точки. От приземистых кубических построек к украшенным богатыми тяжёлыми порталами сооружений и великолепным мавзолеям с высокими, вознесёнными к небу на стройных барабанах, бирюзовыми куполами, которые появляются в эпоху Тимура. Растут размеры сооружений, архитекторы заболевают гигантоманией, башни минаретов устремляются в стратосферу. Увеличение размеров мавзолеев, невероятная стройность и высота минаретов, большие пролёты куполов, высоко поднятых на тонкостенных барабанах

– всё это вступает в противоречие с принципами сейсмостойкого строительства.

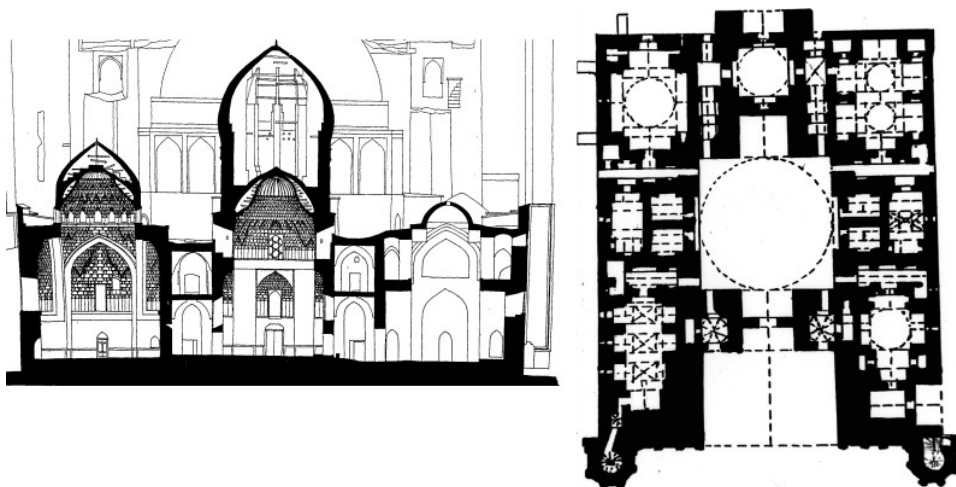
Это прекрасно понимали зодчие древности, которые начали бороться за сейсмостойкость своих гигантских сооружений. Фундаменты значительно углубляются. Нормальным стал считаться фундамент, заложенный на глубину 4-5 метров и выложенный из крупных камней на специальном водоустойчивом «кыровом» растворе (известь с золой), что обеспечивает надёжное основание для мощных порталов и высоких минаретов. Кладка стен из обожжённого кирпича на ганче удовлетворяет новым повышенным требованиям, она монолитна, прочна и достаточно упруга. Самые большие проблемы возникают с возрастанием пролётов арок и куполов. Все купола теперь делаются двойными. Для восприятия нагрузки от большепролётного купола создаётся специальная система кирпичных подпружных арок, передающая нагрузку на стены и внутренний купол. За счёт применения этой системы арок значительно снижается вес всего сооружения. Заметно стремление понизить вес конструкции: своды и купола, раньше выполнявшиеся из тяжёлого кирпича, теперь начали делать тонкостенными, используя при этом ганч.

В XV веке значительно усложнилась компоновка сооружений. Стали строить двухкупольные мавзолеи, в которых есть отдельные помещения для захоронения и для выполнения обрядов. Всё на той же схеме эволюции мавзолеев под номером четыре показан двухкупольный мавзолей XV века Казызаде Руми. Здесь принцип равномерного распределения масс и жесткостей не соблюдается совершенно. Разное заглубление фундаментов, разные купола, поднятые на разную высоту, тяжёлый портал, разная толщина стен. Но и в этом случае мавзолей продолжает стоять. Видимо, качество строительных работ хорошее, а сильных землетрясений тут пока не было. Вот он перед вами, этот мавзолей.



Двухкупольный мавзолей Казызаде Руми XV века и его разрез и план

Теперь перед нами гигантский многокупольный мавзолей, построенный на могиле знаменитого мусульманского поэта и проповедника Ходжи Ахмеда Ясави, умершего в 1166 году. Находится этот мавзолей в городе Туркестане, в Туркестанской области Казахстана.



Мавзолей Ходжи Ахмеда Ясави: общий вид, разрез и план.

В 1395 году Тамерлан одержал сокрушительную победу над правителем Золотой Орды ханом Тохтамышем, уничтожив его столицу Сарай-Берке. В память этой победы повелел Тамерлан, руководствуясь политическими и религиозными соображениями, построить на месте старой усыпальницы шейха Ахмеда Ясави (XII век) новый мавзолей невиданной пышности и размеров. В обсу-

ждениях размеров сооружения и его компоновки принимал участие сам Тамерлан. Строительство началось в 1397 году и велось очень быстрыми темпами. Но, отправившись в поход на Китай, в 1405 году Тамерлан внезапно умер. Строительство мавзолея прекратилось и не закончено до наших дней. Задуманные Тамерланом два минарета так и не украсили портал мавзолея.

Комплекс содержит не только усыпальницу Ахмеда Ясави, но и мечеть, и медресе с библиотекой, и халимхана, где странникам два раза в неделю раздавалась еда, и так далее. Мавзолей-мечеть Ахмеда Ясави представляет собой огромное, с одной плоскостью симметрии, портално-купольное сооружение. Выше показаны общий вид и план мавзолея. Его размеры в плане 46,5 на 65,5 метра, ширина портала 50 метров, его высота 37,5 метров. Диаметр самого большого купола 22 метра, его высота 44 метра. Толщина наружных кирпичных стен до 2 метров, а толщина внутренних стен, на которые опирается центральный купол, до 3 метров. Не будем углубляться в бурную историю этого выдающегося памятника архитектуры, прошедшего путь от разграбления его воинами Золотой Орды до сталинских лагерей нашего времени. Займёмся его анализом с позиций сейсмостойкого строительства.

Начнём с фундамента. Кажется загадкой, почему квалифицированные строители этого замечательного сооружения очень легкомысленно отнеслись к его фундаменту. Обычно фундаменты эпохи Тамерлана поражают своей излишней прочностью. Они возводились из крупных камней на известковом растворе с золой, что придавало им водоустойчивость и прочность. Здесь же под зданием мавзолея не было устроено солидного фундамента. Под его стены, на глубину всего 25-30 сантиметров, было лишь положено несколько рядов небрежной кирпичной кладки, а в котлован под тяжёлый портал насыпали крупной гальки с землёй. А причина, из-за которой ансамбль Ахмеда Ясави был возведён на слабых фундаментах, очень проста и нам должна быть очень понятна. Во время начала строительства мавзолея могущественный Тамерлан отправился в путешествие, чтобы встретить свою невесту Гукель-Ханым. А тут надо ехать в сторону, чтобы посмотреть, как продвигаются работы по строительству мавзолея и можно ли ему уже похвастаться перед невестой таким замечательным сооружением. За промедление Тамерлан не простит – тут же оставит без головы. Верноподанные старались угодить, показать товар лицом, всё делалось в спешке. Тут уж не до прочных фундаментов, надо скорее выкладывать стены, чтоб было что предьявить пред светлы очи правителя. Короче говоря, вынужден был схалтурить древний строитель. Всё он знал, но обстоятельства были сильнее него.

К счастью, сильные землетрясения пока не очень беспокоят этот памятник. Но неравномерные осадки фундамента здесь имеют место. Большой вред основанию мавзолея нанесли в 1846 году кокандские войска, которые для того, чтобы захватить правителя Туркестана Канат-шаха, засевшего в мавзолее, с помощью системы плотин затопили постройку, и основание мавзолея долгое время находилось в сильно замоченных грунтах.

Обращаю ваше внимание на два интересных момента в конструкции этого мавзолея. Посмотрите внимательно на план и разрез мавзолея, приведённые выше. Мы здесь впервые встречаемся с антисейсмическими швами, с помощью ко-

торых сооружение разрезано на девять независимых частей. Конструктивно эти швы оформлены в виде двух пар двухэтажных продольных и поперечных коридоров. Центральная часть – это толстые трёхметровые стены и главный купол, который на них опирается. Эти же толстые стены воспринимают распор от купола. Может, в этом и есть секрет сейсмостойкости данного огромного мавзолея. Его отдельные части могут оседать и колебаться независимо друг от друга.

