



Б. А. Кириков

Избранные
страницы
истории

**СЕЙСМО-
СТОЙКОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА**

Издательство "Мир"

Б.А. Кириков

Избранные
страницы
истории
сейсмостойкого
строительства



Москва "Мир" 1993

ББК 85.11
К 43
УДК 624.01042.7

Кириков Б.А.
К 43 Избранные страницы истории сейсмостойкого строитель-
ства.—М.: Мир, 1993.—344 с., ил.
ISBN 5-03-002994-X

В предлагаемой любознательному читателю книге в научно-популярной форме рассказывается о тех замечательных древних сооружениях, которые на протяжении многих веков успешно противостояли сейсмическим воздействиям. Для этого на самых интересных примерах из истории архитектуры изложены принципы сейсмостойкого строительства, которым следовали зодчие древности.

Книга адресуется людям интересующимся историей архитектуры, специалистам в области сейсмостойкого строительства, а также всем любознательным.

Иллюстрации подготовили
Л.В. Чухонцева, О.Я. Маркович

Научно-популярное издание
Б.А. Кириков
Избранные страницы истории сейсмостойкого
строительства

Зав. редакцией В.В. Левтонов. Ведущий редактор Е.В. Шубина.
Художественный редактор Н.В. Зотова.
Технический редактор Г.М. Носкова.

Редактор по набору М.В. Кретьева. Корректор О.А. Волкова
Оригинал-макет подготовлен на персональном компьютере и
отпечатан на лазерном принтере в Издательстве "Мир"
Подписано к печати 25.01.93. Формат 84×108¹/32. Бумага
книжно-журнальная. Гарнитура итаймс. Печать офсетная.
Объем 5,38 бум.л. Усл.печл. 18,06. Усл.кр.-отт. 18,27.
Уч.-издл. 16,36. Изд. №10/9273. Тираж 500. Заказ 1798.С-122.
Издательство "Мир" Министерства печати и информации
Российской Федерации
129820 Москва, 1-й Рижский пер., 2
Московская типография № 7 Министерства печати и
информации Российской Федерации
121019, г. Москва, пер. Аксакова, д. 13

К 3308000000-122 без объявл.
056(01)-93

ББК 85.11

Английская редакция

ISBN 5-03-002994-X

© Кириков Б.А., 1993

Предисловие

Уважаемый читатель, приглашаю вас в путешествие по суровому и загадочному миру сейсмостойких конструкций. Суровому тем, что каждая ошибка строителя в сейсмоопасном районе приводит к гибели людей и уничтожению духовных и материальных ценностей. Известно, что причиной гибели некоторых цивилизаций явились землетрясения. Загадочному, начиная с труднопредсказуемого сейсмического воздействия, которое неизвестно когда, где и как себя проявит, и кончая самым неожиданным поведением сооружения при этом воздействии. Случается так, что основательные монументальные сооружения, построенные, казалось бы, на века, от землетрясений рассыпаются как карточные домики, в то же время легкие гибкие минареты, иглами вонзенные в небо, спокойно стоят тысячу лет, выдерживая все подземные бури.

Любезный читатель, приглашаю вас заглянуть на самые, с моей точки зрения, интересные страницы истории сейсмостойкого строительства и побывать при этом в самых укромных уголках истории. И это в самом буквальном смысле. Здесь имеется в виду не только то, что мы отправимся в глубины истории на сотни и тысячи лет. А главным образом то, что для разгадки секретов древних мастеров по созданию сейсмостойких конструкций нам придется углубиться под фундаменты сооружений, куда не заглядывают и археологи, вместе со скорпионами залезть в трещины массивных стен, побывать под

гигантскими куполами в самых недоступных уголках, где только прячутся летучие мыши да мечутся мятежные души грешников.

В предлагаемой вам книге я не собираюсь рассказать вам обо всех способных противостоять землетрясениям исторических архитектурных памятниках. Сами понимаете, это просто невозможно сделать одному человеку. Моя задача гораздо скромнее. Я собираюсь под одной обложкой собрать заинтересовавшие меня, а надеюсь и вас, антисейсмические приемы, применявшиеся древними и современными строителями, обобщить их и как результат дать общие принципы сейсмостойкого строительства. Кстати, как вы увидите дальше, этих принципов не так уж много. Большинство из них было открыто в глубокой древности и применяется до сих пор. Меняются конструкции и строительные материалы, меняются способы производства работ, меняются, наконец, люди, но законы-то природы остаются, соответственно остаются и принципы конструирования сейсмостойких конструкций.

Короче говоря, на достаточно ограниченном, выбранном мной историческом материале я собираюсь продемонстрировать то богатое идейное и конструкторское наследие, что оставил нам древний строитель. Хочется отдать тебе, современный человек, это бесценное наследие, чтобы ты научился, наконец, бороться со стихией землетрясения.

Выражаю благодарность замечательным людям Любе Чухонцевой и Олегу Марковичу, которые иллюстрировали эту книгу.

Автор

Что такое сейсмостойкое здание?

Немного об эффекте сейсмического воздействия

В нашем с вами путешествии по архитектурным памятникам прошлого с целью изучения антисейсмических приемов древних строителей мне, по-видимому, достается роль экскурсовода. В мою задачу входит указывать маршрут, все показывать и высказывать свои соображения, с которыми вы можете согласиться или нет. Начну с того, что введу вас в курс дела. Мы будем заниматься с вами чисто строительными вопросами, и поэтому о том, как возникают землетрясения, как распространяются сейсмические волны, тем более о том, как предсказать землетрясение, здесь нет речи. Это все вопросы, которыми занимается сейсмология. Единственное, о чем здесь придется сказать, чтобы понятны были дальнейшие объяснения,—это о том, как движется грунт под сооружением во время землетрясения.

Движение это очень сложное. Для его математического описания, близкого к истине, может пригодиться только теория случайных функций. По сути дела во время землетрясения под зданием пробегает одновременно целый набор сейсмических волн, каждая из которых имеет свою длину, свой период колебания, свою амплитуду и свою скорость распространения. При сложении всех этих волн получается, что точки основания сооружения двигаются по-разному, хотя во многих случаях и мало отличаясь. Все зависит от соотношения размеров здания в плане и

длины сейсмических волн. К этому добавьте, что и само здание во время землетрясения начинает излучать волны. Это прежде всего отраженные от его днища волны. Кроме того, как сухопутный корабль, здание начинает раскачиваться в упругой грунтовой среде, само возмущая грунтовую толщу, и уже от него разбегаются во все стороны волны. В результате попробуйте представить, какая сложная картина движения грунта под сооружением имеет место во время землетрясения. При этом имейте в виду, что при следующем землетрясении эта картина не повторится. Она может быть совершенно иной. Какой? Ее можно предсказать только в самых общих чертах. Вот в таких условиях, так называемой неполноты информации о землетрясениях, строили древние зодчие и строят современные строители. Вот поэтому как в прошлом, так и в настоящем необходимо обязательно обращаться к опыту сейсмостойкого строительства прошлых лет, чтобы осмыслить его и не повторять ошибки прошлого в будущем.

Сейчас мы твердо знаем, какое существенное влияние оказывают грунты на поведение здания во время землетрясения. Идет так называемый процесс взаимодействия между грунтом и зданием, при котором эффект землетрясения может увеличиваться или уменьшаться. Как это ни странно, но впечатление такое, что древние строители знали об этом и уделяли большое внимание подготовке грунтового основания под сооружения. Подробно об этом будет еще рассказано.

И еще. Чтобы не было лишнего недоумения, сразу оговорюсь, что устаревшее понятие балла землетрясения здесь не будет употребляться. Дело в том, что понятие балла было введено для характеристики интенсивности землетрясения, и определялся балл по поведению несейсмостойких сооружений. Как же теперь определять балл землетрясения, если в сейсмически опасных районах все здания должны быть сейсмостойкими? Но зато в настоящее время развита сеть сейсмометрических станций, на которых получают записи случившихся землетрясений. С

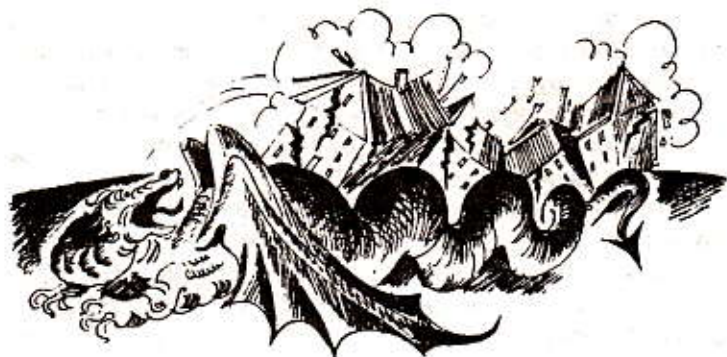


Рис. 1. Драконовская модель землетрясения

современной точки зрения необходимо землетрясение характеризовать его реальными параметрами, определяемыми по его записям. Это его амплитуды, периоды колебания, скорость распространения и так далее. В общем все, что необходимо для современных расчетов и что физически наглядно характеризует землетрясение.

Самым лучшим математическим представлением сейсмического воздействия будут случайные поля, когда в каждой точке грунта под сооружением его движение представляется случайной функцией. Но не будем углубляться в теорию, попробуем и в дальнейшем обходиться какими-то всем понятными рассуждениями и физически наглядными образами. Для примера можно немного пофантазировать и представить картину движения грунта под сооружением во время землетрясения. По-моему, лучше всего здесь для наглядности подойдет образ гигантского змея, двигающегося под зданием, как показано на рис. 1. Здесь видны и скорость распространения бегущей волны, и ее амплитуда, и преобладающие периоды и все остальное. Для полноты картины надо представить, что таких змей не одна, а много. Вот эти клубки двигающихся под сооружением гигантских змей и дадут вам некоторое представление о сложной картине движения грунта под сооружением во время землетрясения.

Больше к вопросам сейсмологии возвращаться не будем, хотя в дальнейшем всегда будем иметь в виду, что движение грунта под зданием носит чрезвычайно нерегулярный характер и оно зависит от свойств грунта, от свойств самого здания и от формы и глубины заложения фундамента этого здания.

Предложенная многозменная модель землетрясения позволяет легко представить тот хаос, который в то же время имеет определенную закономерность, что царит под сооружением во время землетрясения. Отдельные точки фундамента сооружения смещаются в произвольных направлениях, казалось бы, независимо. При достаточно сильном землетрясении фундамент здания зверски то разрывается, то сжимается, то перекручивается, то изгибается, а то все сразу, вместе. И вот с таким сложным, в общем-то непредсказуемым движением основания сооружения необходимо бороться так, чтобы здание уцелело и не разрушилось. Сразу возникает вопрос. А можно ли, имея очень приблизительную информацию о явлении, создавать все-таки сейсмостойкие здания? Отвечаю. Можно, и это подтверждено историей сейсмостойкого строительства. Как? Об этом речь впереди. Этому, собственно, и посвящена данная книга. При этом не будем забывать, что корни современного сейсмостойкого строительства лежат в его многовековой истории.

Если вы человек наблюдательный, то имели возможность много раз заметить, что древние умели в разных областях знаний, будь то медицина или астрономия, накапливать и обобщать предыдущий опыт. То же самое было и в области сейсмостойкого строительства. История создания антисейсмических конструкций древними строителями чрезвычайно интересна и поучительна.

Короче говоря, создание сейсмостойких зданий—задача со многими неизвестными, от свойств сейсмического воздействия до характеристик здания, и одним известным: человеческая жизнь в них должна быть в безопасности при землетрясении.

Основные принципы сейсмостойкого строительства

Давайте еще кое-что выясним, прежде чем начнем непосредственно изучать объекты истории сейсмостойкого строительства и удовлетворять наше любопытство. Попробуем раскрыть понятие "сейсмостойкое здание". Что это такое? Если это понятие трактовать узко, то сейсмостойким считается здание, которое способно обеспечить сохранность жизни людей и ценного оборудования при землетрясении. Но, к сожалению, как вы заметили, наверное, сами, наши здания далеко не всегда отвечают этому требованию. Виноваты в этом могут быть конструктивные ошибки, плохое качество работ или неполнота наших знаний, которая не позволила нам учесть какой-то очередной опасный эффект землетрясения. Соответственно правильно делают те люди, которые не надеются на сейсмостойкость зданий и при первых же признаках землетрясения выскакивают из них. Хотя в будущем, надо надеяться, все будет наоборот—качество строительных работ станет прекрасным, ошибок в конструктивных решениях зданий не будет, материалы будут прочные, легкие и эластичные, и соответственно здания станут настолько по-настоящему сейсмостойкими, что при первых же признаках землетрясения люди станут прятаться в них, а не выскакивать на улицу. Будем оптимистами и поэтому будем верить, что наступит светлое будущее сейсмостойкого строительства, когда понятие "рухнувшее здание" будет встречаться только в старинных манускриптах.

Это было дано определение сейсмостойкого здания с гуманистических, так сказать, позиций. Можно дать определение и с экономической позиции. Например, так, что в сейсмостойком здании расходы на восстановительные работы после землетрясения не должны превышать какой-то доли от стоимости здания. С этой позиции может быть, если каким-то образом предотвратить человеческие жертвы, например с помощью предсказания землетрясения и соответствующей заблаговременной

эвакуации населения, то выгоднее всего для некоторых городов вообще не проводить какие-либо дорогостоящие антисейсмические мероприятия, а просто после каждого сильного землетрясения раз в сто или двести лет город отстраивать заново. Это сказано к тому, что землетрясение—явление все-таки достаточно редкое, а расходы на антисейсмические мероприятия большие.

Как сформулировать более общее определение сейсмостойкого здания, я не знаю, но думаю, что это можно и нужно сделать. Может быть, здесь помогла бы теория вероятностей. Например, коротко и ясно так: "Сейсмостойким считается здание, вероятность разрушения которого от землетрясения с ожидаемой интенсивностью не должна превышать определенной величины за весь срок эксплуатации". Во всяком случае, в интуитивном представлении о сейсмостойком здании одновременно мыслятся и особенности конструкции, и безопасность для жизни людей, и допустимый уровень разрушения, и экономические показатели.

В данной книге мы будем подробно изучать только одну грань этого широкого понятия "сейсмостойкое здание", а именно его конструктивные особенности, рассматривая их в историческом развитии. При этом хочется создать взаимосвязанную и целостную картину мира сейсмостойких конструкций, а не просто в хронологической последовательности назвать те или иные антисейсмические мероприятия. Поэтому у меня следующее предложение. Чтобы дать общую логическую связь всем главам книги, в каждой из которых будет рассматриваться историко-географический район мира, попробуем сформулировать основные фундаментальные принципы конструирования сейсмостойких зданий. С единых позиций этих принципов и рассматривать антисейсмические конструктивные решения, примененные в древних сооружениях в различных странах мира в различные эпохи.

В соответствии с загадочностью мира сейсмостойких конструкций число этих принципов естественно равно магическому числу семь; вот они:

1. Принцип симметрии. Веса и жесткости в конструкции должны быть распределены равномерно и симметрично относительно плоскостей симметрии, проходящих через центр тяжести сооружения.

2. Принцип геометрической гармонии. Определенные соотношения между высотой, шириной и длиной здания обеспечивают ему сейсмостойкость, при этом один из его размеров не должен быть чрезвычайно большим по абсолютной величине по сравнению с другими размерами.

3. Принцип минимизации веса. Необходимо делать сооружение как можно более легким с центром тяжести, расположенным как можно ниже.

4. Принцип идеального материала. Материалы в конструкции желательно применять прочные, легкие, обладающие упругопластическими свойствами, конструкции из них должны иметь однородные свойства.