Вот ещё интересный факт. В мавзолее была обнаружена очень прочная, хорошо сохранившаяся арка из обожжённого кирпича, выложенная на неведомом смолообразном растворе с высокими упругопластическими свойствами. Раствор этот представляет собой смесь какой-то загадочной смолы с песком и лёссом. Наносился этот раствор на кирпич перед его укладкой в стену, видимо, в подогретом состоянии. В результате кирпичная кладка получалась необычайно прочной и обладающей повышенными упругопластическими свойствами. Совершенно ясно, что такой замечательный раствор, применённый при кладке кирпичных стен, арок и куполов, обеспечит им долговечность и сейсмостойкость. А вообще-то секрет долговечности и сейсмостойкости этого огромного сооружения из кирпича заключается в том, что все его массивные элементы выполнены из прочного кирпича на растворе из ганча

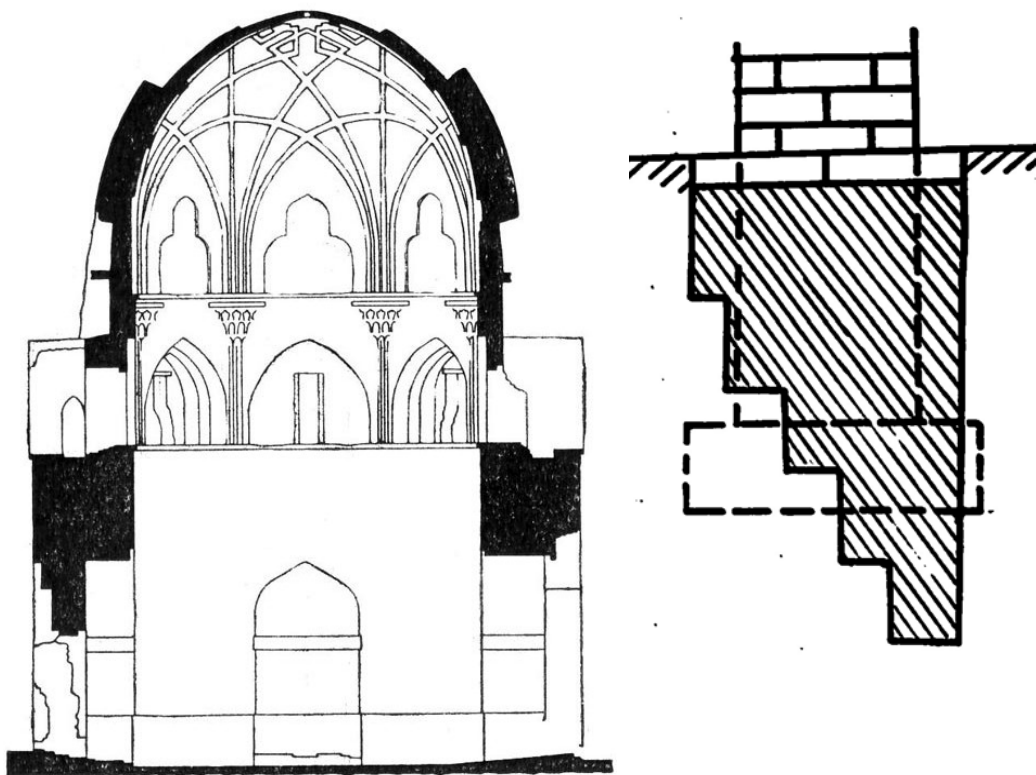


Повеление Тамерлана, воплощённое в кирпиче.

В заключение нашего краткого экскурса по древним сооружениям Средней Азии предлагаю посетить мавзолей султана Санджара в Старом Мерве. Один из самых известных сельджукских султанов Ахмад Санджар распорядился построить для себя мавзолей и назвал его «Дом загробной жизни». В 1157 году его там похоронили. В 1221 году мавзолей сильно пострадал при нашествии монголов на Хорезм. В 2004 году он был отреставрирован.



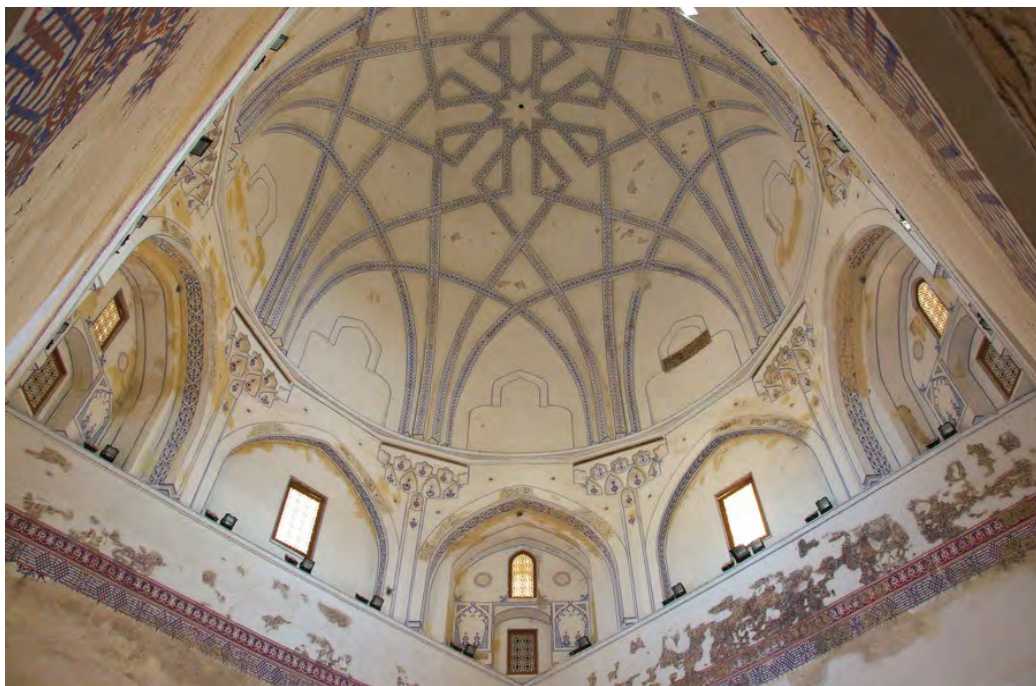
Мавзолей Санджара до реставрации и после неё



Разрез мавзолея Санджара и конструкция его фундамента

Как вы сейчас увидите, конструкция этого мавзолея XII века является на удивление сейсмостойкой. Это уже понимали мудрецы того времени. Рашид-ад-Дин в начале XIV века пишет: «Самое большое здание на свете». А в конце XV века Исфизари пишет ещё лучше: «Это одна из величайших построек царств Вселенной и до такой степени прочна, что порча не может коснуться её». Судите сами. Я уже не говорю о том, что этот простой по форме мавзолей поражает своей гармонией и красотой. Вот его размеры: сооружение квадратное в плане, со стороной 27 метров; единственное внутреннее помещение тоже квадратное, со стороной 17 метров. Отсюда ясно, что стены имеют пятиметровую толщину. Такого мы ещё нигде не встречали. Правда, эти стены не сплошные. В них имеются глубокие ниши, за счёт которых расширено внутреннее пространство. Высота мавзолея достигает почти 40 метров.

Очень интересен слегка возвышенный купол мавзолея. Та система арок, что вы видите на разрезе мавзолея с внутренней стороны, чисто декоративная. А вот двухэтажная система сводов в основании купола – несущая. С её помощью передаётся распор от купола на массивные стены, которые спокойно этот распор воспринимают. Сам же кирпичный купол довольно толстый, монолитный. И всё это придумано и сделано в XII веке. К тому же переход от круглого купола к квадратному основанию выполнен совершенно виртуозно.



Плавный переход от круглого купола к квадрату стен

И это не всё. Рассказ о необычном фундаменте мавзолея я приберёг к концу. Конструкция этого фундамента показана на предыдущей странице. Как видите, фундамент этого мавзолея не расширяется книзу, как обычно, а наоборот – ступенчато сужается. Традиционная форма фундамента показана на этом же рисунке пунктиром. Весь ступенчатый фундамент помещён в массив из пластичной гончарной глины. Что это – ошибка или гениальная находка? Думаю, что второе. Такие ступенчатые фундаменты легче погружаются в пластичную глину и лучше амортизируют удары подземной стихии.

Если к этому добавить, что пятиметровой толщины стены мавзолея сами обладают пластическими свойствами и в них успешно гасятся сейсмические волны, то понятно, почему этот древний мавзолей выдержал все землетрясения, и мы можем назвать его сейсмостойким.

Осталось согласно названию данной главы взглянуть на пару минаретов – это чудо среднеазиатской архитектуры, стройные силуэты которых выделяются среди построек древних городов. Трудно поверить, что они выполнены из хрупкого кирпича. Минареты часто стоят в гордом одиночестве, без положенной возле них мечети. Здания мечетей, более жёсткие и основательные, и, казалось бы, более прочные, давно разрушили землетрясения, а вот эти очень хрупкие на вид, изящные и гибкие минареты продолжают стоять, как ни в чём не бывало.

Вот перед нами минарет Калян в Бухаре. Это один из древнейших и высочайших минаретов Средней Азии. Построен он был при соборной мечети во времена Арслан-хана под руководством зодчего Уста Бако в 1127 году. При этом

первый вариант минарета по неизвестной строительной ошибке обрушился. Второй вариант стоит до сих пор в первоначальном виде. Высота этого минарета составляет 46,5 метра. Диаметр в основании 9,7 метра, под фонарём-ротондой – 6 метров.

Весь минарет Калян, его цоколь и фундамент выложены из высокопрочного обожжённого кирпича размером 27 на 27 на 5 сантиметров на ганчевом растворе. За длительное время существования минарета кирпич и ганч образовали единую прочную монолитную массу. Кирпичный фундамент заложен на глубину более 13 метров. В кирпичной кладке фундамента устроено три слоя из каменных плит. Для повышения пластических свойств фундамента нижние ряды кирпича уложены на глине.



Минарет Калян в Бухаре, 1127 г.



Минарет Кальта-Минар в Хиве, 1852 г.

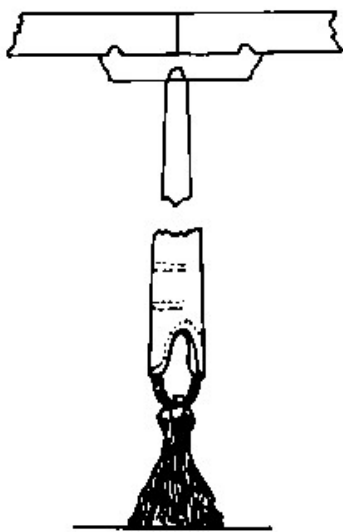
Второй минарет, Кальта-Минар, был задуман ханом Хивинского ханства Мухаммадом Аминханом как самый большой и высокий во всём мусульманском мире. Предполагалось поднять его на высоту в 80 метров. Строительство началось в 1852 году, но уже в 1855 году, со смертью хана, закончилось. К этому времени высота минарета достигла 29 метров. Диаметр основания минарета равен 14,2 метра. Эти гибкие сооружения хорошо переносят землетрясения.

Сейсмостойкость конструкций из дерева

Из традиционных строительных материалов дерево с его лёгкостью, прочностью и упругостью лучше всего отвечает требованиям сейсмостойкости. Одна из древнейших конструкций, основу которой составляет дерево и которая широко применялась и продолжает использоваться в жилом строительстве Египта, Индии, на Кавказе и в Китае – это дома с деревянным каркасом и заполнением из глины, смешанной с соломой или шерстью животных. При хорошо выполненном каркасе и лёгкой кровле такие дома отвечают всем требованиям

сейсмостойкости и хорошо выдерживают сильнейшие землетрясения.

Интересно, что каменные колонны не нашли широкого применения в архитектуре Средней Азии, а вот деревянные используются повсеместно, и не только в жилом, но и в монументальном строительстве. При этом была выработана традиционная типовая конструкция этой колонны. Устроена она, как вы видите на рисунке, следующим образом: прежде всего у неё есть красивое, резное, расширяющееся книзу каменное основание. В верхней части каменного основания имеется отверстие, куда вставляется нижний шип лёгкой деревянной колонны, постепенно сужающейся кверху. Верхняя часть колонны так же снабжена шипом, вставляемым в подбалку. Подбалка сама на концах имеет



Конструкция деревянной колонны

шипы, на которые надеваются балки перекрытия. Смотрите, что получается: колонна с обоих концов снабжена шарнирами, следовательно, она будет работать только на сжатие, без изгиба, и её материал будет загружен равномерно. Далее, применение подбалки уменьшает величину пролёта между колоннами и этим снижает максимальный изгибающий момент в несущих балках. Ко всему прочему, наличие шипов не позволяет всей конструкции разползтись, а элементам соскочить один с другого при землетрясении. Наконец, самое главное: через двухшарнирные колонны не будут передаваться на перекрытие те движения грунтового основания, которые возникают при землетрясении. В перекрытии будут возникать только горизонтальные движения от стен, в которых эти движения в значительной мере и гасятся. Такая колонна служит для поддержания лёгких деревянных перекрытий над широко распространёнными в жилых домах традиционными открытыми террасами – айванами.

Применялись такие деревянные колонны и в монументальном строительстве. Рассмотрим сразу уникальный пример такого сооружения. Перед нами Джума-мечеть, построенная в Хиве в X веке.



Джума-мечеть в Хиве, построенная в X веке

Джума-мечеть уникальна по планировке. Она не имеет порталов, куполов, галерей и внутреннего двора. Входы в неё расположены с трёх сторон. В потолке есть небольшие отверстия для освещения и вентиляции. В мечеть вмещалось всё мужское население города при пятничных богослужениях.



Внутреннее устройство Джума-мечети

Размер Джума-мечети в плане 55 на 46 метров, высота до 5 метров. Её плоское балочное перекрытие поддерживают 213 деревянных колонн указанной выше конструкции. Из них четыре древние колонны отличаются резьбой особой красоты и относятся ещё к X–XI векам.

Как видите, Джума-мечеть своим тысячелетним существованием подтвердила сейсмостойкость выбранной конструктивной схемы. А схема эта проста до гениальности. У неё совершенно нет жёстких узлов, лёгкое гибкое деревянное перекрытие, все соединения шарнирные, небольшие сейсмические горизонтальные нагрузки передаются на стены, расположенные по периметру.



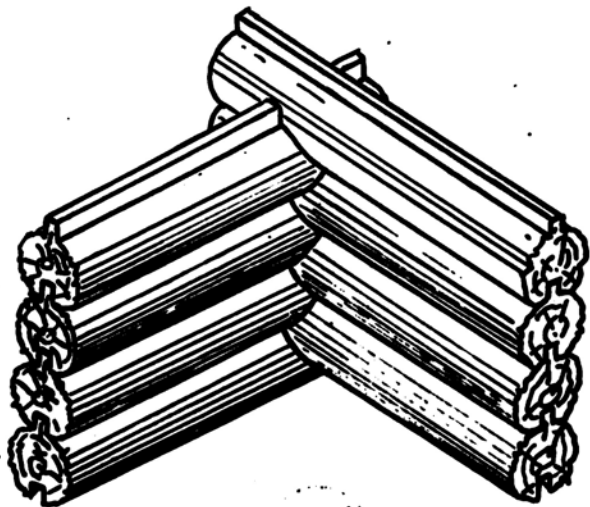
Видно устройство деревянных колонн в Джума-мечети

Теперь перенесёмся на несколько столетий вперёд, в то время, когда в Среднюю Азию пришли русские – большие специалисты в области строительства из дерева. Начнём с самого простого и самого распространённого элемента деревянного зодчества, с русской рубленой избы. С освоением Сибири и Дальнего Востока русские избы появились в Забайкалье, на Алтае, в Казахстане, то есть, в районах с повышенной сейсмической активностью. И вели себя избы при землетрясениях прекрасно – лучше японских пагод, хотя никто их к этому и не приспособливал. Так уж в самой конструкции было заложено.

Посмотрим, как мудро устроена обыкновенная рубленая русская изба. Основу всякой избы составляет так называемый сруб, который собирается из горизонтально расположенных отдельных, тщательно пригнанных друг к другу брёвен. При этом перед установкой в каждом бревне снизу вырубается по всей длине паз, а сверху ребро.



Изда более сейсмостойка, чем японская пагода или современное здание



Фрагмент конструкции сруба русской избы

Более того, на концах каждого бревна, там, где примыкают поперечные стены, вырубаются поперечные пазы. В результате при установке бревна в сруб оно сцепляется с нижележащим и с брёвнами поперечных стен. В результате образуется единая неразъёмная система, из которой нельзя удалить ни одного бревна, не сломав всей стены. Такой сруб может без разрушений деформироваться в любом направлении за счёт сдвигов одного бревна относительно другого по пазам. Такая система обладает хорошим затуханием, материал её лёгок, прочен и упруг. Пожалуйста не удивляйтесь, что я так подробно рассказал о русской избе и, можно сказать, спел ей дифирамбы. Это было как бы вступление к тому, о чём я хочу рассказать дальше.

Речь пойдёт о Софийском Кафедральном соборе, построенном в городе Верном – ныне это Алма-Ата. Собор был заложен в 1904, а уже в 1907 году освящён. Это замечательное сооружение, стоящее в самом центре Алма-Аты, является малоизученным и скудно освещённым в литературе памятником архитектуры. Узнал я об этом соборе из книги Юрия Домбровского «Хранитель древностей» (Ю. Домбровский – интересный писатель, обладавший энциклопедическими знаниями, несмотря на то, что более двадцати лет провёл в сталинских лагерях. Был до смерти избит в 1978 году, после издания в Париже его книги «Факультет ненужных вещей»). В романе «Хранитель древностей» он подробно описывает свой приезд в ссылку в Алма-Ату в 30-е годы и свою работу как раз в этом Кафедральном соборе, где тогда размещался краеведческий музей. Здесь от сторожа музея, старого казаха, писатель узнал, что собор построен русским военным инженером А. П. Зенковым из тяньшаньской ели без единого гвоздя, и что он же восстановил город Верный после сильнейшего землетрясения 1887 года. Собранные сведения о сейсмостойкости собора и других зданий Ю. Домбровский использует в своём романе. Заинтересовавшись всей этой историей, я тут же выпросил у начальства командировку в Алма-Ату и отправился туда для собственных изысканий, о которых и рассказываю вам. Происходило это осенью 1989 года.

Резолюция царя Николая I о создании в Семиречье укрепления, названного Верным, была подписана в феврале 1854 года. В 1855 году здесь уже было построено временное укрепление, и город начал бурно расти, чему способствовало развитие торговли с Востоком. Наверное, чтобы предупредить будущих строителей и жителей этого растущего города о грозящих им в будущем катастрофах от землетрясений, провидение послало им два сильных землетрясения.

Первое сильное землетрясение в Верном произошло в 1887 году. Кроме первых предварительных незначительных толчков, которые заставили жителей выскочить из домов, произошло ещё два сильных удара с интервалом в 10 минут. Сильнее всего пострадали здания из различных видов кладки, особенно из сырцового кирпича. Рухнула первая церковь из обожжённого кирпича на известковом растворе. Всего разрушилось 1800 зданий. При этом 800 деревянных зданий прекрасно сохранились. В некоторых из них развалились кирпичные трубы и печи. Тут уж нетрудно было сделать вывод, что деревянные здания являются более сейсмостойкими, чем каменные.