5. Принцип замкнутого контура. Несущие элементы конструкции здания должны быть связаны между собой, образуя замкнутые контуры как в вертикальном, так и горизонтальном направлениях.

6. Принцип фундаментальности. Фундаменты у сейсмостойких конструкций должны быть прочными, достаточно глубоко заложенными, желательно на податливых прослойках или специальных субструкциях, заменяющих плохие грунты, для обеспечения однородности и прочности грунтового основания.

7. Принцип сейсмоизоляции. Применять устройства, снижающие интенсивность колебательных процессов, передаваемых от грунта на здание.

Требование хорошего качества строительных работ, разумеется, не вошло в число принципов сейсмостойкого строительства. Это само собой должно соблюдаться в любом строительстве.

Названные выше принципы можно спрессовать в единый закон сейсмостойкого строительства: при создании сейсмостойких конструкций необходимо делать все возможное и невозможное, чтобы предотвратить концентрацию напряжений в какой-либо части здания во

время землетрясения. Этим мы стремимся не допускать перегрузок отдельных элементов зданий. Само собой разумеется, если какой-либо элемент будет перегружен, у него большая вероятность быть разрушенным. Разрушение одного элемента ведет к перегрузке других и их разрушению. Далее лавинообразное обрушение всего сооружения.

Предложенные семь принципов представлены вам как обобщение многовекового опыта сейсмостойкого строительства. К ним, конечно, можно добавить что-то еще, буду это делать по ходу нашего путешествия. Как увидим дальше, в некоторых древних сооружениях мы найдем воплощение всех указанных принципов и даже больше, поэтому будьте готовы ко всяким неожиданностям, так как конструктивное воплощение этих принципов может принимать самые неожиданно фантастические и смелые формы.

Хочу вас предупредить, что к вышесформулированным принципам надо относиться так же, как и к любым другим принципам, их вовсе не обязательно полностью соблюдать. Разумеется, можно строить очень высокие или несимметричные сооружения. Но в этом случае надо принять какие-то дополнительные меры, чтобы обеспечить их прочность при землетрясении.

Кстати, у вас, наверное, мелькнула мысль. А как я буду искать в древних сооружениях именно специальные антисейсмические мероприятия, соответственно описывать их и анализировать? Согласен с вами, задача действительно очень даже не простая. Как выделить именно антисейсмические мероприятия из всех конструктивных приемов данного сооружения? Разумеется, не сохранилось чертежей древних сооружений, а тем более комментариев к ним, потому что их скорее всего и вообще-то не было, так как разметка конструкции шла сразу на местности. Часто не осталось и самих этих древних, а особенно древнейших сооружений, из них были сделаны каменоломни, сохранились от многих только отрывочные описания, иногда развалины, ну а есть и такие, что стоят и по сей



Рис. 2. Проект плаката для сейсмоопасного района

день, донеся до нас свое строительное совершенство. Поэтому выяснить, о чем думали зодчие древности, создавая свои шедевры, какие конструктивные решения они применяли специально для защиты зданий от сейсмических воздействий, как они обобщали опыт предшественников, сейчас не представляется возможным. Может, они и не выделяли отдельно сейсмические нагрузки, а рассматривали сразу весь комплект внешних нагрузок.

Как же быть? Мне, кажется, остается единственный путь взглянуть на древние сооружения с точки зрения современного представления о сейсмостойкости зданий и дать им анализ соответственно с современных позиций. Конечно, в этом случае неизбежно будут ошибки в наших поисках. В одних случаях мы будем приписывать древним

авторам то, о чем они и не думали. В других случаях, наоборот, не заметим каких-то конструктивных приемов, которые применяли древние строители для повышения сейсмостойкости своих сооружений. Но другого пути я не вижу, предлагаю изучать исторический опыт многих веков сейсмостойкого строительства с современных позиций. Путешествуя в поисках признаков антисейсмических мероприятий по древним сооружениям, не будем забывать, что вырвавшаяся на поверхность земли стихия не раз собирала богатый урожай в виде человеческих жизней и страданий (рис. 2), и поэтому проявления этой стихии надо изучать, чтобы знать, как с ней бороться. Использовать опыт древности для современности—основная цель данной книги.

Как здания делаются сейсмостойкими?

Прежде чем попытаться как-то вразумительно ответить на этот вопрос, предварительно рассмотрю следующие два вопроса.

Первый, прямой и несколько примитивный. Как землетрясение разрушает здание? Такой же примитивный ответ. Землетрясение с присущим ему коварством ищет слабое место в сооружении и ударяет именно в него, начиная с этого разрушение всей конструкции. Такое разрушение может начаться со слабого фундамента, а если он заложен на слабых грунтах, да в добавок уже до землетрясения был поврежден неравномерными осадками, то этот фундамент и явится тем слабым местом. В высоком сооружении, вытянутом в поднебесье, слабым местом может оказаться не фундамент, а верхушка, при сильном ее раскачивании во время землетрясения в ней от больших ускорений появятся такие большие инерционные силы, которые ее оторвут. В каркасном здании от гигантских сдвигающих нагрузок могут образоваться пластические шарниры в местах примыкания колонн и балок первого этажа. Здание станет геометрически изменяемым, от чего и рухнет. В арке

может разрушиться самая верхняя замковая часть, если она будет недостаточно прочной или, наоборот, недостаточно податливой. Наконец, в сооружении при совпадении его собственной частоты и преобладающей частоты сейсмического воздействия могут произойти явления, близкие к резонансу. В этом случае от больших деформаций напряжения в несущих конструкциях могут превзойти предел прочности материала и опять в слабом месте произойдет разрушение. Все испытания конструкции с помощью каких-то устройств, имитирующих сейсмическое воздействие, для того и делаются, чтобы найти эти слабые места, а потом их усовершенствовать.

Теперь второй, можно сказать, философский вопрос. Отличалась ли точка зрения древних строителей на сейсмостойкое здание от современного представления? Думаю, что отличалась, и значительно. Предупреждаю, что я невольно буду идеализировать древних строителей, уж очень они симпатичными кажутся из нашего пустопорожного времени. Кстати, на это я имею все основания. Более древнее сооружение почти всегда отличается хорошим качеством и тщательной укладкой каменных блоков. Можно взять пример и не из области строительства. Чернолаковые сосуды греков V в. до н.э. значительно лучше по качеству, чем такие же сосуды III в. до н.э.

Отличие точек зрения древних и современных строителей на понятие сейсмостойкое здание, на мой взгляд, заключалось в следующем. Современный строитель может задать такой вопрос: "Как из этого несейсмостойкого здания сделать сейсмостойкое? Что в этом здании достаточно усилить?". Думаю, что для древнего строителя такой вопрос невозможен. В его представлении, как можно судить по древним памятникам архитектуры, сейсмостойкое здание—это принципиально отличное от обычного, в нем все с самого начала должно быть пронизано идеей обеспечения сейсмостойкости от соответствующей обработки грунта под фундаментом здания до верхушки купола. Кажется, что над каждым камнем в кладке думали, как его лучше уложить в зависимости от формы

и структуры и закрепить, чтобы его не выбили сейсмические удары. Раствор в каждом шве должен обеспечить не только сцепление между камнями, но и предохранить каменную кладку от проникновения воды внутрь, которая будет постепенно разрушать эту кладку. Получается, что гидроизоляция каменной кладки тоже повышает сейсмостойкость здания. Мощение, которое делается вокруг здания, чтобы предохранить его от попадания воды под него и соответственного замачивания грунтов под фундаментом, тоже признак сейсмостойкости. Иногда эти, казалось бы, второстепенные детали играют основную роль.

Дальше разговор пойдет о конструктивных антисейсмических мероприятиях, при этом буду стараться подчеркнуть то, что поражает в древних сооружениях, как они умели комплексно одним приемом решать сразу несколько строительных проблем. Например, песчаная подушка под фундаментом стены может служить одновременно для смягчения ударов на эту стену от землетрясения, и в то же время это дренаж для отвода воды из-под этой сырцовой стены. И таких примеров будет много.

Теперь после всех лирических отступлений можно ответить на основной вопрос данного параграфа. Как же создаются сейсмостойкие здания? Можно условно выделить три принципиально отличных подхода, которые могут быть использованы при проектировании сейсмостойких зданий.

Первый подход, самый распространенный, состоит в том, чтобы создавать конструкции повышенной прочности, способные без значительных повреждений переносить землетрясения, ожидаемые в данном районе. По этому подходу здание необходимо усиливать и соответственно удорожать в разумных пределах, чтобы оно было и достаточно надежным, и нечрезмерно дорогим. Идеальным воплощением данного подхода к созданию сейсмостойких конструкций было бы здание ванька-встанька, этакий крепыш, который спокойно без

сильных разрушений мог бы плавать в сейсмических волнах, может быть и сильно раскачиваясь.

Второй подход основан на следующем. Известно, что, чем крепче и жестче здание связано с колеблющимся грунтом, тем больше в нем возникают сейсмические нагрузки, так как лучше передаются колебания от грунта к зданию. А что, если снизить эту нагрузку за счет ослабления связи между грунтом и сооружением? Цели ослабления связи между фундаментом и зданием служат различные элементы сейсмозащиты: песчаные прослойки, глиняные подушки, камышовые пояса, скользящие пояса из металлических пластин, резиновые прокладки, шары, эллипсоиды, воздушные подушки, пружины. Это направление существовало в глубокой древности и активно развивается во многих странах сегодня, так как по этому пути можно создавать дешевые и надежные сейсмостойкие конструкции. Детально о конструктивных приемах этого подхода мы в основном будем говорить, когда доберемся до современности. Правильно, наверное, это направление назвать системами пассивной сейсмозащиты в противоположность третьему подходу, в котором используются системы активной сейсмозащиты.

В соответствии с третьим подходом здания оснащаются какими-то устройствами, которые меняют динамические свойства здания, если оно попадает в резонанс, и выводят его из этого состояния. По сути дела это самый современный способ создания сейсмостойких зданий, так как в этом случае в здании устраиваются различные приводы, управляемые вычислительными машинами, обрабатывающими тут же информацию от происходящего землетрясения, и заставляющие здание реагировать на него, менять свои свойства и выходить из резонанса. По сути дела это здания-роботы.

С другой стороны, это самый древний способ самозащиты зданий от землетрясений. Дело в том, что любое здание способно при повреждениях во время землетрясений менять свою жесткость, перестраивая как бы свою структуру и меняя собственный период колебания.

Но в обычных зданиях собственный период может меняться произвольным образом: и в сторону приближения к периоду колебания грунта во время землетрясения, тогда возникнет резонанс и возможна катастрофа, и может уходить от периода воздействия, тогда сразу сейсмические нагрузки упадут. В современных же зданиях-автоматах система активной сейсмозащиты работает только так, чтобы выводить здание из резонанса.

То, как здание без всякой роботизации способно перестраивать свою структуру и приспосабливаться, чтобы не рухнуть, к сейсмическому воздействию, можно показать на таком примере. Вспомним Ашхабадское землетрясение 1948 г. [1]. По ул. Свободы была расположена мечеть, построенная в 1911 г. из обожженного кирпича на прочном известковом растворе в лучших традициях среднеазиатского зодчества. Эта мечеть состояла из центрального девятигранного барабана (рис. 3) высотой от основания до вершины купола 33 м и еще двух значительно более низких концентрически расположенных барабанов с арочными перекрытиями, которые составляли пристройку к центральной части. Вся эта конструкция в сборе была, конечно, очень жесткой, т.е. собственный период колебания был небольшим, по-видимому, таким же достаточно маленьким в этом месте был преобладающий период колебания от близкого землетрясения у грунта, поэтому конструкция мечети при землетрясении работала в резонансном режиме, ей грозило разрушение. Мечеть начала бороться за жизнь. Объединение центральной и пристроечной частей в единое целое придавало всей конструкции чрезвычайную жесткость. Борьба началась с того, что разрушились связи между центром и пристройкой. Это показано на рисунке. Далее каждая часть боролась за существование самостоятельно в зависимости от своих особенностей. У боковой пристройки срезались опоры, слава Аллаху, не слишком они были прочные. Сразу передача энергии колебания от грунта на пристройку снизилась, так как связь между ними теперь осуществлялась только трением. Вот вам прототип

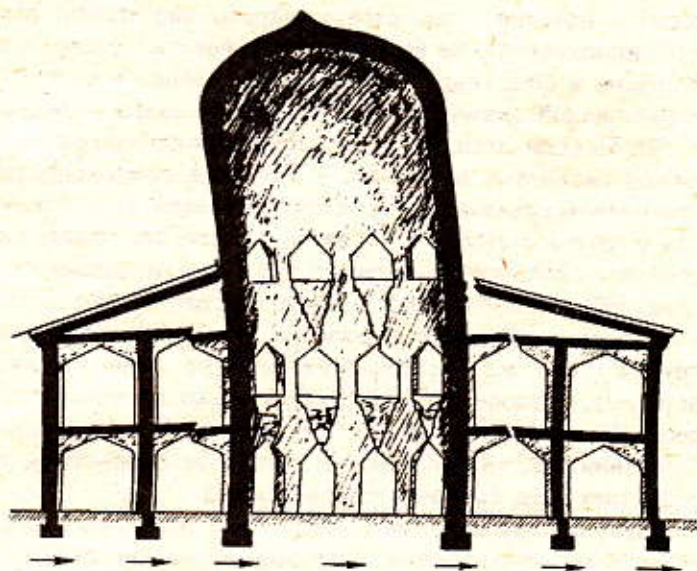


Рис. 3. Самопревращение здания мечети из жесткого в гибкое

скользящих поясов, о которых мы еще будем говорить. Идею такой сейсмозащиты подсказывает сама природа. Центральная часть повела себя иначе. У нее опоры были слишком прочные, их трудно было срезать. Тогда она решила пожертвовать целостностью своих стен над первым и вторым ярусами оконных проемов. При их разрушении образовались трещины под углом 45° к горизонту. Из сплошного барабана купола получились отдельные вертикальные опоры, которые могли проскальзывать друг относительно друга при наличии между ними только трения. Жесткость центральной части мечети резко уменьшилась за счет исключения связей, роль которых сыграли надоконные арки. Теперь и центральная часть уцелела, так как купол опирался не на жесткую, а на гибкую конструкцию, имевшую большой нерезонансный период собственных колебаний. Такая перестройка конструктивной схемы мечети спасла ей жизнь, и она

гордо и победно несла свои минареты над хаосом разрушенного города. Ее бы подреставрировать, но она была взорвана в 60-х годах, так, конечно, проще, и ее купол стреловидной формы лопнул только от удара о землю.

Чтобы окончательно уяснить принципиальную разницу между системами пассивной и активной сейсмозащиты, рассмотрим идеальные, так сказать, примеры воплощения той и другой системы. Если взять и подвесить здание над землей на воздушном шаре, то это будет пассивная система сейсмозащиты. Здание будет постоянно полностью изолировано от движущегося во время землетрясения грунта. Если же построить стоящее на земле здание-вертолет, которое будет взлетать только по команде от соответствующих приборов, предупреждающих о приближении сейсмической волны, чтобы ее пропустить, то это будет уже активная сейсмозащита.

Если вы думаете, что те примеры идеальных сейсмостойких конструкций, названные мною, являются чистой абстракцией, то вы ошибаетесь. Вот здание, подвешенное на воздушном шаре. Его пока действительно нет, очень пока тяжелы строительные материалы, но сооружение, плавающее и подвешенное в воде, уже есть. Это шельфовые нефтедобывающие платформы (рис. 4). Эти гигантские сооружения, кстати экологически очень опасные, могут строиться в самых сейсмически опасных районах. У них тот же принцип сейсмозащиты, что и у здания, висящего на воздушном шаре.

Теперь о здании-вертолете, это тоже пока нереально, более реально приподнять здание с помощью магнитного поля, струй воды, воздушной подушки. О конструктивном воплощении современных систем сейсмозащиты речь пойдет в конце нашего путешествия по истории.

Из трех названных выше подходов к созданию сейсмостойких конструкций становится ясно, что ранее сформулированные семь принципов сейсмостойкости относятся только к первому, при котором строится высокопрочное сооружение с жесткостями, обеспечивающими ему нерезонансное состояние при землетрясении. На

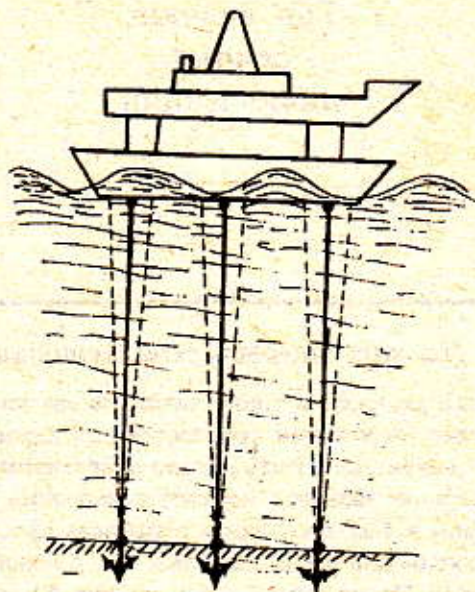


Рис. 4. Плавающая в воде нефтедобывающая платформа

самом деле это не совсем так. Если в здании второго типа на сейсмоизоляторах не учесть требование симметрии конструкции, то в нем при землетрясении появятся такие крутящие моменты, что часть элементов сейсмозащиты— пусть это будут чугунные шары—будет перегружена и может просто быть раздавленной, что разрушит всю систему сейсмозащиты. Даже в здании-вертолете необходима симметрия конструкции, не говоря уже о требовании ее облегчения. Короче говоря, названные выше принципы сейсмостойкого строительства являются универсальными и относятся ко всем трем типам сейсмостойких конструкций.

Итак, вступительная лекция прочитана, надеюсь, она ввела читателя в мир сейсмостойких конструкций. Здесь очерчен круг вопросов, который дальше будет рассматриваться в нашей истории сейсмостойкости. Задача поставлена, осталось ее решить.

Три великие речные цивилизации

На заре человеческой истории.

С какого момента истории человечества начать наше путешествие по истории сейсмостойкого строительства? Чтобы не ошибиться и быть научно объективными, лучше всего, наверное, начать с момента сотворения мира. Как только Адам и Ева поселились в райских садах Эдема— а расположены они были, как известно, в порой ветреной и дождливой Месопотамии,—так им тут же естественно пришлось заботиться о жилище. Вот здесь сразу же у первых людей на земле возникла проблема строительства сейсмостойкого жилища, так как равнины Месопотамии, по которым протекают реки Тигр и Евфрат, отличаются повышенной сейсмической активностью.

Кстати, такой же повышенной сейсмичностью отличаются долины рек Инда и Нила, в которых были расположены известные великие цивилизации, о которых мы будем говорить в данной главе. Может, это простое совпадение, но факт, что древние цивилизации появлялись в зонах высокой сейсмической активности.

Итак, уже Адаму пришлось заботиться о сейсмостойком жилище. Скорее всего, исходя из местных условий садов Эдема и археологических раскопок, относящихся к IV тысячелетию до н.э., Адам построил хижину из переплетенных веток, обмазанных глиной. Вот вам первая сейсмостойкая конструкция, состоящая из прочного и гибкого каркаса и глиняного заполнителя. С идеей создания каркасных конструкций мы будем и дальше

встречаться на протяжении всей истории человечества. Жилые дома, состоящие из деревянного каркаса и заполнителя, строились всегда и строятся до сих пор. Как показала их тысячелетняя история, они отличаются хорошей сейсмостойкостью, потому что в них соблюдены все принципы сейсмостойкости. О деталях этой сейсмостойкой конструкции, которая берет свое начало от Адама, мы еще поговорим.

Теперь несколько слов о древнейших монументальных сооружениях, оставленных нам какой-то неизвестной цивилизацией, назначение и время строительства которых трудно определить. Это мегалитические однотипные сооружения, которые распространены от Японии до Франции и Англии. Их существование наталкивает на различные сверхлюбопытные мысли о гибели древних цивилизаций, о инопланетянах и всем таком прочем. Но не об этом сейчас речь. Сейчас разговор о том, что многие из этих сооружений, стоящие в сейсмически опасных районах, за свою историю длиной в несколько тысячелетий перенесли множество землетрясений и все же сохранились. Я не могу себе представить, что эти конструкции, сложенные из сверхгигантских плит, были созданы людьми в шкурах. Ясно, что это было какое-то организованное общество со своими инженерами и даже академиками, в переводе на наши понятия. Они-то и разрабатывали саму конструкцию и соответствующую методику производства работ. Так вот, думали ли они о сейсмостойкости этих конструкций? Скорее всего нет. Но у них было какое-то свое, очень схожее с нашим, представление об обеспечении общей целостности конструкций от всех внешних воздействий. Чтобы вас в этом убедить, предлагаю рассмотреть пару примеров. Возьмем (рис. 5) очень гармонично сложенный двух-ярусный дольмен около селения Горикди в Азербайджане [2]. Он сложен из десяти тщательно пригнанных каменных плит примерно одной толщины, почти квадратного очертания в плане. Практически все принципы сейсмостойкости в этом дольмене воплощены. Жесткости

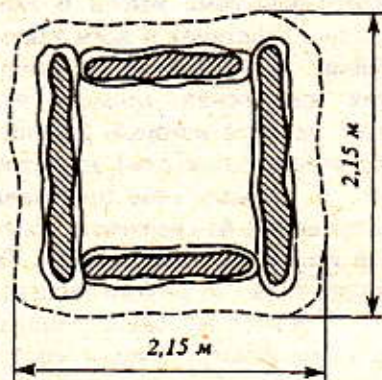


Рис. 5. Двухэтажный сейсмостойкий дольмен

и массы в нем распределены равномерно и симметрично. В узлах опирания имеются податливые шарниры. При превышении определенного уровня смещения плиты упираются друг в друга—образуются включающиеся связи, ограничивающие амплитуду колебания системы. Конструкция сначала работает как податливая, а потом с ростом смещения как жесткая нелинейная. Можно наговорить много и других ученых терминов, о которых строители этого древнейшего сооружения, разумеется, и

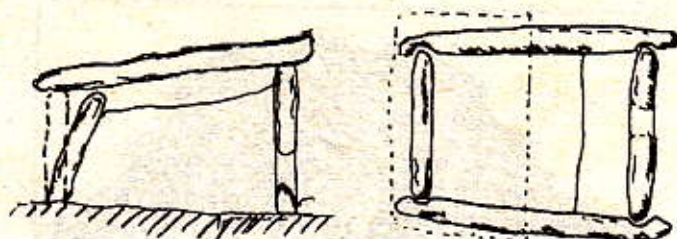


Рис. 6. Сейсмостойкий дольмен в Грузии

не имели понятия. С современной точки зрения это сооружение можно упрекнуть только в излишней, может быть, тяжести, да и то это вопрос спорный. Как увидим дальше, египтяне принцип тяжести успешно использовали вместо цемента.

На Кавказе вообще много разнообразных мегалитических сооружений. Можно даже привести пример типового дольмена, относящегося к эпохе бронзы. Эти дольмены строились одноэтажными, трапециевидной для устойчивости формы в плане, соответственно с широкой передней и узкой задней стенками. Имелись специальные пазы для крепления этих стенок. На рис. 6 показан такой дольмен около селения Эшери в Грузии [3]. Верхняя плита имеет размеры: ширина от 5,2 до 4,8 м, длина 3,7 м, толщина 0,5 м. Ее вес 22,5 т. Как видите, довольно основательное сооружение. Вот оно и простояло несколько тысячелетий, даже в условиях сейсмики. Теперь примеры нестандартных древних сооружений.

В работе [4] приводятся из раскопок рисунки глиняных моделей культовых сооружений, даже трехэтажных, на колесах. Есть упоминания о древних индийских храмах на колесах (рис. 7) [5]. Вообще известно, что существовали целые дома на колесах, которые сопровождали древних владык в их походах. Что это? Может древние владыки хотели путешествовать с таким комфортом, чтобы не бояться ничего, в том числе и землетрясений, и поэтому для них изобрели сейсмоизолирующее

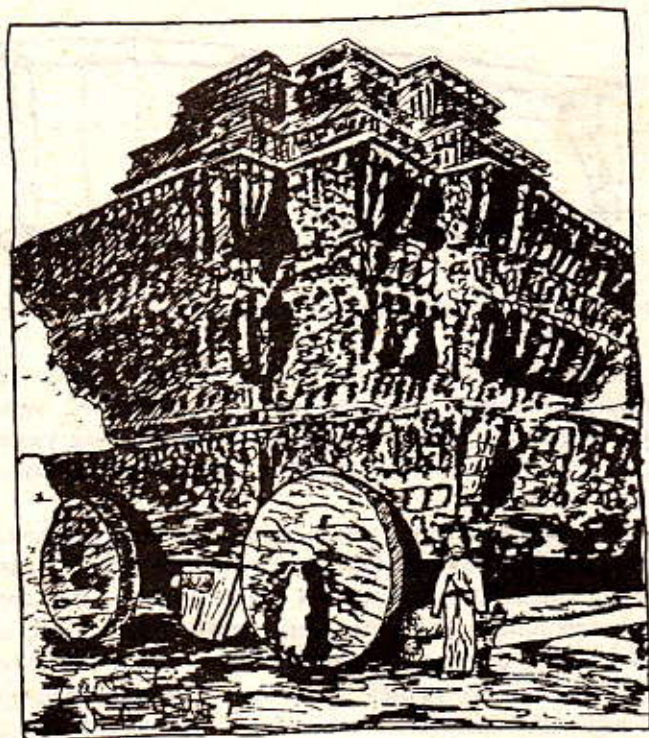


Рис. 7. Индийский храм, сейсмоизолированный с помощью колес

устройство в виде колес. Конечно, нет. Хотя фактически храм на колесах—это, конечно, сейсмостойкое здание. С такой ситуацией мы будем встречаться часто. Давайте в дальнейшем отбросим наши сомнения, и если, с нашей современной точки зрения, что-то в древней конструкции будет такое, что является элементом, повышающим сейсмостойкость здания, это мы и будем разбирать и говорить об элементе сейсмозащиты, а о чем и как при этом думали зодчие древности, нам не дано узнать.

Не будем больше останавливаться на доисторических строителях, а перейдем к древнейшим цивилизациям. Но уже из сказанного ясно, что и в той глубокой древности

возводились сооружения с большим смыслом. Здесь, по-видимому, и были заложены основы фундаментального отношения к монументальным сооружениям, о которых в основном мы и будем дальше разговаривать.

Хараппы в долине Инда

Наше знакомство со строительным искусством трех великих речных цивилизаций—Хараппы по Инду, шумеры в Двуречье, египтяне вдоль Нила—начнем с первой. У этих трех цивилизаций много общего. Выросли они на плодородных речных почвах. Потребность бороться с разливами рек и орошать землю вызвала к жизни объединение племен в централизованные государства с городами и селами. Развивалось городское строительство, прорывались каналы, насыпались дамбы, возводились жилые дома, дворцы и храмы. Все три цивилизации существовали уже в IV тысячелетии до н.э., между ними имелись активные торговые и политические связи. В сферу их общения входила и крито-микенская культура [6].

По своим размерам цивилизация Хараппов значительно превосходила две другие вместе взятые. Открыта она сравнительно недавно, в 1920 г., и соответственно изучена меньше других. Когда начала формироваться культура Хараппов неизвестно, однако известно, что уже в XXXIII в. до н.э. эта городская цивилизация прекрасно процветала и по уровню градостроительного и культурного развития превосходила две другие. Закончилось это процветание в XV в. до н.э. По всей обширной территории цивилизации Хараппов обнаружено множество однотипных городов, поселков и деревень. Имелись также два больших столичных города: Мохенджо-Даро и Хараппа. Других таких пока не обнаружено. Поражает регулярная прямоугольная планировка этих городов. Ориентированные по странам света широкие улицы застроены многоэтажными домами из обожженного и сырцового кирпича. При этом явно дома были построены по типовым проектам из кирпича стандартного размера.

Имелась городская сеть водоснабжения и канализации. Уровень строительной культуры того времени характеризует такой факт. Уже тогда практически каждое жилище было оборудовано туалетом и душем, а вот спустя более четырех тысяч лет в Версальском дворце их не было ни одного.

Самым ярким представителем хараппской цивилизации является лучше всего сохранившийся и самый большой город Мохенджо-Даро, что на языке синдхи означает "могильный холм". Вот с этого холма и начинается разговор о сейсмостойкости зданий этой цивилизации. В развалинах Мохенджо-Даро можно различить две зоны — возвышенную и более низменную. На возвышенной части стоят самые ответственные сооружения: Большая баня, Большой амбар, дворцовый комплекс и другие. В низменной части расположены жилые кварталы. Так вот. Возвышенная часть представляет собой искусственную платформу, сложенную из кирпича, высушенного на солнце. Правда, это не тот легкий и прочный саманный кирпич, что применялся в Месопотамии, в который добавлялась рубленая солома для придания ему этих свойств, нужных для сейсмостойкости. В зависимости от рельефа местности толщина искусственной платформы колеблется от 6 до 12 м, при этом верхняя ее поверхность, которая служит основанием под сооружения, является строго горизонтальной. Такие платформы возводились в речных цивилизациях для защиты ответственных сооружений от наводнений. В то же время эти платформы служили сильным антисейсмическим мероприятием против землетрясений. Как они работают, будет рассказано дальше, когда мы доберемся до сейсмостойкого строительства в Двуречье. Тогда такой рассказ будет более своевременным, так как в Месопотамии применялись более совершенные и разнообразные конструкции платформ под сооружения, а не просто глиняные холмы, как было у Хараппов.

Кстати, сама искусственная платформа под капитальные сооружения Мохенджо-Даро имеет хорошее

основание. Цивилизацию Хараппов несколько раз посещали катастрофы, имевшие для нее печальные последствия. Зафиксирован случай полного затопления города Мохенджо-Даро водами Инда, когда грязевое извержение образовало на реке гигантскую плотину. Есть даже предположение, что библейская легенда о Всемирном потопе родилась не в Месопотамии, а именно здесь, в долине Инда. Из-за сильных наводнений и грязевых лавин города Мохенджо-Даро и Хараппа несколько раз разрушались и покидались жителями. После каждой такой катастрофы, иногда длившейся до 100 лет, жители возвращались и восстанавливали город в старой планировке. Археологами в Мохенджо-Даро было обнаружено семь погребенных друг под другом городов, в Хараппе—шесть. Вот эти погребенные города и служили основанием под искусственные платформы восстанавливаемого города. При этом археологи обратили внимание на такую любопытную деталь. Чем глубже под землю ушел город, а значит, чем он древнее, тем качество кирпичной кладки лучше. Была обнаружена также каменная плотина, которая свидетельствует о том, что жители боролись с грязевыми лавинами, поглощавшими город. И все-таки Мохенджо-Даро был погребен под слоем ила и песка в результате сильнейшего землетрясения, случившегося в 140 км к югу от него и до неузнаваемости изменившего долину Инда.