В 1889 году были изданы «Меры, указанные Техническо-строительным

комитетом, которые необходимо применять в городских поселениях Семиреченской области». Это был чуть ли не первый нормативный документ с рекомендациями по строительству сейсмостойких зданий, созданный в России. Разумеется, в этих нормах рекомендовалось строить, как правило, деревянные сооружения на каменном фундаменте, с устройством подвала под всем зданием и усилением углов вертикальными брусками. После этого землетрясения город Верный был восстановлен в деревянном варианте.

Следующее землетрясение – в 1910 году – было ещё более мощным. Смещения почвы в Пулкове под Петербургом (на расстоянии 3614 километров от эпицентра) достигали 4 миллиметров. При этом землетрясении ни одна деревянная постройка не была разрушена, в том числе и построенный к тому времени наш громадный Кафедральный собор, с которым мы собираемся знакомиться. Люди и скот погибли только в горах – под обвалами. Город уцелел, и заслуга в этом русских военных инженеров, которые занимались восстановлением и строительством в Верном. В их числе был и А. П. Зенков.

Прилетев в Алма-Ату, на следующий же день, в сопровождении знакомого казаха, я отправился в Софийский собор. Войдя в парк, названный в честь двадцати восьми героев-панфиловцев, за деревьями мы сразу увидели яркое, пёстрое, играющее всеми цветами радуги, многоглавое сооружение в псевдорусском стиле. Попал я в этот собор, можно сказать, в удачное время: краеведческий музей, располагавшийся здесь с 20-х годов, отсюда выезжал, а будущий концертный зал занимался своим благоустройством. Соответственно, стены находились в обнажённом состоянии, без всяких декораций, и я спокойно мог рассматривать конструкцию храма.

Когда я вошёл в собор, передо мной открылось огромное внутреннее пространство, которое было равномерно и ярко освещено через широкие окна подкупольных барабанов. Снизу были хорошо видны загадочно узкие простенки между окнами. Мелькнула мысль: какой конструкции эти узкие простенки? Они же должны быть довольно прочными, чтобы удерживать массу купола во время землетрясения. Для разминки я спросил о конструкции собора у молодой симпатичной женщины, явно сотрудницы музея. В ответ она любезно вылила на меня буквально ту же информацию, что более пятидесяти лет тому назад обрушил на Ю. Домбровского старик-сторож. Она с воодушевлением повторила много лет существующую легенду, что собор построил А. П. Зенков без единого гвоздя, что стоит он на бетонной плите и песчаной подушке. Живучи же легенды! Весь рассказ этой симпатичной женщины я выслушал с большим вниманием и интересом, хотя уже знал, что в этом деревянном соборе использовались не то что гвозди, а целые рельсы. А ещё я благодарен ей за то, что, во-первых, она не начала рассказывать о святости этого места. Действительно, при землетрясении 1910 года на поверхности земли образовалась огромная трещина, куда мог свалиться человек. Эта трещина шла прямо на собор. Но перед ним она вильнула в сторону, обогнула храм и дальше пошла своим путём. Дело тут было не в святости места, а в фундаментной плите собора. Фундамент был сделан прочным и представлял собой единую монолитную плиту. Сколько этот случай вызвал тогда разговоров о святости места и высших силах!

Во-вторых, эта женщина направила меня на истинный путь. Она рекомендовала мне зайти в собор с заднего крыльца – там я найду ответы на все мои назойливые вопросы. Я так и сделал. И действительно, здесь я познакомился с интересным увлечённым человеком – В. Н. Проскуриным, историком и краеведом. От него я узнал много интересного о соборе, городе Верном и об А. П. Зенкове. Коротко сообщаю вам о проведённых мною изысканиях.

При подробном рассмотрении всей этой истории выяснилось, что Зенковых было двое – отец и сын. Наш Зенков, Андрей Павлович, строитель собора, был сыном. Он родился в 1863 году. При землетрясении 1887 года находился в Петербурге и поступал в Николаевскую военно-инженерную академию, куда был принят в 1889 году. Следовательно, совершенно ясно, что никаких указаний по восстановлению города Верного после землетрясения 1887 года он писать не мог. А вот его отец, Павел Матвеевич Зенков – образованный человек, опытный архитектор, который принимал участие в разработке генплана города Верного, выбранный в 1877 году первым городским головой Верного. Он-то наверняка принимал участие в разработке этих указаний. А его сын, А. П. Зенков, прибыл в город только в 1899 году и уже в 1900 стал начальником строительного отделения Семиреченского областного управления. Ясно, что к этому времени город был восстановлен, но продолжал застраиваться с учётом сейсмической опасности. В результате город строился деревянный, малоэтажный. Теперь в этом по должности принимал активное участие А. П. Зенков. Под его руководством создаётся ряд замечательных деревянных сооружений, в том числе и Кафедральный собор. В ранее выполненный проект собора Андрей Павлович внёс дополнительные изменения, учитывавшие сейсмоопасность района. Решение возводить вместо рухнувшей в 1887 году кирпичной церкви деревянный собор было принято раньше.

Теперь поговорим о конструкции собора. Расскажу о том, что удалось выяснить, и о том, о чём можно догадаться.

Относительно высоты Кафедрального собора в литературе существуют самые фантастические цифры. Называют и 56, и 54, где-то даже 59 метров. Перед мной чертеж разреза собора. Явственно читается самая высшая отметка на верхнем конце креста над главным куполом – 39,63 метра; на верхушке колокольни – 44,2 метра; отметка верха железобетонной плиты основания – 0,55 метра. Как видите, даже до 50 метров далеко, но 40 метров для деревянного сооружения тоже неплохо. В результате имеем самое высокое деревянное здание в мире, если не сравнивать его с китайскими пагодами.

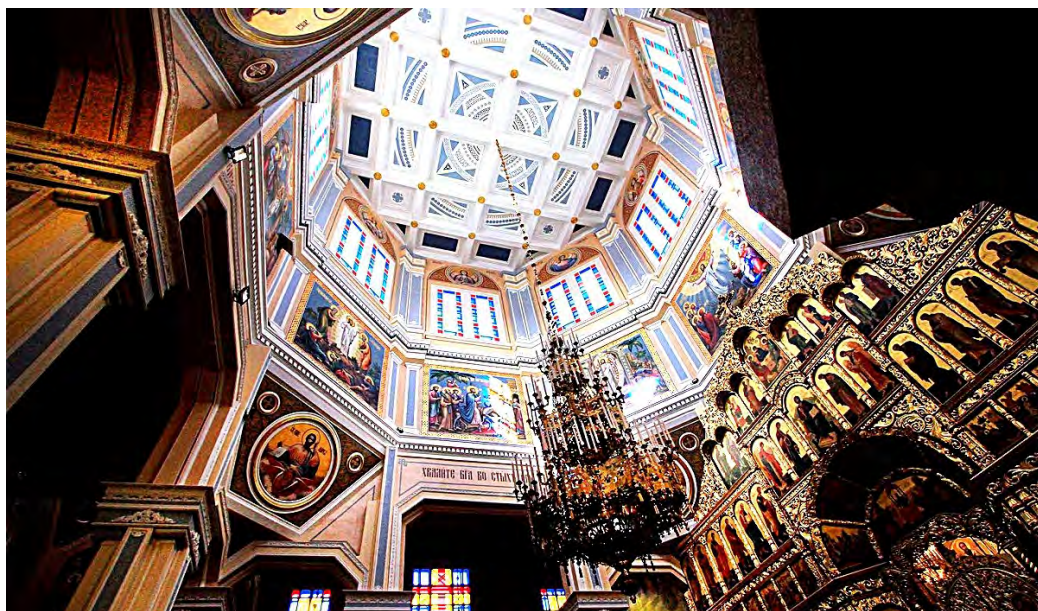
Двускатную стропильную крышу собора украшают пять куполов с луковками и крестами, приподнятых на восьмигранных приземистых барабанах с широкими прямоугольными оконными проёмами. Диаметр центрального большого купола около 13 метров, четырёх маленьких угловых куполов – около 6,5 метра. По оси собора над главным входом имеется ещё колокольня прямоугольной в плане формы. Кстати, сделать колокольню прямоугольной – решение А. П. Зенкова, призванное повысить её жёсткость. Все эти выступающие над крышей купольные конструкции объединены пространственным каркасом крыши в единую систему, которая в свою очередь соединена и опирается на стены и каркас

самого здания. Венцы стен, барабаны куполов, каркасы здания, стропила крыши – всё это выполнено из тьянь-шаньской ели.

Теперь о конструкции отдельных элементов собора.



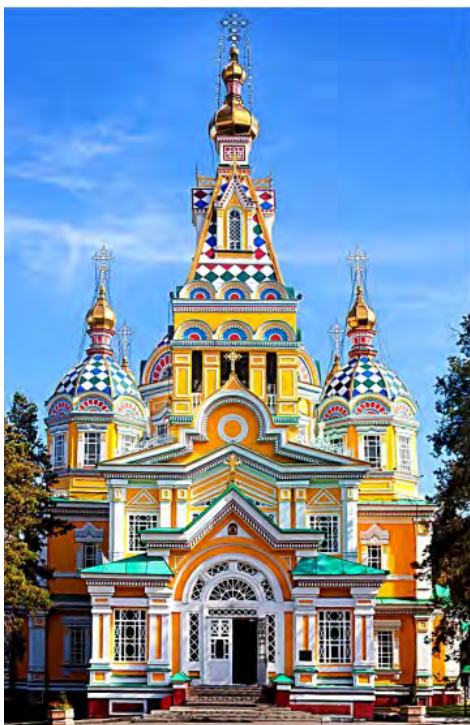
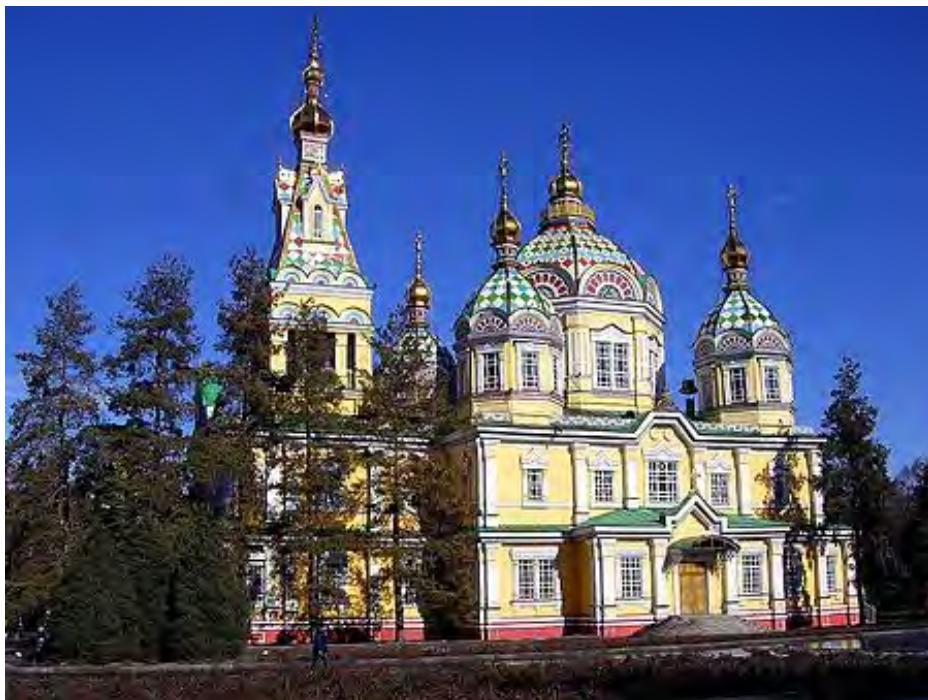
*Общий вид собора сегодня после реконструкции
и в 30-е годы прошлого века*



Подкупольное пространство собора. Виден кессонный плоский потолок.

Сферические лёгкие деревянные купола с внутренним каркасом сделаны практически безраспорными, так как весь распор от них воспринимается кессонным плоским потолком, устроенным в нижней части купола и выполненным из мощных балок, пересекающихся под прямым углом. Эти потолки и их конструкция видны снизу, из внутренних помещений собора. Купол и кессонный потолок образуют единую замкнутую пространственную систему. Этот достаточно лёгкий объём опирается на барабан и связан через простенки с крышей. Как устроены простенки подкупольных барабанов, я выяснить не смог — попробуем понять это через известную конструкцию колокольни.

Основой колокольни является сруб из уложенных горизонтально венцами брёвен, буквально как в русских избах. Сруб получился довольно высоким. При землетрясении в такой высокой колокольне появятся изгибающие моменты, и плохо работающий на горизонтальное усилие сруб не сможет удержать шатёр колокольни. Далее всё ясно: нужно вводить дополнительные вертикальные связи. Строитель собора так и сделал, он ввёл даже три вида вертикальных связей. Прежде всего к брёвнам прибили снаружи облицовку из толстой доски. Далее, так как стены колокольни были ослаблены двенадцатью оконными проёмами, их усилили шестнадцатью парами толстых брусьев, проходящих на всю высоту колокольни, в углах и простенках. Это второй вид вертикальных связей. Но здесь был введён и третий, необычный, и, пожалуй, самый главный вид связей. Сруб был прошит восьмью сквозными вертикальными металлическими болтами. Болты такие длинные, что они захватывают весь сруб колокольни, включая высокую пирамидальную крышу, и связывают их с верхними венцами и каркасом всего здания. При названных вертикальных связях уже невозможно колокольню разорвать на куски или оторвать от всей замкнутой структуры здания, даже при очень сильном землетрясении.



Софийский (теперь Вознесенский) собор и его колокольня

Конструкция подкуольных фонарей, разумеется, точно такая же. Купольные объёмы металлическими болтами пришиты к корпусу здания, а в межколонных простенках заложены толстые деревянные брусья. Это конструктивное решение было проверено на прочность сильным землетрясением 1910 года. Как писал сам А. П. Зенков, колокольня во время землетрясения колебалась подобно тому, как раскачивается дерево при сильных порывах ветра. Но уцелела! Согнулся только металлический крест над ней. Согнулся крест и над главным куполом. По-видимому, точно так же были прошиты для усиления металлическими стержнями срубы стен храма и его каркас.

Теперь о фундаменте. Здание собора стоит на плите из бутового камня на известковом растворе. Плита облицована гранитом, из которого сделан цоколь здания. Конструктивно получается точно так же, как у японских пагод: деревянная конструкция стоит на каменной плите, но здесь имеется один очень любопытный элемент – кольцевая подземная галерея, окружающая весь фундамент. Назначение этой галереи, говоря современным языком, отражать поверхностные сейсмические волны. Известно, что дом Зенкова был так же окружён канавой в качестве антисейсмического мероприятия, и что это действительно его защитило, так как он раскачивался меньше других при землетрясении. Дело в том, что при землетрясении самым активным образом сотрясается верхний слой грунтовой толщи, а дальше в глубину эти колебания довольно быстро затухают. Когда же на пути распространяющихся поверхностных волн встречаются рвы и канавы, от их стенок волны отражаются, и получается, что сооружения, окружённые рвом, находятся как бы в зоне затишья.

Короче говоря, весь набор антисейсмических мероприятий от подземной галереи вокруг каменной фундаментной плиты здания до деревянного сруба собора, прошитого металлическими стержнями – всё это обеспечило замечательную сейсмостойкость Софийскому кафедральному собору в Алма-Ате.

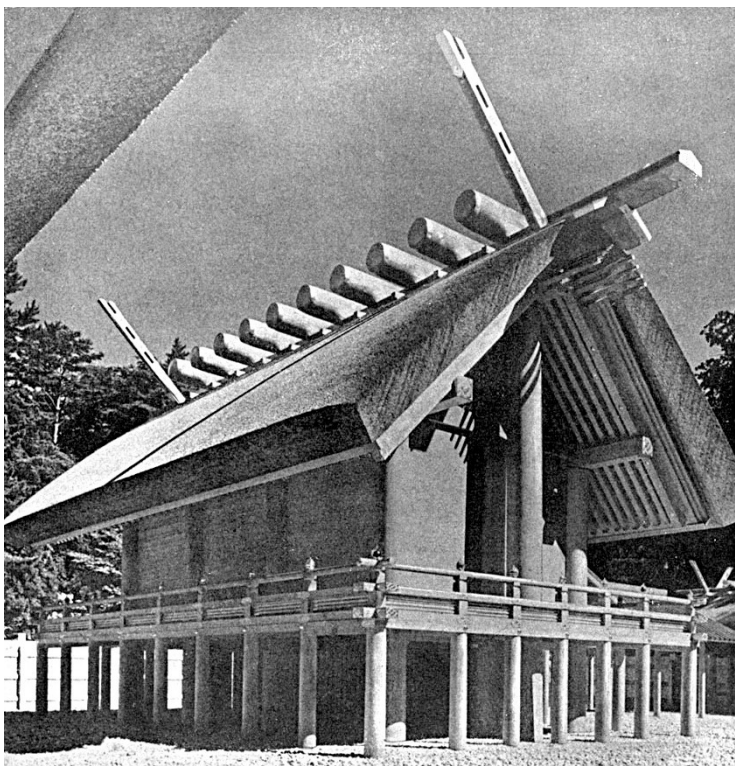
Дальнейшая судьба собора такова. В 1995 году он был передан Русской православной церкви. В соборе стали проводить службы. Из Софийского собор был переименован в Вознесенский. В 2017 году началась основательная реконструкция собора, осенью 2019 г. она была закончена. В результате этой работы внутри собора живого места не осталось, все поверхности были плотно украшены иконами, засияв всеми оттенками золота.

Что касается прекрасного архитектора Андрея Павловича Зенкова – он успешно трудился, занимаясь застройкой городов Фрунзе (теперь Бишкек) и Алма-Ата. Скончался в 1936 году, дожив до 73 лет. В Средней Азии вспоминают о нём с большой благодарностью.

Как всегда, очень быстро познакомившись с архитектурными памятниками Средней Азии, отправляемся дальше на Восток, к китайским и японским храмам и пагодам.