Как уже говорилось, этой древнейшей цивилизации были присущи широко применявшиеся в строительстве типизация и стандартизация, которые гораздо позднее в таком большом объеме стали использоваться только в наш бурный век. Существовали буквально типовые проекты жилых зданий, бассейнов для омовения. Или вот. Над крупными городами на искусственной платформе высотой от 9 до 15 м, размером в плане 190х380 м, возвышались одинаковые крепости с башнями и толстенными в 12 м стенами. Самое крупное обнаруженное здание, похожее на дворец, имеет размеры 170х230 м. Несмотря на это, обращает на себя внимание факт, что

у Хараппов отсутствуют подавляющие человека своей грандиозностью гробницы, храмы, царские дворцы, которые мы увидим дальше в Месопотамии и Египте. Зато от довольно однотипных жилых застроек создается впечатление о как будто существовавшем тогда равенстве и социальной справедливости.

Итак, совершенно ясно, что жители древнейшей цивилизации Хараппов на своем горьком опыте хорошо познакомились с этим, оставшимся загадочным до наших дней, явлением—землетрясением. Что же они предпринимали, чтобы сохранить целыми свои сооружения во время землетрясений? Ответить на этот вопрос довольно непросто. Письменность этого народа до сих пор не расшифрована, археологических раскопок сделано мало, а то, что уже раскопано, активно гибнет от солей, поднимающихся из грунтовых вод. И все-таки общую картину сейсмостойкости строительных конструкций Хараппов попробую набросать.

Цивилизацию Хараппов можно с точки зрения строителей назвать цивилизацией кирпича. Здесь все возводится из обожженного или сырцового кирпича. Нечто подобное мы встретим через три-четыре тысячелетия, когда доберемся до Средней Азии. Правда, здесь у Хараппов кирпич, обжигаемый в печах на дровах, не такой высокопрочный, звенящий на ноте “ля”, как в Средней Азии. Но все-таки достаточно прочный, и англичане в начале нашего века с удовольствием использовали его при строительстве железных дорог в Индии. Кирпич—материал достаточно прочный, но хрупкий; и, чтобы его использовать в сейсмостойком строительстве, необходимо применять специальные конструктивные приемы, которые обеспечат упругопластические свойства всему сооружению. Один из таких приемов—применение пластичных растворов. Вот Хараппы и применяли такой раствор, который в изобилии валялся у них под ногами и, больше того, стремился поглотить весь город. Это речной ил. При этом прочный, но жесткий известковый раствор был им уже известен, но

он, наверное, был дорог. Тем более слабый илистый раствор позволял легко разбирать старые постройки и возводить из этого же кирпича новые. В результате применения илистых растворов, особенно если устраивать толстые слои между кирпичами, вся конструкция из такого жесткого материала, как кирпич, делается эластичной за счет раствора. Что и необходимо для сейсмостойкого сооружения. Только не подумайте, что связующий раствор должен быть в сейсмостойкой конструкции низкой прочности. Он должен быть в идеале прочным и упругим. Но, к сожалению, в конструкциях Хараппов раствор был только упругим, что снижало их сейсмостойкость. Кстати, вот тут важна была бы мера сейсмостойкости, если бы она существовала.

Немного отвлечемся от Хараппов и рассмотрим такой общий вопрос. Разумеется, нет четкой границы между сейсмостойкими и несейсмостойкими сооружениями. Самые что ни на есть несейсмостойкие сооружения, построенные без учета сеймики, способны выдержать без разрушения несущих конструкций землетрясение определенной интенсивности. Более того, два разнотипных сооружения, рассчитанные на землетрясение одной интенсивности, могут разрушаться при землетрясениях разной интенсивности: все будет зависеть от их конструктивных схем. Чтобы разобраться во всех этих парадоксах, нам и нужна мера сейсмостойкости. Как я уже говорил, здесь лучше всего подошла бы мера в виде вероятности разрушения здания от землетрясения данной интенсивности. Тогда не было бы ничего проще, чем сравнить здания по сейсмостойкости. Вот это несейсмостойкое здание имеет такую-то вероятность разрушения при землетрясении данной интенсивности, а современное каркасное здание такую, а вот этот греческий храм— третью. Есть мера, можно и сравнивать. Но вот как определить эту вероятность, вопрос очень непростой, хотя и вполне решаемый. К счастью, эта книга не того уровня, чтобы подробно рассматривать этот вопрос, поэтому вернемся к нашим Хараппам.

Применение податливых, упругих растворов в кирпичной кладке повышает ее сейсмостойкость, т.е. снижает вероятность разрушения здания из нее, так как эластичные конструкции уменьшают энергию удара, передаваемую от грунта на здание во время землетрясения. С другой стороны, растворы низкой прочности, снижая общую прочность конструкции, повышают вероятность ее разрушения, так как теперь она может быть разрушена землетрясением более низкой интенсивности, чем при прочной кладке. Такую оценку можно давать каждому конструктивному мероприятию с точки зрения сейсмостойкости. Было уже рассказано, что часть города Мохенджо-Даро была приподнята на искусственной платформе из сырцового кирпича. Этим всем зданиям на этой платформе создано однородное основание, что обеспечивает равномерную передачу энергии землетрясения от грунта на здание, не вызывая концентраций напряжений. Кроме того, платформа сложена из рыхлого материала, в котором также гасится энергия землетрясения. Ясно, что установка зданий на таких платформах повышает их сейсмостойкость. Далее, фундаменты в постройках Хараппов выполнялись из сырцовой глины, при этом для ответственных сооружений такая сырцовая глиняная подушка устраивалась под всем зданием. Такие глиняные и песчаные подушки под зданиями, с которыми мы еще будем многократно встречаться,—очень сильное антисейсмическое мероприятие. Назначение мягких грунтовых подушек понятно: они отражают сейсмические волны и смягчают удары от них на сооружения. Это самая настоящая сейсмоизоляция.

Теперь о конструкции стен. Первый этаж выполнялся обычно из обожженного кирпича на податливом илистом растворе. Так вот. Здесь важно, в каком порядке укладывались кирпичи, от этого зависит прочность и однородность стены. На рис. 8 показана конструкция канализационного туннеля, перекрытие которого выполнено в виде ложного свода, образованного постепенным

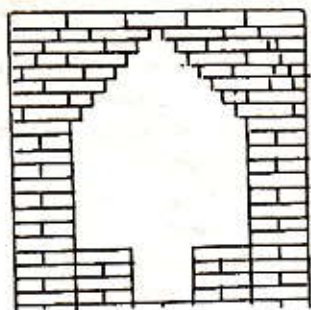


Рис. 8. Канализационный туннель Харалпов

надвигом кирпичей. Как видно из этого рисунка, кирпичи здесь уложены ложком, т.е. плашмя, и тычком, виден торец кирпича с перевязкой нижележащих швов между кирпичами. Такая укладка кирпича сообщает стене нужные для обеспечения сейсмостойкости всей конструкции однородные свойства. Обожженный кирпич Харалпов был немного больше нашего современного и имел отношение сторон 4:2:1. Такое кратное соотношение сторон позволяло создавать однородные массивы из кирпича, применяя любые типы кладок, обеспечивающие перевязку швов. Кстати, Харалпы применяли только ложные своды, а клинчатые им были неизвестны. Вышележащий второй этаж выполнялся из деревянного каркаса, обмазанного глиной, или был заложен сырцовым кирпичом, т.е. был достаточно гибким и облегченным. К этому надо добавить, что перекрытия были плоские, состоящие из деревянных балок и деревянного настила, покрытого тонким слоем глины и земли. Получается, что практически все наши принципы сейсмостойкости соблюдались.

Осталось несколько слов о крепостных стенах городской цитадели. Ширина стены внизу была 12 м, вверху была, наверное, меньше, высота более 10 м. Из этих размеров ясно, что сечение стены было трапециевидной формы, которая обеспечивает устойчивость всей стены.

Облицована стена была обожженным кирпичом, а ядро скорее всего состояло из сырцового кирпича. Подпирали стену массивные башни. Все эти мероприятия обеспечивали достаточно высокую сейсмостойкость этим оборонительным сооружениям, если вдобавок вспомнить, что они стояли на довольно высоких платформах [7, 8].

Вот состоялось наше первое беглое знакомство с антисейсмическими мероприятиями древнейших строителей. Теперь скорее по караванным тропам от загадочных Хараппов к таинственным шумерам.

Шумеро-Вавилонское Двуречье

Перед нами открываются низменные, а ближе к месту впадения Тигра и Евфрата в Персидский залив вообще заболоченные равнины Месопотамии. Уже с VII по IV тысячелетия до н.э. здесь шло разложение первобытнообщинного строя и начало создаваться классовое общество. В начале III тысячелетия до н.э. возникают небольшие государства в области Шумер, это южная часть Месопотамии. Далее идет процесс укрупнения государств, образуются так называемые деспотические монархии. В XXIV-XXIII вв. до н.э. политическое главенство переходит к Аккадскому царству, расположенному в центральных областях Месопотамии. В начале II тысячелетия возникает Вавилонское царство, и примерно тогда же на Севере Месопотамии образуется Ассирийское государство. Дальнейшая история этой области—бесконечная борьба Ассирии и Вавилона, пока в середине VI в. до н.э. Вавилон и вся Месопотамия не были захвачены персами. В конце IV в. до н.э. персов в свою очередь разгромил Александр Македонский.

Здесь в постоянно распадавшихся и объединявшихся государствах, сотрясаемых военными конфликтами, возникли письменность и литература, математика и астрономия, естественные науки и искусство и самое для нас главное—строительное дело. Достижения во всех этих областях мощными потоками распространялись на Запад и Восток. Здесь была колыбель человеческих

знаний. Выглядит это, конечно, забавно, от всей многогранной цивилизации, существовавшей несколько тысячелетий, мы с вами хотим отщипнуть маленький кусочек, узнать, что делали все эти шумеры, аккадцы, вавилоняне, ассирийцы для повышения сейсмостойкости своих сооружений. А думать об этом им, безусловно, приходилось. Не зря в знаменитом "Эпосе о Гильгамеше" рассказывается о местном наблюдательном и трудолюбивом Ное, который спас свою семью и свой скот от семидневного наводнения, возникшего от волны цунами, пришедший из Персидского залива и усиленной попутным тропическим нагоном воды. Скорее всего отсюда в Библию попала легенда о Всемирном потопе. Во всяком случае, описания в Библии и указанном эпосе во многом совпадают. И если с точки зрения принципов сейсмостойкого строительства взглянуть на Ноев ковчег,—а мы теперь на все будем смотреть с точки зрения этих принципов,—то увидим, что это была сейсмостойкая конструкция. Строился ковчег на суше, постоянно сотрясаемой сейсмическими толчками, служившими предвестниками того толчка на дне Персидского залива, который породил волну цунами. Эти предвестники и явились тем предупреждением Ною от Бога, который заставил его строить ковчег. Ковчег хорошо себя вел на суше при ударах подземной стихии, уцелел и при ударах водяной стихии. Объясняется это продуманностью его конструктивного решения. Выполнен ковчег был из дерева—легкого, упругого и прочного материала. Сама постройка представляла собой (рис. 9) деревянный прямоугольный пространственный каркас, обшитый досками. Эта постройка для жесткости и прочности была соединена с длинной в триста локтей деревянной баржей, выполненной также из деревянного каркаса, обшитого просмоленными досками. В результате получилась легкая, прочная и гибкая конструкция, в которой соблюдены все законы симметрии и принципы сейсмостойкости. Можно даже сказать, что ковчег был сейсмоизолирован, так как мог свободно проскальзывать относительно двигающегося



Рис. 9. Противоударная конструкция Ноева ковчега

во время землетрясения грунта. Далее давайте перейдем от легендарных конструкций к реальным.

Основными строительными материалами, которые обильно встречаются на территории Месопотамии, являются глина и природный асфальт. На севере страны встречаются свинец, олово и железо. Отсюда же из горных районов поступали камень и дерево. Деревя было мало, и это наложило отпечаток на всю архитектуру Двуречья. Вместо плоских перекрытий из дерева устраивали сводчатые перекрытия из кирпича. Кстати, обожженный кирпич начал здесь широко применяться на грани IV и III тысячелетий до н.э., при этом технология его производства пришла сюда с Востока, откуда-то из глубин Азии. Повсеместно применяется сырцовый кирпич, изготовленный простым высушиванием под жарким южным солнцем. В качестве связующего кирпичи раствора применяются глина и асфальт, имеются случаи применения известкового раствора и раствора из извести и пепла. Сразу обращаю ваше внимание на то, что глина и асфальт обладают свойствами податливости и пластичности и, использованные в достаточном объеме, в качестве раствора придают такие же свойства всей конструкции.

Среди всех конструктивных приемов, применявшихся в строительном деле в Месопотамии, которые можно отнести к антисейсмическим мероприятиям, на первое место необходимо поставить строительство искусственных платформ под отдельные сооружения и целые города. Самое древнее известное небольшое кирпичное здание в Телло уже стояло на платформе-постаменте. Датируется оно до 3000 г. до н.э. Для чего же устраивались эти платформы? Ясно, что не от хорошей жизни выполнялись гигантские объемы дополнительных строительных работ по сооружению этих платформ. Все дело в плохих грунтах Двуречья. Если, как мы увидим дальше, греки и римляне, удаляя плохие наносные грунты, опирали фундаменты своих сооружений на коренные породы, то строители Месопотамии не могли себе этого позволить, так как рыхлые породы имели здесь очень большую глубину. Зная важность хорошего однородного основания под сооружение вообще, а тем более под сейсмостойкое, они и создавали искусственное основание в виде гигантских платформ, обеспечивающих опирание сооружений на слабые грунты. Эти же платформы защищали здания от наводнений.

Замечательной конструкции платформа была устроена около 3000 г. до н.э. размером 32x25 м под храмом в Телль-эль-Обейд. Платформа стоит на каменном фундаменте, а сама выложена из обожженного кирпича. Между слоями кирпича цинковки, пропитанные битумом. Из-за сравнительно небольших размеров правильнее было бы эту платформу назвать просто постаментом под здание. Примеры настоящих платформ будут приведены чуть дальше. Под настоящими платформами я подразумеваю такие большеразмерные конструкции, у которых размеры соизмеримы с длиной поверхностной сейсмической волны (рис. 10). В этом случае движения, передаваемые от грунта на здание во время землетрясения, снижаются за счет их отражения, частичного гашения в теле платформы и за счет их выравнивания, усреднения и срезанием пиков самой платформой как чрезвычайно

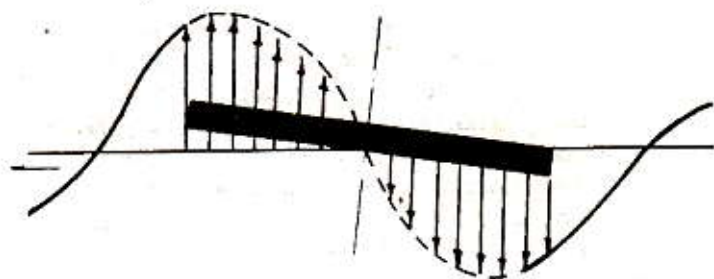


Рис. 10. Соотношение размеров платформы под сооружение и сейсмической волны

тяжелым большеразмерным телом. Кое-что от антисейсмических эффектов большой платформы сохраняется, конечно, и в маленькой, при этом надо учитывать конструктивные особенности конкретной платформы. В названной выше платформе в Тель-эль-Обейд имеется каменный фундамент. Это по сути дела жесткий экран, служащий для отражения сейсмических волн. Оставшиеся сейсмические движения, проникшие в тело платформы, гасятся в ее слоистой структуре, состоящей из жесткого кирпича и мягкого битума.