Сейсмостойкость японских и китайских пагод и храмов

Продолжаем наше путешествие по миру в поисках антисейсмических мероприятий, применявшихся зодчими древности. Вот добрались мы до Японии и Китая. В этих странах с доисторических времён было известно о таком страшном и разрушительном явлении, как землетрясения. Соответственно, зодчие этих регионов выработали свои приёмы по защите зданий, особенно религиозных, от сейсмических воздействий. Приёмы эти, надо сказать, весьма оригинальны и познакомиться с ними, я думаю, вам будет очень интересно. Коротко эти методы можно охарактеризовать так: их эффективность и сила заключены в создании всеобщей гибкости конструкции. Как это понимать, станет ясно из примеров, которые мы будем рассматривать.



Святынище Содэн в храмовом комплексе Исэ-найку, построено в III веке.

Начнём с древнейших памятников деревянного зодчества Японии. Вот перед нами святилище Содэн, входящее в храмовый комплекс Исэ-найку, посвящённый богине Солнца – Аматерасу-оми-ками, построенный в III веке. Это пря-

моугольное в плане сооружение целиком выполнено из дерева ценной породы – японского кипариса. Уже по этому древнейшему сооружению видно принципиальное отличие японских деревянных зданий от русской системы срубов. В японских основой всего здания являются врытые одним концом в землю вертикально поставленные столбы, на которые надстраивается вся остальная конструкция. В русском срубе всё повёрнуто на 90 градусов, брёвна лежат горизонтально, и для сейсмоопасных районов здесь требуются вертикальные связи.

Так вот, святилище Содэн довольно основательно поднято над землёй на столбах, одним концом зарытых в землю, а другим связанных со зданием. Они, по сути, являются сейсмоизоляторами. В уровне грунта они между собой не связаны, следовательно, могут двигаться в соответствии со сложным движением грунтового основания во время землетрясения. Сами эти столбы достаточно гибкие и поэтому смягчают воздействие подземной стихии на здание. В уровне пола святилища имеется как бы общая платформа, в которую включена и обходная терраса, связывающая верхушки столбов. В этом уровне уже амортизированные движения от каждого столба суммируются и осредняются. С этой платформой связан деревянный каркас здания, образуя с ней единый пространственный каркас. Перекрытие здания осуществлено с помощью наклонных стропил, по которым уложен толстый слой тщательно подстриженной соломы. Все эти элементы гибкие, лёгкие и податливые.

Но есть тут ещё один очень интересный для нас элемент. Его можно разглядеть на приведённой выше фотографии святилища. Имеются два толстых вертикальных бревна, установленных в главной плоскости сооружения и вынесенных наружу. На эти брёвна горизонтально уложен здоровенный коньковый брус. Получается прочная и довольно жёсткая П-образная рама. Во всяком случае, жёсткость этой конструкции выше, чем самого здания святилища с его основанием из системы столбов. Разумеется, П-образная рама поддерживает лёгкое здание святилища, так как они связаны между собой. Но во время землетрясения здесь возникает интересный эффект взаимодействия. П-образная, более жёсткая, рама гасит колебания гибкой конструкции, находящейся внутри неё. Вот такое соединение в единую конструктивную схему элементов с различными жесткостями присуще сейсмостойкому строительству древней Японии. Далее в нашем путешествии мы будем часто с этим встречаться.

Естественно, что тут сразу мелькает мысль: а нельзя ли строить современные сейсмостойкие здания, включающие в себя не два элемента различной жёсткости, а целый набор таких элементов, охватывающий весь возможный спектр частот сейсмических волн, чтобы их гасить.

Посетим ещё одно деревянное сооружение, поднятое на столбах. Это сокровищница Сёсоин, находящаяся в древней столице Японии Нара и построенная при императоре Сёму в 732 году. Прямоугольное в плане здание опирается на сорок деревянных колонн высотой 2,7 метра, усиленных железными обручами. На оголовки колонн уложены балки, образующие перекрёстную систему связей. По горизонтальной укладке брёвен стен сокровищница напоминает русскую избу. Только здесь нет пазов, и брёвна стен не зацепляются одно за другое, но при этом очень точно друг к другу пригнаны.



*Сокровищница Сёсоин
и фрагмент сруба её стен*

Интересно, что сечение брёвен в стенах трёхгранное, как показано на фото фрагмента. Сделано это вот для чего: в сухую погоду древесина высыхает и открываются щели между брёвнами для проветривания.

В сырую погоду дерево набухает и щели между брёвнами закрываются, препятствуя проникновению сырого воздуха в помещение.

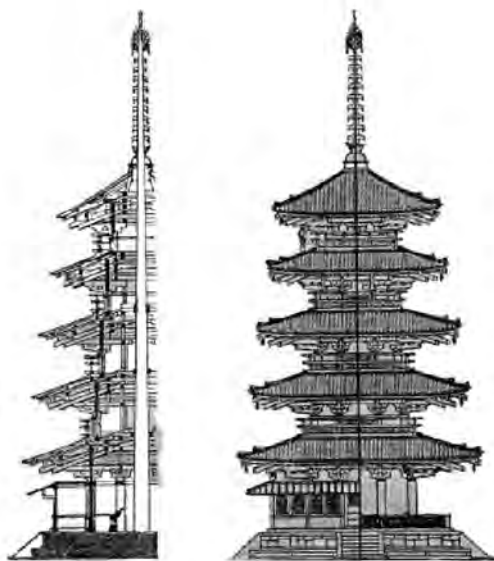
Здание сокровищницы разделено на три части внутренними перегородками, устроенными

из тех же трёхгранных брусьев и связывающими продольные стены между собой. Работа такой гибкой и податливой конструкции при землетрясении идеально проста: опорные брёвна, заделанные в грунт, двигаются так же, как грунтовое основание. Связывающая их верхушки перекрёстная система балок и само здание настолько гибки и податливы, что, не напрягаясь и не разрушаясь, могут двигаться и деформироваться в соответствии с движением от землетрясения грунтового основания.

С некоторым волнением и неуверенностью – смогу ли объяснить всё как надо – приступаю к описанию древних «многоэтажек»-пагод.

Буддизм в Японии был принят в 621 году и стал господствующей официальной религией. С этого времени, и даже раньше, сюда стали приезжать специалисты из Китая и организовывать строительство монастырских комплексов, включавших в свой состав и башенные сооружения – пагоды, достигавшие высоты 50 метров и больше. Интересно, что существовали как бы « типовые проекты » пятиэтажных и трёхэтажных пагод, которые почти без изменений строились и в Китае, и в Японии. Эти изящные и хрупкие на вид сооружения показа-

ли на протяжении веков в условиях частых землетрясений Японии исключительную сейсмостойкость. К примеру, при Великом землетрясении – Хансин Авадзи – в 1995 году в районе Кобэ разрушилось множество современных высотных зданий, но ни одна из тринадцати пагод не рухнула. В чём же секреты сейсмостойкости этих высотных, казалось бы, непропорциональных сооружений? Попробуем разобраться.



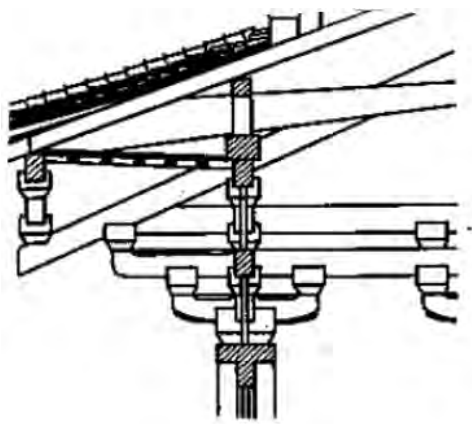
Пятиэтажная пагода Годзю-но-То в храмовом комплексе Хорюдзи и её разрезы

Анализ конструкции пагод будем проводить на конкретном примере. Сразу предупреждаю, что с такими сложными конструктивными решениями сооружений нам пока не приходилось иметь дело. И гарантирую вам, что здесь много загадочного, чего мы с вами понять так и не сможем.

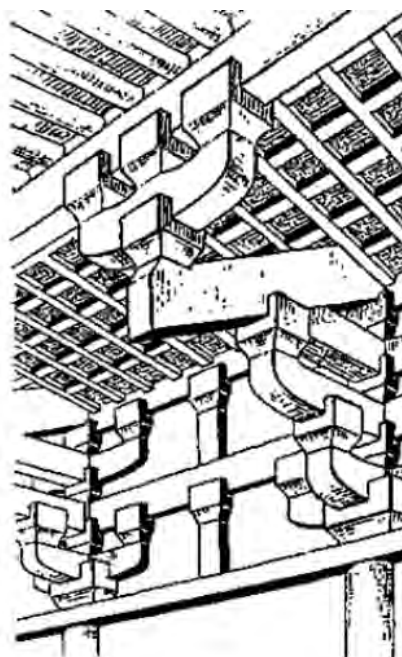
Вот перед нами пятиэтажная пагода Годзю-но-То храмового комплекса Хорюдзи, построенная тринадцать столетий тому назад. Её высота 31,9 метра, размер первого яруса в плане 6,4 на 6,4 метра. Её центральный столб, выполненный из гигантского ствола дерева хиноки, имеет в основании диаметр 0,91 метра. Этот столб стоит на каменном основании и имеет с ним шарнирную связь с помощью единственного шипа.

Как же она устроена? Вся конструктивная система пагоды состоит из нескольких (в данном случае их пять) квадратных в плане ярусов, постепенно уменьшающихся по высоте и образующих ступенчатый каркас. Столбы первого яруса, заделанные в каменный фундамент, поднимаются только до основания первой крыши, с которой они связаны очень сложной системой балок и шарниров. Эта же система служит базой для столбов, идущих до основания второй крыши, с которой они тоже связаны системой балок и шарниров, и, опять же, служат опорой для столбов до третьей крыши и так далее.