Гигантская платформа—дорогое, но сильное антисейсмическое мероприятие. Об этом знали и соответственно их применяли многие строители древности. Они встречаются не только в Месопотамии, но и в Египте, Китае, Мексике. Замечательным историческим архитектурным памятником шумерской эпохи является построенный в конце III тысячелетия до н.э. на священном участке в городе Уре зиккурат Ур-Намму. Он возведен на громадной усеченной пирамиде-платформе размером в плане 43х65 м и высотой 15 м над поверхностью земли (рис. 11). Ядро зиккурата состоит из сырцового кирпича на битумном растворе, облицованном обожженным кирпичом. Здесь имеем дело с несколько другой конструкцией платформы по сравнению с вышеописанной платформой из обожженного кирпича. Платформа из

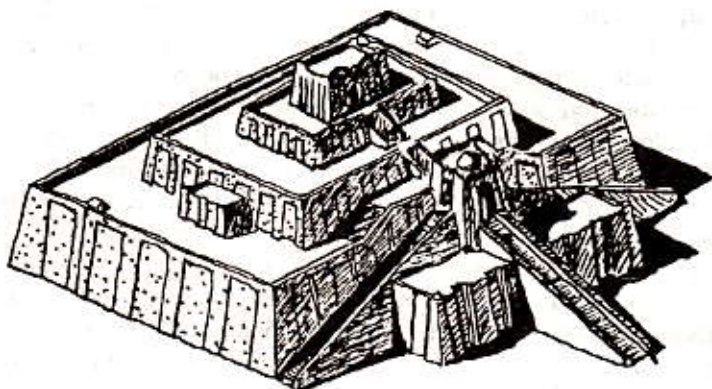


Рис. 11. Зиккурат в Уре—платформа-основание под храм

сырца да еще часто смешанного с соломой, имеющая большую толщину, работает как мягкая гигантская подушка, смягчающая удары подземной стихии на сооружение. Да и само сооружение в данном случае представляет собой мягкий искусственный холм с укрепленными от оползания откосами.

Применялись платформы под храмами, дворцами и даже целыми городами. Вспомните Мохенджо-Даро у Хараппов. Назначение этих платформ многоцелевое. И оборонительное, можно строить дополнительно не такие уж высокие стены и произвести впечатление на верующего или подданного, подавить его величием, когда он приближается к храму или дворцу, при этом одновременно создать надежный фундамент под сооружение, защититься от наводнения, и вот, наконец, антисейсмическое назначение.

В более поздние времена, в I тысячелетии до н.э., в воинственной Ассирии, зодчие которой продолжали сохранять и развивать строительные традиции, сложившиеся в государствах, ранее существовавших на территории Месопотамии, возводились еще более гигантские платформы. Город Дур-Шаррукин, резиденция

царя Саргона II, был построен всего за шесть лет (712-707 гг. до н.э.): Город со всех сторон был окружен стенами толщиной в 23 м и такой же высотой. Уже это соотношение между высотой и толщиной стен говорит об устойчивости против землетрясений. К этому можно добавить, что стену как контрфорсы подпирали 167 через 20 м расставленных башен. Нижняя часть стены на высоту 1,10 м была сложена из камня. Это вам сразу и прочный фундамент, и жесткий, отражающий сейсмические волны экран. Верхняя часть стены сложена из сырцового кирпича. И если тут точно соблюдались месопотамские строительные традиции, то необожженные кирпичи должны были быть изготовлены из глины с соломой и уложены на растворе из асфальта. А вся кладка армирована деревянными лежнями. Комментировать способность такой стены противостоять ударам стенобитных орудий и ударам подземной стихии считаю излишним.

Но самое интересное для нас в Дур-Шаррукине—это то, что цитадель, где находились храмы, дома придворных и дворец Саргона, была размещена на платформе площадью почти в 100 000 м² и высотой над землей в 14 м. Платформа была сложена из сырцового кирпича и облицована огромными каменными глыбами весом до 14 т. При этом в сплошной массе глины платформы и зиккурата проложены дренажные каналы и вентиляционные отверстия. Огромная масса сухой пластичной глины, заключенная в жесткую каменную обойму, служила хорошим сейсмоизолятором для всех сооружений дворцового комплекса. Поневоле постоянно восхищаешься продуманности всех деталей конструкций строителями древности. Вот и здесь. После возведения платформы и создания упругого и однородного основания строитель не ставил стены зданий непосредственно на материал платформы. Он сначала укладывал по всему периметру стен каменные плиты, а уже на них ставились кирпичные стены. В результате здание как бы плавало в упругопластической массе платформы. Если и дальше

совершенствовать этот способ сейсмозащиты, то в идеале мы должны построить большой бассейн, заполнить его какой-нибудь вязкой жидкостью, например киселем или мазутом, в крайнем случае можно водой, и пустить в него плавать здание типа Ноева ковчега. В этом случае будет идеальная сейсмоизоляция и сейсмические волны не смогут добраться до здания.

Существовал и совсем другой тип платформ— жесткий. Забегая немного вперед, в качестве примера можно рассмотреть дворцовый комплекс персидского царя Дария (521-486 гг. до н.э) в новой столице Персеполе. Эти дворцовые сооружения стоят на жесткой каменной платформе. Для ее возведения строители частично использовали естественную скалистую площадку, дополнив ее со стороны долины кладкой из больших отесанных блоков крепкого известняка. Блоки эти уложены без раствора насухо и соединены между собой металлическими скобами. Платформа имеет гигантские размеры: 450х300 м в плане и до 18 м высотой. По краю террасы была возведена сырцовая стена толщиной до 5 м, а внутри на платформе теснились дворцы. Эффект сейсмозащиты этой жесткой платформы несколько иной, чем вышеописанной мягкой. Прежде всего более тяжелая жесткая платформа лучше отражает сейсмические волны, ее эффект оглаживания, выравнивания сейсмической волны также выше, но эффекта гашения и амортизации она не дает. Если бы и этот способ сейсмозащиты мы захотели довести до абсолюта, то нам пришлось бы изготовить космической тяжести абсолютно жесткую плиту примерно одного размера с длиной сейсмической волны, это от 100 м до 1,5 км. Если такая платформа абсолютно жесткая, то грунт под ней в любом случае более мягкий, и она будет отражать и расплющивать все сейсмические движения грунта под ней. Все, что будет стоять на такой неосуществимой фантастической платформе, будет защищено от землетрясений. Разумеется, далека до таких абсолютов описанная выше каменная платформа царя Дария, но достаточно высокий эффект

сейсмозащиты от нее имеется. Даже железобетонная плита, заложённая под современное здание и ненамного превышающая его размеры в плане, даёт довольно значительный эффект. До сих пор над платформой Дария возвышаются каменные фрагменты дворцов (рис. 12) и отдельно стоящие тонкие высотой до 20 м колонны, оставшиеся от парадных залов.

Мы с вами достаточно подробно рассмотрели с точки зрения сейсмостойкого строительства платформы, на которые жители Месопотамии ставили свои города и сооружения. Теперь рассмотрим и другие их антисейсмические приемы. Начнем с только что упомянутых каменных фрагментов на платформе царя Дария (рис. 12). Это сохранившиеся до наших дней каменные части дворцов, стоявших на платформе, а стены, возведенные из сырцового кирпича и армированные деревом, до нас не дошли. Дверные и оконные проемы, места пересечения стен выполнялись из массивных каменных конструкций, которые в то же время служили опорами для толстых сырцовых стен. В мягкую пластичную среду были как бы заложены армирующие ее жесткие сердечники. Такое сочетание конструкций различной жесткости мы еще не раз встретим в истории сейсмостойкого строительства, так как резонансных явлений в этих комбинированных системах не может возникнуть. Гибкие элементы препятствуют резонированию жестких, и наоборот. Сами каменные сердечники устанавливались с соблюдением целого комплекса антисейсмических мероприятий. Это прежде всего точная пригонка и притеска каменных блоков и соединение их без раствора металлическими скобами. Блоки укладывались так, чтобы нигде не было внецентренного нагружения и соответственно опрокидывающего момента. Очень любопытен для нас такой конструктивный прием. Под колонны, пилоны, дверные рамы, устанавливаемые на специальные каменные плиты, подсыпали слой гравия, что обеспечивало равномерное распределение давления под этими конструкциями. Подобные мероприятия мы и дальше будем встречать

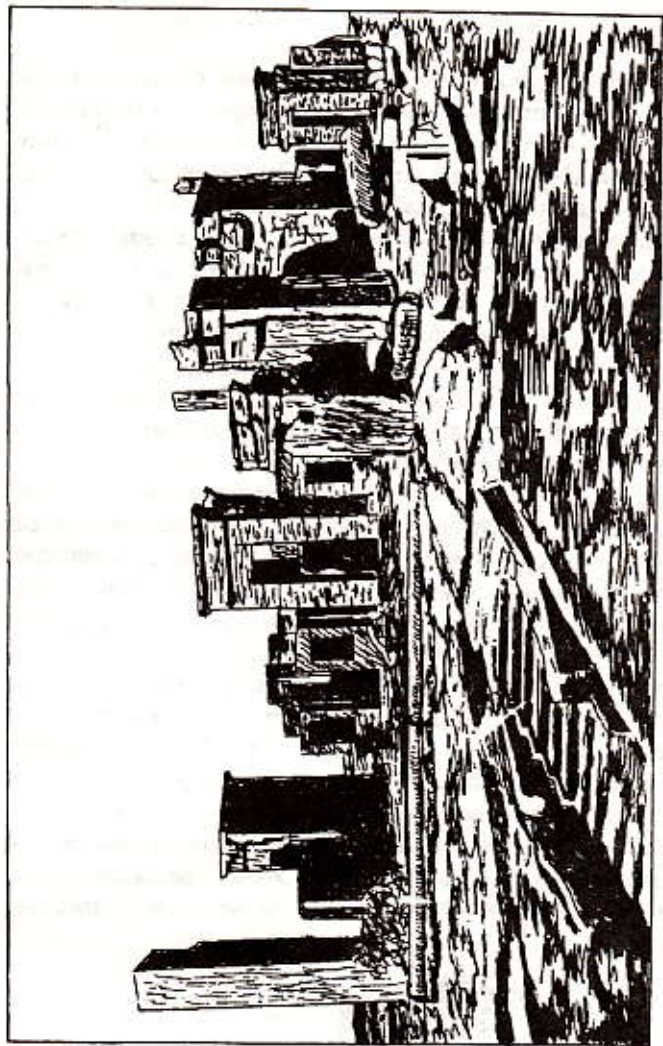


Рис. 12. Каменные скелеты сооружений на платформе царя Дария

часто. Все выполняется в соответствии с записанными выше принципами, согласно которым необходимо предохранять элементы конструкции от неравномерного нагружения. Что касается стен из сырцового кирпича, мы о их сейсмостойкости уже говорили. Кирпич, изготовленный из глины, смешанной с соломой, хорошо высушенный на солнце, уложенный на глиняном или битумном растворе. В результате образуется плотный однородный массив, обладающий упругопластическими свойствами. Вдобавок этот массив подпирается кирпичными выступами-контрфорсами и каменными сердечниками. Можно назвать и другие отдельные элементы, от которых зависит прочность всего сооружения. Так, на рис. 13 показана капитель колонны, очень даже причудливая, которая украшала огромные приемные залы. В конструктивном же смысле на такую капитель удобно уложить балку перекрытия из ливанского кедра и можно быть уверенным, что при землетрясении эта балка не соскочит с колонны.

Теперь давайте вернемся немного назад по реке времени и побываем в самом центре Месопотамии—в знаменитом Вавилоне. В этом месте Тигр и Евфрат максимально приближаются друг к другу. Рассмотрим строительные приемы, применявшиеся в наиболее изученном Новоавилонском царстве, основанном царем Навуходоносором II в 605 г. до н.э. Этому предшествовало, что в 689 г. до н.э. Вавилон был захвачен и полностью



Рис. 13. Сверхнадежная капитель ассирийской колонны

разрушен с затоплением всей территории города водой ассирийским царем 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. Именно здесь находились сразу три чуда света. Вы, наверное, знаете, что в современный набор семи чудес света входят: египетские пирамиды, висячие сады Семирамиды, храм Артемиды Эфесской, статуя Зевса, Колосс Родосский, Галикарнакский мавзолей, Александрийский маяк. Все эти чудеса строительного искусства так или иначе были связаны с сейсмическими воздействиями, и обо всех них мы будем с вами говорить. Но в древности существовали и другие наборы из семи чудес света. В одном из таких наборов вполне справедливо были названы стены Вавилона. Двойной ряд стен, построенных при царе Навуходоносоре II, превратил город в неприступную крепость. Стены были построены из обожженного и сырцового кирпича, уложенного на растворе из асфальта и камыша. Внешняя стена имела высоту 8 м, толщину 3,7 м, внутренняя была высотой 11-14 м и толщиной 6,5 м. Геометрическое соотношение высоты стен к их толщине примерно 2:1, поддержка стен башнями-контрфорсами, учитывая при этом пластические свойства материала конструкции, обеспечивали стенам достаточно высокую сейсмостойкость.

В другой набор чудес света вместо оборонительных стен Вавилона входит библейская Вавилонская башня. Это зиккурат Этеменански, что значит по-шумерски "дом, связывающий небо и землю". Разумеется, при разрушении Вавилона в 689 г. до н.э. этот зиккурат был уничтожен. Ассирийский царь Асархаддон восстановил башню, а персы, захватив Вавилон, вновь начали ее 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 других следов реально существовавшей Вавилонской башни, кроме

описания античных авторов, до нас не дошло. По этим данным квадратный нижний ярус зиккурата размером в плане 90х90 м имел в высоту 33 м. Ядро этого яруса (60х60 м) было выполнено из сырцового кирпича. Вокруг ядра была расположена толщиной в 15 м облицовка из обожженного кирпича. Для большей устойчивости стены облицовки были немного наклонены к центру и имели выступы-контрфорсы. Этот нижний гигантский ярус служил основанием для последующих постепенно уменьшающихся значительно меньших шести ярусов, как в вышеописанном зиккурате в Уре. Второй ярус был высотой 18 м, пять ярусов по 6 м. Конструкция этих ярусов была такой же, как и первого, мягкий сердечник и более жесткая облицовка. Седьмой же ярус, святилище бога Мардука, имел высоту 15 м и был выполнен, по-видимому, целиком из обожженного кирпича, облицованного синими изразцами. Общая высота зиккурата была порядка 90 м. С точки зрения сейсмостойкости чрезвычайно интересная и совершенная конструкторская идея заключена в этой башне. Во-первых, она геометрически гармонична, у нее одинаковые высота и ширина, при этом пирамидальное очертание и соответственно низкое расположение центра тяжести, обеспечивающее устойчивое положение при колебательных процессах, если таковые в ней возникнут. Во-вторых, опять имеем дело с двумя различной жесткости составными элементами конструкции: податливым и пластичным, с одной стороны, и менее податливым—с другой. Пластичная масса сырцовой глины заполняет обойму из обожженного кирпича. Обратите внимание, чтобы не нарушить однородность среды и не вызвать в какой-то части башни неравномерные осадки, во внутреннем ее массиве нет никаких пустот для помещений, лестниц и тому подобное. Ясно, что любые колебательные и волновые процессы будут гаситься внутри этой Вавилонской башни и храм бога Мардука на ее вершине будет защищен от всех бесчинств подземной стихии. С современной точки зрения получился самый настоящий сейсмоизолированный храм.

Теперь о третьем чуде света, относящемся к Вавилону,—о висячих садах Семирамиды. Согласно одной из легенд, Семирамида была женой Навуходоносора II. Для нее-то, бывшей родом из гор Мидии, и были построены эти висячие сады, чтобы она не очень скучала по любимым ей с детства горным пейзажам. Кстати, в том жарком климате было в обычае у состоятельных людей устраивать на крышах своих домов небольшие оазисы. Ясно, что вавилонский царь для своей любимой жены мог позволить себе устроить такие сады, что мы теперь причисляем их к чуду света. Не ясно только одно, почему за этими садами закрепилось название "висячие". Может, для того, чтобы еще больше подействовать на наше воображение. На самом деле эти легендарные грандиозные сады были самым прозаическим образом стоячие с основательными фундаментами, которые и были в наше время обнаружены археологами. С настоящей подвесными сооружениями древности мы еще встретимся.

Какова же была конструкция этих висячих садов Семирамиды, при сооружении которых был использован весь арсенал строительных приемов того времени. Согласно реконструкции (рис. 14), они представляли собой четырехъярусное сооружение, имевшее две стены общими со зданием дворца. Так, конечно, делать экономически выгодно, но с точки зрения сейсмостойкости неверно, нарушается принцип симметрии, так как связаны два здания различной жесткости. Необходимо было устроить антисейсмический шов-зазор между самостоятельными стенами для каждого сооружения. Основными строительными материалами сооружения были кирпич различного вида и камень. Заметьте, что камень применялся в строительстве главным образом в Ассирии, а в Вавилоне его начали применять только в нововавилонский период в самых ответственных элементах конструкций в фундаментах и при обрамлении различных проемов. Главным же материалом был кирпич, основную массу которого представлял высушенный на солнце

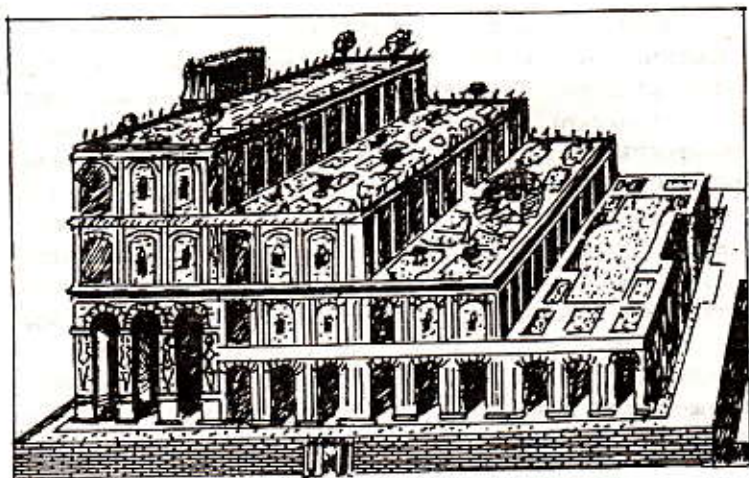


Рис. 14. Псевдовисячие сады Семирамиды

сырцовый кирпич. Ввиду скудности топлива в Месопотамии для производства обожженного кирпича он применялся только в ответственных элементах конструкции. Из прямоугольного обожженного кирпича устраивалась облицовка, на которую опирались цилиндрические своды, выполненные из специального клинчатого кирпича. Кирпич, изготовленный в виде сегментов, применялся при устройстве круглых колонн. Как уже говорилось, своды в Месопотамии начали, по-видимому, применяться для перекрытия помещений в целях экономии дерева. Но тогда в древности, на заре зарождавшегося строительного искусства, применялись только цилиндрические своды без взаимных пересечений и небольшого пролета. Для восприятия распора от этих сводов стены делались значительной толщины. Вот тогда и появились трехслойные стены, с различными конструктивными воплощениями которых мы много раз встретимся в дальнейшем. Применявшаяся в Месопотамии трехслойная стена состояла из наружных облицовок, сложенных из обожженного кирпича так, что обеспечивалась связь с массивным внутренним ее сердечником, выполненным из сырцового

кирпича. В качестве раствора применялись битум и глина. Как уже говорилось, такие стены, обладавшие свойствами эластичности и пластичности, были достаточно сейсмостойкими. Все указанные традиционные для Месопотамии строительные приемы были использованы при строительстве садов Семирамиды. Каждый ярус перекрывался мощными цилиндрическими сводами. Над вторыми сводами лежали большие каменные плиты, затем слои кирпича, битума, свинца и, наконец, толстый слой земли, в котором могли расти огромные деревья. Как видите, нагрузка чудовищная, и это прекрасно понимал древний строитель. Поэтому здесь был введен для усиления всего сооружения довольно редкий для этих мест конструктивный элемент. Для поддержки сводов на всю высоту ярусов в кирпичные массивы были втоплены толстые каменные столбы, составленные из каменных квадров, соединенных между собой металлическими штырями, залитыми свинцом. Ясно, что вся вертикальная нагрузка передавалась на эти каменные столбы как более жесткие по сравнению с кирпичной массой, уложенной на битумном или глиняном растворе. Эта кирпичная пластичная масса служила поддерживающей и сейсмоизолирующей средой для несущих каменных столбов. Соединение камней с помощью металлических элементов, залитых свинцом,—это широко известный в греческом мире антисейсмический прием, и о нем будет рассказано в соответствующем месте. Здесь же, в Вавилоне, чисто антисейсмическим приемом было армирование кирпичной кладки деревянными прокладками. Когда и от чего перестали висеть, а вернее, стоять, сады Семирамиды, неизвестно. Скорее всего их разрушение началось с расползания недолговечных массивов сырцового кирпича, предназначенного поддерживать более жесткие и прочные несущие элементы конструкции. Чем больше разрушался сырец, тем больше увеличивалась вероятность обрушения всей конструкции. И когда-то, скорее всего при землетрясении, наступил финал легендарным стоячим садам Семирамиды, которая, может, вовсе и не была

женой Навуходоносора II, а сама была удивительно красивой и умной вавилонской царицей. Во всяком случае, в 325 г. до н.э. Александр Македонский застал эти сады в целости. Здесь же он закончил свои блистательные походы. Под сводами садов Семирамиды Александр Македонский пытался найти живительную прохладу, чтобы восстановить свое здоровье. Здесь же, в примыкающем к садам дворце, он прощался со своими воинами.

Есть еще одно важное требование к сейсмостойкому строительству, о котором я еще не говорил, но о котором хорошо были осведомлены строители Вавилона и за соблюдением которого следили сами цари. Это требование соблюдения высокого качества строительных работ. Кирпич должен быть точно сформован и хорошо обожжен, камни плотно пригнаны, раствор должен быть прочным, а дерево сухим. Судите сами, из 282 статей законов знаменитого вавилонского царя Хаммурапи, жившего в XVIII в. до н.э., и скромно о себе говорившего "мои слова превосходны, моя мудрость бесподобна", и действительно хорошо разбиравшегося в хозяйственных делах, по крайней мере пять статей посвящены качеству строительства. Не удержусь и процитирую вам три из них.

229. Если строитель, строя кому-нибудь дом, сделает свою работу непрочной, так что построенный им дом обвалится и причинит смерть домохозяину, то строителя должно придать смерти.

230. Если он причинит смерть сыну домохозяина, то должно придать смерти сына строителя.

233. Если строитель, строя кому-нибудь дом, сделает свою работу непрочной, так что упадет стена, то он обязан возвести стену на свой счет.

Интересно на вас посмотреть, если вы даже после таких строгостей захотите все-таки плохо строить. Четыре тысячи лет тому назад ваша строительная карьера быстро бы закончилась, теперь же вы можете продолжать спокойно трудиться. Как-то жаль расставаться с этой удивительной Вавилонией, в которой было создано

так много шедевров строительного искусства, послуживших прообразами для строителей будущего. Разве не чудо мост через Евфрат, выполненный из кирпича и камня. Из крупных каменных квадров, соединенных все теми же металлическими скрепами, сложены опоры моста, а из обожженных кирпичей клинчатой формы выведены цилиндрические своды, перекрывающие пролеты между опорами моста. Кстати, клинчатая форма кирпича также предохраняет своды от разрушения в условиях сейсмического воздействия. Чтобы продолжить наше пребывание в богатых древними традициями живописных равнинах Месопотамии, совершим экскурсию во времена существования Персии, которая явилась непосредственным продолжателем ассирийского государства. Тем более что о каменной платформе, на которой располагался дворцовый комплекс персидского царя Дария I в основанной им столице Персеполе, мы уже говорили.

В 615-605 гг. до н.э. Ассирия была уничтожена Мидией, которую в свою очередь в 553 г. до н.э. разгромили персы, возглавляемые царем Киrom II, основавшим династию Ахеменидов. Согласно принятому делению, начинается древнейший ахеменидский период. Он заканчивается разгромом персов в 330 г. до н.э. Александром Македонским. С его смертью и распадом основанной им империи в Месопотамии к власти приходит греческая династия Селевкидов. Но их государственность оказалась непрочной, и в 250 г. до н.э. образуется Парфянское царство. Начинается второй парфянский период Персии, когда в строительстве преобладали греко-римские традиции и приемы. Время правления династии Сасанидов (226-636 гг.) называется третьим периодом, он проходит под знаком борьбы с иноземным влиянием и восстановления местных традиций. Рассмотрим несколько примеров памятников архитектуры из каждого периода.

Уже было рассказано о каменной платформе царя Дария и стоящих на ней каменных фрагментах и колоннах, относящихся к ахеменидскому периоду. Теперь

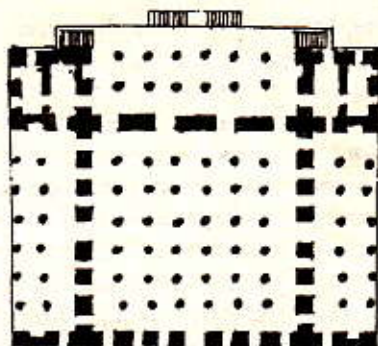


Рис. 15. Огромный приемный зал царя Ксеркса

несколько подробнее об этих колоннах. Эти колонны — остатки просторных и высоких приемных царских залов, так называемых ападана. Здесь впервые на Древнем Востоке была использована монументальная архитектура для строительства сооружений светского назначения. До этого она была только культовой. Из всех удивительных и роскошных приемных залов рассмотрим ападана Ксеркса (рис. 15), имевшую квадратный план размером 62,5х62,5 м. Высота каменных колонн в портиках 19,5 м при диаметре 1,58 м. Колонны внутри зала имели высоту 18,0 м. Все это сооружение стояло на дополнительной платформе высотой 4,0 м. Это практически самые высокие и стройные каменные колонны в мире. Чрезвычайно велик для того времени также пролет между колоннами, он равен 8,75 м. Конструкция всей ападана, в которой шла бескомпромиссная борьба за свободное пространство, видна на рис. 15. Стены в ней, как и положено, выполнены из сырцового кирпича, армированного деревом и усиленного каменными сердечниками. Перекрытие достаточно легкое, деревянное, с засыпкой землей, что и позволило возвести такие тонкие и высокие колонны, учитывая небольшую нагрузку, приходящуюся на них. С точки зрения сейсмостойкости здесь важно не только то, что перекрытие легкое,

выполненное из упругого и прочного материала, но и то, как оно устроено. А устроено оно очень даже квалифицированно. Балки перекрытия, уложенные в продольном и поперечном направлениях, связаны между собой, со стенами и с колоннами. Сверху еще имеется деревянный настил с глиняной обмазкой. Образуется единая замкнутая перекрытием система, состоящая из колонн и массивных стен. Колонны, как им и положено, несут вертикальную нагрузку, а стены в случае сейсмического воздействия горизонтальную нагрузку. Таких логичных по своей идее многоколонных конструктивных решений в последующие века будет существовать много, но рассмотренное нами—одно из первых. О высоком строительном искусстве говорит то, что из 72 стройных как деревья колонн ападана Ксеркса 12 колонн сохранилось до нашего времени. Дерево, разумеется, сгнило, а сырец развеялся по ветру.

Меня вот эти только что описанные сооружения ахеменидского периода привели к полному смятению в мыслях, когда я с ними познакомился. Платформа, стены из сырца—это все традиционно. Но кто решился на такие тонкие и высокие каменные колонны? У греков они, по крайней мере, в два раза короче. Где предшественники этих колонн? В строительном деле большую роль играет постепенность. Придумывается какой-то примитивный конструктивный элемент, и постепенно с накоплением опыта по его применению он доводится до совершенства. Два упертых друг в друга, наклонно поставленных над отверстием в стене камня путем постепенной эволюции превращаются в могучую арку. Для того чтобы шло такое развитие, нужны добросовестные, старательные и даже мудрые исполнители. Но для настоящего прогресса прилежных учеников мало, нужны высокообразованные люди, умеющие нестандартно мыслить и рисковать. Это те самые люди, которые для перекрытия решатся использовать два наклоненных камня, такие же люди возьмутся проводить операцию на открытом сердце. Ападана же Ксеркса предстает перед нами сразу как

доведенное до совершенства произведение, у которого уже ничего нельзя отнять, но и нет нужды прибавлять. Пропорции древней каменной колонны, как у современной железобетонной. Я не уверен, что современный проектировщик для сейсмоопасного района решился бы запроектировать такую колонну. Загадка, как древний строитель умел учитывать прочностные свойства материалов в конструкции. А то, что он умел это делать, у меня не вызывает сомнения. Постараюсь дальше рассказывать о сооружениях, которые являются или венцом творения, или, как ападана Ксеркса, внезапно с блеском возникают и дают неожиданный скачок развитию строительного искусства. И еще одно замечание. Мы с вами занимаемся материальной историей антисейсмических приемов древних строителей, основанной на реальных фактах из археологии и истории архитектуры. Но есть и нематериальная история. Пример, история древних религий. Мы никогда не узнаем, что делали Мардук и его жрецы на вершине зиккурата пять тысяч лет тому назад со своими и чужими женами и были ли у них вообще жены, но мы знаем из раскопок конструкцию этого зиккурата и могли бы его построить. Наша материальная история более достоверна и, мне кажется, лучше рисует того древнего человека как строителя с его трудолюбием, смелостью, информативностью и широтой мышления.

Еще один пример из истории архитектуры ахеменидского периода. Не будем пока говорить о высеченных в скалах гробницах, хотя они строились здесь в это время и тут есть о чем поговорить с точки зрения сейсмостойкости. Рассмотрим же своеобразную гробницу царя Кира (рис. 16), построенную в VI в. до н.э. На высокую ступенчатую платформу-постамент из шести ступеней поставлена седьмая небольшая прямоугольная в плане (3,16x2,18 м) погребальная камера с двускатной крышей. Все элементы этой усыпальницы сложены из крупных блоков известняка. Пирамидальной формы постамент, состоящий из ступеней с высотой, постепенно пони-



Рис. 16. Пирамидообразная гробница царя Кира

жающейсверху, обеспечил этой гробнице прочность, устойчивость и долговечность против всех землетрясений в течение более чем 25 столетий. Если мы проверим наши принципы сейсмостойкости на гробнице царя Кира, то окажется, что все они выполнены. Симметрия, низко расположенный центр тяжести, разумные размеры, общая высота не превышает 11 м, замкнутый контур каждой ступеньки, укладка массивных каменных блоков внахлест и взаимным соединением металлическими скрепами, разве что нет облегчения веса. Но о сверхтяжелых сооружениях и особенностях их поведения при землетрясениях мы еще будем говорить, когда доберемся до Египта. Кстати, гробница Кира повторяла пирамидальные формы древнеиранского святилища, и вообще пирамидальная форма естественно обеспечивает устойчивость сооружения при землетрясениях. Эта же форма является традиционной для многих древних сооружений. Вспомните уже рассмотренные зиккураты, теперь вот гробница, а дальше нас ждут пирамиды, ступы и тому подобное.