Вся хитрость здесь заключается в этих самых балках и шарнирах. Они так мудро задуманы, что позволяют каждому ярус пагоды не только смещаться независимо от других ярусов, но и самостоятельно возвращаться в исходное равновесное состояние. А чтобы повысить инертность каждого яруса, крыши покрыты тяжёлой глиняной черепицей. Центральный столб соединён с общим каркасом пагоды всего в трёх местах. Только крупных шарниров в пагоде насчитывается более тысячи.



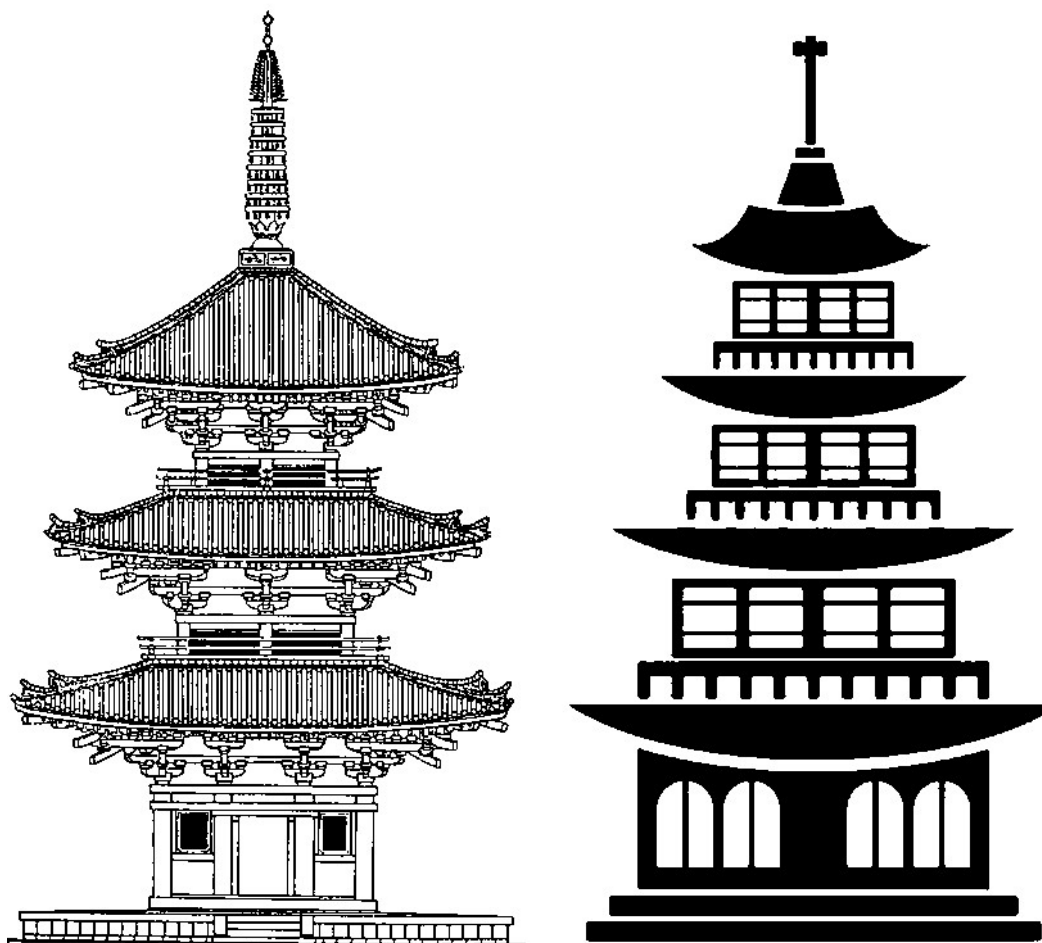
Сложная система шарниров под крышей каждого яруса



Вот теперь мы можем поговорить о секретах сейсмостойкости пагод. Первый секрет, который и секретом-то не является, заключается в том, что они целиком построены из дерева. В то далёкое время этот материал был идеальным для сейсмостойкого строительства. Лёгкий, прочный, упругий, способный хорошо гасить сейсмические колебания, распространяющиеся по нему.

А вот дальше идёт самый настоящий секрет, разобраться в котором невозможно, не имея точных чертежей. Как уже говорилось, каждый ярус пагоды соединён с соседними ярусами в уровне крыши сложной системой шарниров. Выведенная из равновесия во время землетрясения пагода, сложенная из нескольких ярусов, с одной стороны, будет раскачиваться как единая динамическая система, но в то же время каждый ярус будет качаться и приходить в положение устойчивого равновесия самостоятельно, наподобие игрушки «ванька-встанька». Вообразить это трудно, но так оно и есть. Можно придумать современное здание с таким же эффектом. Представьте, что мы построили каркасное здание, в котором все полы подвешены на тросах, закреплённых в уровне перекрытий. Во время землетрясения каждый пол будет раскачиваться самостоятельно и в то же время связано с общим движением здания.

Вследствие способности ярусов пагоды раскачиваться на этих шарнирных системах возникает эффект, который японцы называют «танцем змеи». Если нижний ярус пагоды в результате движения её фундаментной плиты при землетрясении сдвигается влево, то вышележащий ярус сдвигается вправо. Следующий ярус сдвигается опять влево и так далее. Получается, что пагода извивается, как змейка. При движении основания пагоды в другую сторону образуется симметричная змейка – пагода пляшет, подобно змее. Но самое интересное здесь то, что пагода не может при этом накрениться целиком.



Конструкция трёхэтажной пагоды и её расчётная схема

На левой схеме пагоды хорошо видны междуэтажные системы шарниров. На правом рисунке показаны эллиптические поверхности, эквивалентные тем самым системам шарниров.

Есть тут и ещё один очень важный секрет сейсмостойкости пагод – это центральный столб. Просто гениальный конструктивный приём. В сооружении объединены две системы разной жёсткости: гибкий столб и более жёсткий кар-

кас пагоды. Каждая из систем препятствует сильному раскачиванию другой. На современном языке это называется эффектом взаимодействия.

Теперь давайте рассмотрим конструкцию трёхъярусной пагоды, которая сохранилась в японском городе Нара среди строений буддийского храма Якусидзи. Пагода трёхъярусная, а производит впечатление шестиярусной за счёт обходных галерей, устроенных между ярусами. Раньше тут было две таких пагоды, но одна сгорела. Построена она в конце VII века.



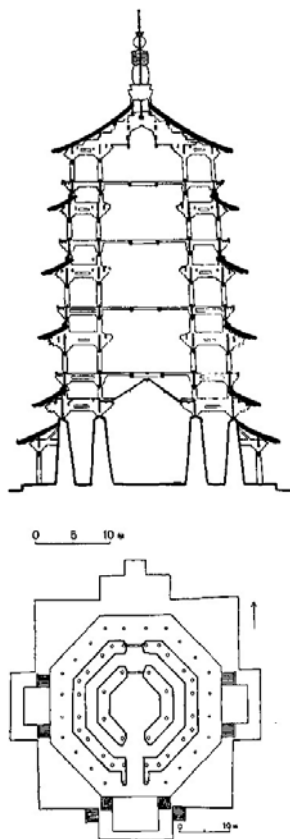
Пагода «Восточная» храма Якусидзи и её разрез

Высота пагоды до шпиля 35 метров. Центральный круглый столб свободно стоит на каменном фундаменте. Его диаметр внизу 0,9 метра.

Все положенные конструктивные приёмы сейсмозащиты в этой пагоде имеются, от прочного каменного фундамента и сложных междуярусных шарнирных систем до гибкого центрального столба.

В Китае пагоды отличаются большим разнообразием. Есть здесь пагоды каменные, кирпичные, металлические, но большинство из них всё же деревянные. Как правило, все они имеют хорошее каменное основание и самым причудливым образом решённую верхнюю часть. Инженерная фантазия здесь у них ра-

ботала на самом высоком уровне. В доказательство этого я хочу привести вам пример совершенно уникальной китайской пагоды.



Пагода Фогунсы Шицзята и её конструктивная расчётная схема

Перед нами пагода Фогунсы Шицзята или пагода Шакья-Муни храма Фогунсы, построенная в 1056 году в уезде Инсянь провинции Шаньси. В обыденной жизни китайцы называют её просто «Мута», что значит «Деревянная пагода». На её строительство пошло 3000 кубометров корейского кедра. Вес этого, казалось бы, лёгкого деревянного сооружения более 2600 тонн. «Шицзята» является самой высокой из деревянных пагод Китая. Её высота 67,3 метра. При этом ещё высота её каменного постамента 4 метра. Диаметр основания этой восьмигранной пагоды 30,3 метра. На доске у её основания написано: «Дьявольское мастерство, божественное искусство».