Небольшой пример из истории архитектуры парфянского периода Персии. Более подробно пока на этом запутанном периоде останавливаться не будем. В это время здесь широко внедрялись сооружения, по форме очень похожие на греческие и римские, но в силу того, что Восток сам был силен своими строительными традициями, конструктивное воплощение этих, казалось бы, римских зданий было выполнено чисто по-восточному. Об этих гибридных сооружениях мы еще поговорим, когда доберемся до Кавказа, куда, как и до Средней Азии, простиралось Парфянское царство. Мой же пример состоит в следующем. В самом начале нашего разговора о шумерах, когда я начал сразу рассказывать только о датируемой около 3000 г. до н.э. кирпичной платформе на каменном основании, тогда же можно было бы упомянуть и о замечательной колонне, открытой в Телло и относящейся к тому же времени. Но я не стал тогда этого делать, отложив нашу встречу с колонной до парфянской эпохи. Оказалось, что оригинально решенная из кирпича колонна в Телло и обнаруженная в парфянской Нисе имеют одинаковое конструктивное решение. Кстати, парфянская Ниса находится в Туркмении в 20 км от Ашхабада, и кто побывает на раскопе сам или с экскурсией, могут увидеть там колонну, о которой я сейчас рассказываю. Временное расстояние между упомянутыми колоннами—трудно вообразимые 3000 лет. Представляют они букет из четырех соединенных между собой круглых колонн (рис. 17). Каждая круглая колонна выложена из обожженного кирпича сегментовидной формы на глиняном растворе с перевязкой швов, все как положено в хорошо продуманной конструкции. Четырехветвенная колонна стоит на высоком цоколе—фундаменте, который служит для нее нижней обвязкой. Очень интересно, как из кирпича была осуществлена верхняя обвязка составной колонны. Во всяком случае, пока никто не взялся реконструировать этот узел. По поводу рассматриваемой нами составной облегченной колонны, прочной и в то же время обладающей за счет



Рис. 17. Составная кирпичная колонна

глиняного раствора пластическими свойствами, можно сказать многое. И какой древний строитель был умный, и как он умел хранить традиции, и какая у него была прекрасная интуиция, и как он владел материалом, наконец, что и колонны-то эти—самые настоящие рессоры—были изобретены скорее всего зодчими древности независимо друг от друга с помощью только логики строителя. Все это так, но наш путь дальше в следующий период, Сасанидский.

В 224 г. Арташар I, выиграв битву у последнего царя из династии Аршакидов, объединяет под своей властью земли Ирана, сохранив центром нового государства города Двуречья—Селевкию и Ктесифон. Этот период характеризуется серьезными социальными сдвигами, страна встала на путь феодального развития; отсюда соответствующие последствия для строительства. Начинается массовое строительство городов, которые служат опорными пунктами управления огромной страной как для местной феодальной знати, так и центрального правительства шахиншаха. Кроме того, каждый шахиншах, имея в своих руках мощную державу, способную противостоять самому Риму, старается построить себе дворец такой величины и роскоши, какие он, восточный владыка, только может себе вообразить. Начинается

великая стройка феодализма. Строительные работы ведутся в большой спешке и в большом объеме, уже некогда готовить качественные строительные материалы, приходится строить из имеющегося под рукой необработанного камня. Случаи применения тесаного прямоугольного камня в это время немногочисленны. Ясно, что все это не могло привести к добру с точки зрения сейсмостойкости в этих опасных районах с часто повторяющимися землетрясениями. Но давайте рассмотрим некоторые подробности строительных работ этого периода.

Согласно традициям и местным условиям этой безлесой страны, богатой глиной и камнем, для перекрытий применялись такие конструктивные элементы, как арки, своды и купола. Выполнялись эти сводчатые перекрытия из обожженного кирпича, камня и даже сырцового кирпича. В очертании сводов и куполов появились важные, с нашей точки зрения, изменения. Их стали делать не только очерченными по кругу, но, как правило, при перекрытии больших пролетов их стали делать возвышенными, очерченными по параболе. Прежде всего это было связано, по-видимому, с производством работ. Купола и своды старались выкладывать без применения дорогостоящих деревянных кружал постепенно кольцами с последующим наклоном и надвигом камней к центру. Такое возвышенное очертание купола уменьшает величину распора от него на стены, что позволяет их делать легче, а следовательно, облегчает и всю конструкцию. К тому же возвышенный купол лучше сопротивляется всяким динамическим нагрузкам, в том числе и сейсмическим. Даже образовавшиеся трещины в таком куполе не могут нарушить его общую устойчивость. На это положение будет еще приведен рисунок. А может в применении возвышенного купола первично было не производство работ, а как раз требование сейсмостойкости всей конструкции?

Большим недостатком некоторых из возведенных тогда конструкций явилось то, что из-за нехватки обработанного камня, купола возводились из окатанного

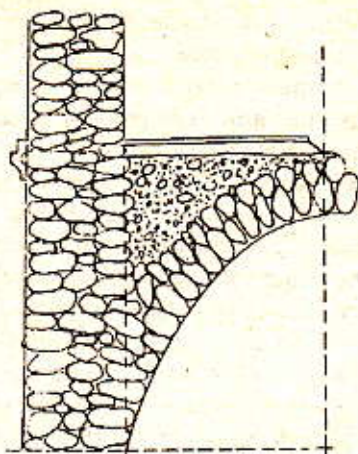


Рис 18. Купола из необработанного камня

и рваного камня (рис. 18). Сначала на гипсовом растворе возводилась оболочка, а потом все это заливалось бетоном, состоящим из необработанного камня и того же гипсового раствора. Естественно, перекрытие получалось чрезвычайно тяжелым, такими же тяжелыми делались стены, чтобы держать купол. Тут уже видна разница между сводом, сложенным из обработанных клинчатых камней, как это было у моста в Вавилоне, и сводом, хоть и на растворе, но собранном из плохо пригнанных камней. Соответственно сооружение, собранное из необработанных камней, было очень тяжелым, неоднородным по прочности, подверженным неравномерным осадкам и деформациям и в результате даже без всяких землетрясений часто превращавшимся в бесформенную груду камней. Научиться собирать купола из необработанных камней—это в общем-то достижение, но не всякое достижение дает повышение сейсмостойкости сооружений. С такими случаями мы еще встретимся. Теперь другой пример, когда новый строительный прием был благоприятен с точки зрения повышения сейсмостойкости здания.

Во все времена, как только стали применять купола для перекрытия зданий, решалась проблема сопряжения нижнего квадратного помещения и круглого сечения купола. Шумеры решали эту проблему очень просто, они не применяли куполов, а прямоугольное помещение перекрывали цилиндрическим сводом. Римляне под круглым куполом устраивали круглое помещение и, если зданию надо было придать вид прямоугольника, добавляли соответствующие ниши. Персы же решили эту проблему с помощью так называемых арочных тромпов. Углы квадрата перекрыли арочками, пока не выделяя их из тела купола как отдельную архитектурную деталь, получился восьмиугольник, а уже в восьмиугольник легко было вписать круглое основание купола. Такая плавность перехода в сооружении от одной геометрической фигуры к другой способствует повышению его сейсмостойкости.

Еще хочется рассказать об устройстве крепостных стен древнего Дербента в Дагестане. Держава Сасанидов занимала огромное пространство, достигая на Севере Кавказских гор, которые служили ей естественной защитой от вторжения северных кочевников. Опасность представлял только узкий прикаспийский проход между Кавказскими горами и Каспийским морем. Здесь-то в середине VI в. по повелению Хосрова I и была построена первоклассная крепость Дербент, предназначение которой было перекрыть этот проход. По-персидски слово "дарбенд" означает "узел ворот". Крепость включала в себя целый комплекс оборонительных сооружений. Это прежде всего цитадель города, расположенная на ближайшем к морю холме. На запад в глубину гор от цитадели тянулась Горная стена, защищавшая от прохода врага через горы. На восток от цитадели по равнине к морю примерно на 3 км тянулись уже две стены с многочисленными оборонительными башнями. Эти стены и перекрывали сам проход по берегу моря. Между двумя стенами был расположен город. Городские стены тянулись далеко в море, образуя гавань и в то же время защищая

от обхода по мелководью. Часть городских стен и цитадель сохранились до сих пор. Выглядели они особенно живописно, когда еще в 70-х годах там устраивались ковровые ярмарки. По могучим стенам развешивались яркие черно-красные домотканые ковры. Если не видеть под ногами асфальт, можно было представить себя в VII веке.

Итак, разговор только о конструкции стен. Уходившие в море морские стены, естественно, не сохранились. О них известно только, что они выкладывались из каменных блоков и соединялись металлическими скобами. А вот Горные стены, стены цитадели и городские стены, выложенные примерно в одно время и имевшие одно и то же конструктивное решение, хорошо изучены. Это трехслойные стены, состоящие из внешних каменных облицовок и внутренней забутовки, выполненной из необработанного камня и известкового раствора. Облицовка выполнялась из довольно крупных плит плотного ракушечника примерным размером 100x65 см и толщиной 25 см. Кладка плит облицовки проводилась таким образом, чтобы обеспечить надежную связь между жесткой облицовкой и более мягким массивным сердечником. Для этого в каждом ряду плиты ставились попеременно ложком (широкой стороной в плоскости стены) и стоя тычком, когда весь камень уходит в массив стены и наружу выглядывает только его торец. Через несколько рядов дополнительно укладывали ряд из лежащих тычком плит, как показано на рис. 19. Возведение стен шло следующим образом. Ставился насухо ряд облицовки, образовавшееся пространство заваливалось необработанным камнем, и только потом все это заливалось известковым раствором. Обычая заранее смешивать заполнитель и раствор не было. В результате получалась слоистая конструкция сердечника, так как раствор не мог проникнуть на всю толщину насыпанного необработанного камня. Это видно сейчас там, где имеются разрушения в стенах. Такие слоистые стены, состоящие из прочных и податливых слоев, обладали достаточной общей

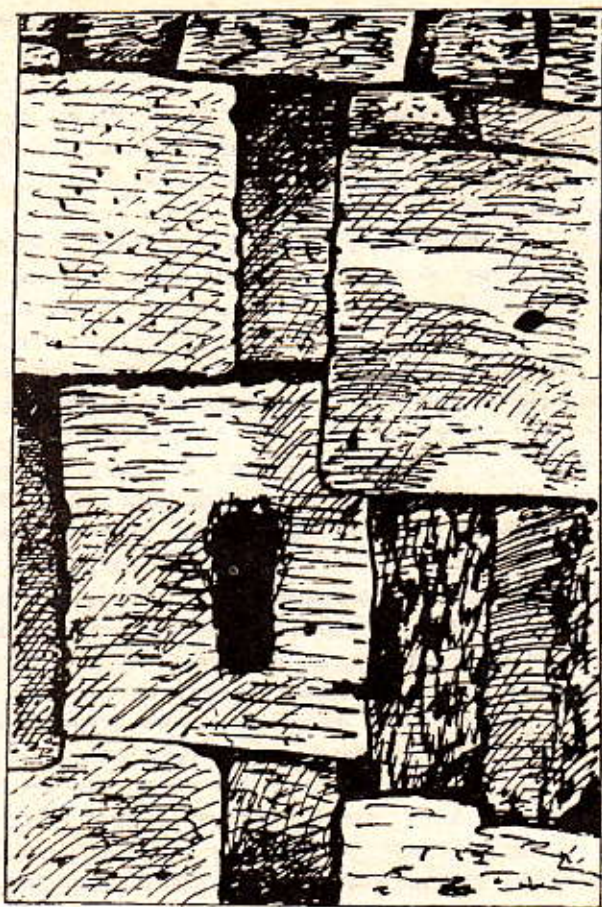


Рис. 19. Трехслойная стена Дербента

податливостью, что и требовалось по условиям сейсмостойкости. Кстати, о размерах городских стен. Толщина их колеблется от 2,3 до 3,8 м, высота может достигать 12 м. Это уже, конечно, не стены из сырца, в которых высота и толщина были примерно одинаковыми. Эти стены более прочные, и у них соответственно другое

соотношение высоты и толщины. В этих одних из самых древних трехслойных стенах на Кавказе основные прочностные и деформационные свойства всей стены определяет мощный довольно податливый сердечник. Как понизится сейсмостойкость этих трехслойных стен к нашему времени за счет уменьшения толщины сердечника и ухудшения связи между облицовкой и сердечником, мы подробно узнаем, когда займемся историей сейсмостойкого строительства на Кавказе. В пользу рассматриваемых стен нужно еще добавить, что для обеспечения их общей устойчивости при землетрясении они имели достаточное количество изломов в плане, также контрфорсов и башен, поддерживающих их. Еще один последний пример из почти четырехтысячелетней истории строительства Месопотамии, по которой мы с вами быстренько пробежались.

Зодчий древности, несомненно имевший глубочайшие познания в строительном деле и невообразимую решительность, оставил нам в наследство дворец царя Хосрова I в Ктесифоне, который считается наивысшим достижением сводчатых конструкций сасанидского периода (рис. 20). Самыми для нас интересными в конструкции этого дворца являются два кирпичных свода, перекрывающие центральную часть дворца. Эти своды имеют пролет почти 27 м, высоту 37 м и длину по 45 м. Первый свод, показанный на рисунке, открыт с фасадной стороны и перекрывает приемный царский зал. У заднего торца этого свода имеется соединенная с ним вертикальная кирпичная стена. У второго внутреннего свода стены имеются с обеих сторон.

Размеры этих гигантских кирпичных арочных сводов, построенных в VI в, будут превзойдены и именно самими иранцами только в XIV в. Удивительно, как зодчий взялся, а царь позволил возводить такие своды. Опыта строить таких фантастических размеров своды тогда еще не было. Самый большой купол из кирпича на известковом растворе, возводить который в общем-то проще, чем свод, был построен к этому времени в Чор-



Рис. 20. Параболический свод дворца царя Хосрова

Капу. Его диаметр был 16,15 м. Любопытно, что для экономии кирпича стены этого сооружения были возведены из необработанного камня, что в общем-то снижало сейсмостойкость всего сооружения. Для нас конструкция сводов над залами дворца царя Хосрова интересна не только своими размерами, но и теми строительными приемами, использованными в этом сооружении, которые позволили хоть части одного из сводов сохраниться в целости до нашего времени. Попробуем разобраться в этих приемах.

Царский приемный зал, перекрытый гигантским кирпичным сводом и открытый с передней стороны, являлся архитектурным центром всего дворца. Второй зал, перекрытый точно таким же сводом и расположенный сзади по той же оси, что и первый зал, был закрыт стенами с обоих торцов. 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, и это прекрасно понимали зодчие древности, — воспринять распоры от двух тяжелых кирпичных сводов. Более того,

они понимали, что такие своды делаются впервые, и поэтому необходимо дать солидные запасы прочности. Это и было осуществлено. Толщина стены в месте плавного перехода от свода к стене была 4 м, а в самом низу у фундамента 7 м. Этим массивным стенам для восприятия распора от сводов древним строителям показалось недостаточно. Тогда в крыльях здания были устроены помещения, перекрытые сводами и куполами, упирающиеся своими стенами в стены центральных сводов и осуществлявшие дополнительную поддержку этим стенам. Как показала история, эти дополнительные мероприятия были уже не нужны. Крылья дворца, кроме фасадной передней стены, давно разрушились, а первый центральный свод, поддерживаемый только своими стенами, продолжает стоять до сих пор. Удивляться, конечно, особенно нечему, что строитель древности вполне разумно так тщательно готовился к восприятию стенами распора от кирпичного свода пролетом 27 м, толщиной в замке 1 м и у пят свода, где он опирается на стены, 1,8 м. Такой свод имеет, конечно, чудовищный вес, и распор от него соответствующий. Вообще интересно, как полторы тысячи лет тому назад определяли распор от сводов и куполов. А в том, что умели это делать, сомневаться не приходится. Я умышленно пока нигде не говорил об очертании рассматриваемых нами сводов. Ждал, когда вы созреете, чтобы оценить эту пикантную подробность. Так вот, изучаемые нами гигантские своды не являются, как это было с более древними, круговыми цилиндрическими, а имеют более возвышенное очертание, конфигурацию которого можно описать из трех центров в противоположность круговому цилиндрическому, описываемому из одного центра. Возвышение свода или купола с точки зрения сейсмостойкости очень важное мероприятие, так как в этом случае снижается распор от них, и соответственно можно облегчить несущие стены и всю конструкцию. При всей массивности рассматриваемого нами дворца его строитель явно задумывался о том, как облегчить это

сооружение. Кессонов, которые удобно выполнять в технике литого римского бетона, здесь нет, нет и тонкой кирпичной оболочки на кирпичных ребрах жесткости, так как еще нет той виртуозной кирпичной кладки, которая появится через несколько столетий. Вместо всего этого для облегчения сооружения свода были выложены переменной толщины. Вверху в замковой части тоньше, внизу у пят толще, и ко всему этому возвышенное очертание. Стены, кстати, также, об этом уже говорилось, были переменной толщины. Сразу получились и облегчение конструкции, и равномерное загрузение материала в ней. Все те же проблемы, что мы решаем сегодня.