Теперь можем поговорить о конструкции этой пагоды. Как видно на расчётной схеме, на всю высоту первого этажа из кирпича выложены два восьмигранника, образующие стены внутренних помещений. Эти стены служат основанием для верхних этажей пагоды. Все узлы каркаса пагоды выполнены податливыми. Для соединения деревянных столбов и балок, на которых держится всё

сооружение, применено более шестидесяти видов пространственных шарниров. Вся конструкция пагоды получается, по-видимому, более гибкой, чем японская пагода с деревянным центральным столбом. Все девять этажей могут смещаться друг относительно друга в любом направлении. Но самое интересное здесь заключается в том, что на крыше пагоды имеется небольшая кирпичная площадка, на которой установлена небольших размеров, но довольно тяжёлая литая металлическая ступа.

С современной точки зрения это самый настоящий гаситель колебаний. От этого дополнительного веса период колебания всей конструкции возрастёт, и при землетрясении картина её колебаний будет примерно такой: при ударе сейсмической волны в первую очередь начнёт двигаться вместе с грунтовым основанием каменная платформа со стоящими на ней жёсткими стенами первого этажа – у них будет самая большая амплитуда колебаний. А вот дальше вверх от этажа к этажу эти колебания будут постепенно уменьшаться.

Самый верхний уровень – крыша – будет оставаться на месте в силу большой инертности от сосредоточенного здесь веса. Через какие-нибудь тысячу лет подобные виброгасители будут применяться в телевизионных башнях. Разумеется, только дьявол мог предложить такое замечательное устройство для гашения колебаний. Кто же ещё может до такого додуматься? Кажется, это просто нелогично: чтобы сделать сооружение более сейсмостойким, необходимо было по шатким конструкциям из дерева затащить на высоту 66 метров кучу кирпича и здоровенную металлическую болванку. Однако эта пагода стоит уже почти тысячу лет и падать не собирается.

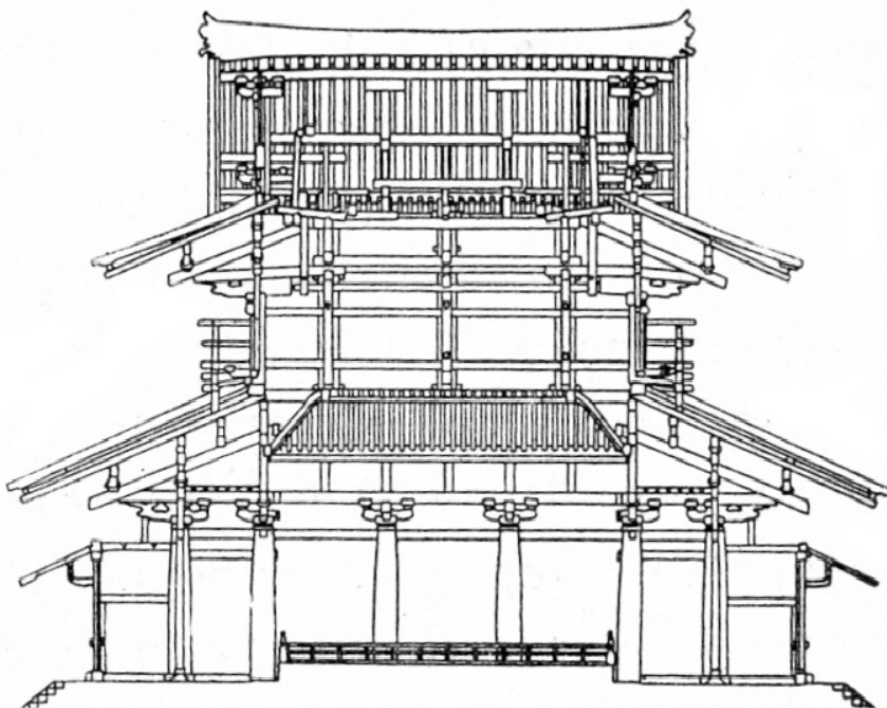
В заключение данного раздела о пагодах, да и всей книги в целом, предлагаю познакомиться с двумя знаменитейшими буддийскими храмами, один из которых японский, другой – китайский.



Храм Кондо (Золотой храм)

Вот перед нами храм Кондо (Золотой храм), который наряду с рассмотренной выше пагодой Годзю-но-То в храмовом комплексе Хорюдзи является одним из самых известных и самых старых деревянных храмов.

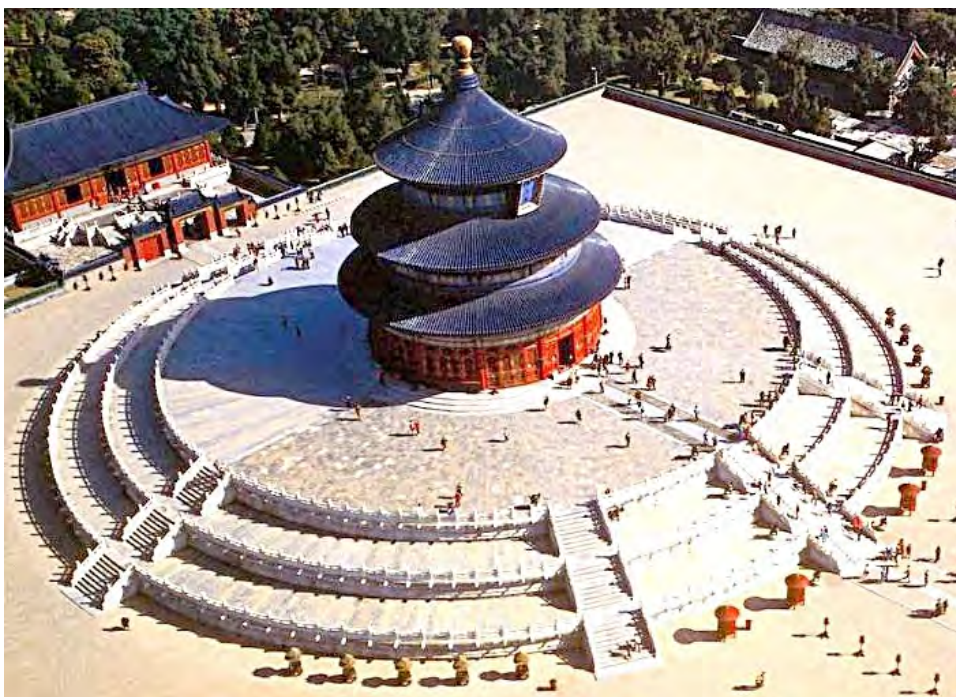
Храм был построен в 607 году. Он стоит на каменной двухступенчатой платформе. В плане здание прямоугольное. Со стороны входа его длина равна 13,9 метра. В поперечном направлении – 10,7 метра. Высота храма примерно 25 метров. Его конструкция довольно проста. Двадцать восемь мощных деревянных столбов, заделанных в каменные базы, поддерживают всю тяжесть верхней части пагоды и крышу.



Храм Кондо (Золотой храм), разрез

Как видно на схеме, эти же опорные столбы несут на себе особую систему кронштейнов, характерных для японской архитектуры. С помощью этих кронштейнов удаётся сделать большой вынос кровли. О сейсмостойкости этого гибкого деревянного храма говорить не приходится. В главном зале храма находятся бронзовые статуи буддийских богов и другие сокровища.

А дальше мы отправляемся в Китай. Здесь в Пекине находится храмово-монастырский комплекс, построенный за четырнадцать лет и открытый в 1420 году. Его центром является Храм Неба. В этом храме китайский император, сам Сын Неба, общался со своими божественными предками. А для нас с вами этот храм является идеальным осесимметричным образцово-показательным сейсмостойким сооружением. Вот и займёмся его устройством.



Храм Неба в Пекине и его платформа

Высота этого круглого сооружения с трёхъярусной крышей 38 метров. Храм стоит на обширной круглой каменной трёхступенчатой платформе высотой 8 метров. В эту платформу заделаны 28 здоровенных деревянных столбов,

на которых и держится весь храм. Четыре самых толстых столба высотой 19,2 метра находятся в центре здания. На них опирается самый верхний ярус кровли, символизирующий Небо. Каждый из этих четырёх столбов воплощает время года. Дальше от центра сооружения по периметру установлены 12 столбов. Они держат средний ярус кровли. Каждый из этих столбов символизирует какой-то месяц года. И, наконец, на уровне внешней стены храма расставлено ещё 12 столбов, которые держат нижний ярус кровли. Эти колонны являются символом 12 часов. Разумеется, все эти столбы в уровне ярусов кровли связаны между собой в единый пространственный каркас.



Модель устройства Храма Неба

Как видите, это храмовое сооружение удовлетворяет всем принципам сейсмостойкости, что подтверждено за 500 лет его существования.



Четыре внутренних столба и другие столбы, расставленные по периметру



Храм Неба. Видны несущие столбы в уровне внешних стен

На этом наша штрих-пунктирная прогулка по истории архитектуры закончена. Я старался быть кратким. Не гнался за количеством объектов. Главным для меня было больше рассказать об антисейсмических приёмах старых мастеров и о том, как их можно использовать сегодня. Надеюсь, книга будет полезна молодым специалистам и вообще всем любознательным.

Большая заслуга в том, что эта книга вышла в свет, принадлежит Наташе Кантур. Без её ангельского терпения и титанических усилий по борьбе со мной и моим текстом ничего бы не получилось. Пригодились и её профессиональные знания.

Всего вам хорошего!

Ваш Б. А. Кириков

Осталось по традиции дать фото – своё и внуков, кому посвящена книга.



Это я в Посейдонии



А это жена Инна с внуками Данилой и Максом, кому и посвящена эта книга.