Еще один интересный момент в рассматриваемом нами примере. Первый свод над царским приемным залом стоит до сих пор, а заднего свода давно и следов не осталось. В чем тут дело? Оба свода одинаковых размеров и формы, одно качество и один материал. Ответ на эту загадку надо искать в некотором различии конструкции сводов. Об этом отличии я уже вскользь упоминал. Сохранившийся первый свод был более гибким, так как передней стены у него нет, а задняя стоит отслоившись. Такой большепролетный свод, не ужесточенный ребрами и стенами, достаточно гибок, чтобы без разрушений воспринимать возникающие при землетрясении неодинаковые подвижки массивных стен. Заднего же свода, ужесточенного массивными стенами по обоим торцам, уже нет. Согласно нашим принципам сейсмостойкости, все эластичные конструкции ведут себя лучше при землетрясении, чем жесткие. А вообще-то сооружения сасанидского периода отличались тяжестью куполов, сводов и стен. При этом все эти конструктивные элементы были жесткими и, особенно стены, с неоднородными прочностными свойствами [5-7, 9, 10].

Все, хватит с нас библейских равнин Месопотамии, вперед в долину Нила, к третьей великой речной цивилизации.

К нильским пирамидам и храмам

Из всего многообразия архитектуры египетской цивилизации предлагаю рассмотреть три объекта. Это прежде всего, разумеется, египетские пирамиды, причисляемые к одному из чудес света, строившиеся во времена Раннего царства, существовавшего в первой половине III тысячелетия до н.э. Далее, самые грандиозные храмы, строившиеся во времена Нового царства (XVI-XI вв. до н.э.). И еще одно чудо света—Александрийский маяк, построенный в III в. до н.э. при Птолемеях, основавших государство со столицей Александрией, расположенной в дельте Нила. Это государство возникло после распада державы Александра Македонского.

Начнем с пирамид. Не знаю как в вашем воображении, а в моем Древний Египет рисуется разливами мутного Нила, несущего плодородную грязь, просмоленными мумиями фараонов, запрятанными в недрах земли или замурованными в гигантских каменных пирамидах, огромными многоколонными храмами, с крыш которых бритые жрецы следят за движением планет и народов. А по широким идеально ровным и прямым дорогам отряды египтян катят многотонные прямоугольные каменные блоки по направлению к виднеющимся вдали кристаллам пирамид. Обилие камня различных пород послужило материальной основой для развития египетской монументальной архитектуры, которая начала создаваться одновременно с созданием государственности в Египте. Уже к 2800 г. до н.э. была построена огромная многоступенчатая каменная пирамида Джосера высотой в 60 м и основанием 109x121 м. Эта пирамида стоит до сих пор в условиях достаточно высокой сейсмической активности Египта. Первое, что приходит в голову при взгляде на эту древнейшую пирамиду и другие невероятно тяжелые египетские сооружения,—это то, что они своим весом вступают в противоречие с одним из основных принципов сейсмостойкого строительства—требованием снижать вес сооружения. Создается впечатление, что в

египетских монументальных сооружениях этот принцип не просто игнорируется, а скорее, наоборот, вопреки ему эти сооружения специально делаются как можно тяжелее. Здесь вы не найдете пустот в конструкции или легких заполнителей, нацеленных на снижение веса пирамиды или храма. И однако эти сооружения простояли в условиях сейсмике несколько тысячелетий. В чем же тут дело? Может, и не надо снижать вес сооружения? Конечно, надо, при этом имейте в виду, что принцип снижения веса относится к сооружениям умеренного, нормального, так сказать, веса. Но для космически тяжелых египетских сооружений вступают в силу другие закономерности. Здесь приобретает основное значение фактор взаимодействия колеблющегося во время землетрясения грунта и лежащего на нем гигантского массива. За счет этого взаимодействия снижается эффект землетрясения, и сверхтяжелое сооружение не получает тех больших смещений и ускорений, которые получило бы стоящее на этом месте легкое здание. Физически это можно представить на той змеиной модели, что была предложена выше. У этого змеетрясения просто не хватает сил, чтобы как следует потрясти сверхтяжелое сооружение. Получается, что, чем тяжелее и жестче сооружение и мягче грунт, тем больше снижается передача колебаний от грунта на здание во время землетрясения.

Кстати, сверхтяжелые конструкции сохранились не только в Египте. На Кавказе в условиях высокой сейсмичности до сих пор стоят более древние, чем египетские пирамиды, циклопические дольмены, о которых уже рассказано выше. Или дальше, когда мы будем изучать Грецию и рассматривать центральную часть гробницы Атрея; у этой гробницы есть боковая камера, перекрытая всего двумя каменными плитами, из которых одна размером 8х5х1,2 м весит более 100 т. Эти конструкции, несмотря на свою тяжесть, также прекрасно сохранились. Встретим мы и другие чудовищно тяжелые, но сейсмостойкие сооружения.

Так что видите, при создании сверхтяжелых сооружений действуют свои законы, следуя которым можно также создавать сейсмостойкие конструкции, но большинство строителей шло и идет все же по пути облегчения зданий: так проще строить и экономически выгоднее.

Итак, рассмотрим некоторые египетские сооружения с точки зрения применяемого в них принципа тяжести, назовем этот подход так, и посмотрим, как собственный огромный вес сооружения может обеспечить ему целостность и монолитность, заменяя цементный раствор, и в конечном итоге сейсмостойкость.

Немного поговорим о пирамидах. В этих огромных геометрически гармоничных сооружениях, совершенных по замыслу и исполнению, в которых продумана каждая деталь, сейсмостойкость соблюдалась автоматически. Не зря они отнесены к одному из чудес света, и это второе чудо, о котором мы говорим на страницах этой книги. Даже с нашей с вами точки зрения, это чудо, так как почти пять тысяч лет тому назад в этих сооружениях были воплощены почти все принципы сейсмостойкого строительства. Действительно, пирамиды имеют идеальную геометрическую форму с точки зрения сейсмостойкости. У них соответственно низко расположен центр тяжести. Разумеется, контуры во всех направлениях замкнуты. Камни тщательно пригнаны и зажаты вышележащими слоями. Единственное, что не соблюдается,—это требование снижения веса. Но не нам их за это осуждать. Мы еще сами не очень-то разобрались в вопросе взаимодействия сооружения с грунтом во время землетрясения. Во всяком случае, их подход с позиций принципа тяжести к созданию сейсмостойких конструкций подтвердился историческим опытом. Пирамиды и храмы все еще стоят. Мне бы очень хотелось посмотреть самому и показать вам записи какого-нибудь землетрясения, полученные одновременно на пирамиде и где-то просто на грунте в отдалении. Я таких записей не нашел, не знаю, есть ли они вообще. Но думаю, что они будут значительно отличаться, ускорения по записям на

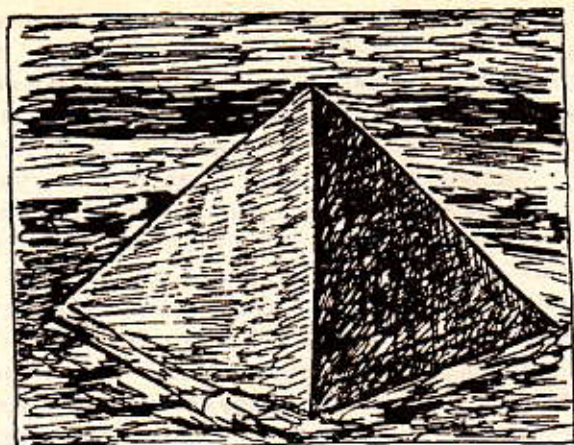


Рис. 21. Устойчивая форма пирамиды Хеопса

пирамиде будут значительно меньше, чем на свободной поверхности грунта.

Возьмем для примера (рис. 21) и рассмотрим конструкцию пирамиды Хеопса, сооруженную в 26 в. до н.э. во времена Древнего царства. Это самая древняя и самая большая из пирамид в Гизе. Она имеет высоту 146,5 м, длина стороны основания 233 м. Эта пирамида сложена из тщательно отесанных и плотно пригнанных известковых блоков, что обеспечивает равномерную загрузку материала, гарантируя прочность и однородность всей кладки. Вес блоков колеблется от 2,5 до 30 т. Самая большая их высота 1,5 м в нижней части пирамиды, кверху высота блоков постепенно уменьшается и достигает близ вершины 55 см. Такая переменная ступенчатость обеспечивает устойчивость всей структуры пирамиды. Попробуйте сделать наоборот и затащить крупные камни наверх, а из мелких выложить основание, и ваше сооружение расплзется. Для обеспечения сверхтяжести и однородности свойств всей конструкции пирамида, за исключением отверстий для погребальной камеры и коридоров, имеет сплошную кладку (рис. 22). Кстати,

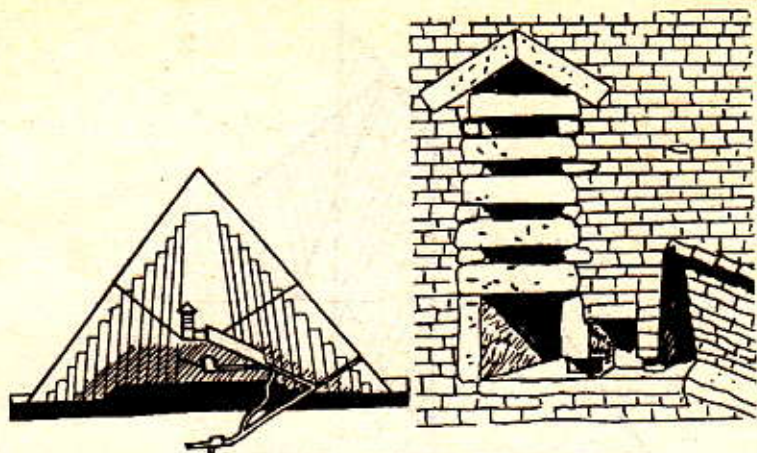


Рис. 22. Перекрытие погребальной камеры пирамиды Хеопса

для обеспечения прочности всей кладки из таких крупных плотно пригнанных блоков применять раствор не нужно. Поверхность пирамиды облицована шлифованными плитами известняка.

Итак, если проанализировать конструкцию пирамиды с точки зрения принципов сейсмостойкости, то получим: массы и жесткости в сооружении распределены равномерно, симметрия соблюдается, пониженное положение центра тяжести, кладка прочная и однородная, больше того, даже имеется податливость, так как возможны сдвиги между блоками. Очень любопытны и разумны геометрические соотношения между размерами пирамиды Хеопса. Квадрат ее высоты равен площади боковой грани, представляющей собой равносторонний треугольник. Физическая картина этого соотношения показана на рис. 23. Площадь квадрата со стороной, равной высоте, равна площади наклонно расположенного треугольника. Сам квадрат—фигура уже устойчивая с точки зрения сейсмостойкости. Но египтяне пошли еще дальше и значительно понизили центр тяжести фигуры. Короче говоря, тело пирамиды представляет собой однородный

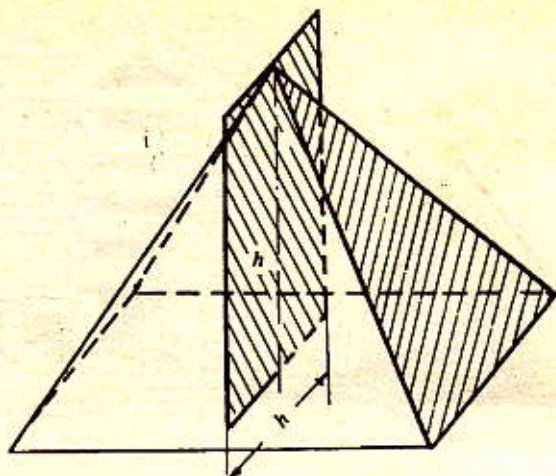


Рис. 23. Геометрические пропорции пирамиды Хеопса

устойчивый массив, поэтому в нем нечему сломаться, нет перекрытий и куполов, которые могли бы рухнуть, нет нависающих масс, которые могли бы обрушиться. Получается, что с сейсмостойкостью египетской пирамиды все нормально, детальнее ее разбирать смысла нет. Перейдем к египетским храмам, в которых конструкции более разнообразны. Единственное, на что в пирамидах хочется обратить внимание,—это на самое ответственное место, ради которого она и строилась, на погребальную камеру (рис. 22). Чтобы защитить мумию фараона от возможного обрушения вышележащих рядов камня в камеру, над ней устроена специальная сдублированная разгрузочная система. Назначение этой системы не просто перекрыть камеру, а постараться избежать перегрузки элементов конструкции так, чтобы нигде не было концентраций напряжения. Вы уже знаете, что перегруженные элементы первыми выходят из строя при землетрясении. В данной разгрузочной системе несколько сдублированных горизонтальных плит перекрывают

помещение камеры, а самые верхние плиты стоят, уже упираясь друг в друга наклонно. Верхние—самые ответственные и нагруженные плиты. Для снижения в них изгибающего момента они и установлены наклонно. Теперь в них появилось сжатие. Египтяне прекрасно понимали, что камень—хрупкий материал. Он хорошо работает на сжатие и плохо на изгиб, при котором появляются растягивающие усилия. Наклонно поставленные камни—это уже упрощенная конструкция свода.

Теперь о храмах. Самые большие и великолепные храмы были сооружены в Египте во времена Нового царства (XVI-XI вв. до н.э.). Не будем перечислять египетские храмы и описывать их архитектурные достоинства. В нашу задачу входит разбор конструктивных приемов, которые применялись в них и способствовали повышению их сейсмостойкости.

Начнем с фундаментов, вернее, даже с подготовки грунтового основания под фундаменты, которому египтяне придавали большое значение, хотя, думается, не имели представления о тех сложностях механики грунтов, в теории которых мы и теперь не можем разобраться. При разработке своих строительных приемов египтяне опирались на накопленный опыт и прекрасную интуицию. Во всяком случае, в соответствии с тем, на каких грунтах возводилось сооружение, готовилось и грунтовое основание.

Если здание возводилось на равнинной части, где были слабые грунты, то применялась замена грунта. За это египетским строителям можно выдать патент на изобретение, так как прием замены плохого грунта применялся широко будущими поколениями. Выкопав котлован или траншею и удалив слабый грунт, египтяне насыпали нужный слой сухого песка. Это уже была по сути дела часть фундамента, поскольку уплотненный песок почти не сжимается, в то же время это была сейсмоизолирующая подушка.

Если же строительство шло на скале, то выравнивалась площадка под будущее здание. Удалялась лишняя

скала, а впадины забивались гравием и песком. Храм Рамзеса IV в Дер-эль-Бахри возводился на скале, которая выходила на поверхность в виде откоса. Чтобы избежать возможного скольжения фундамента во время землетрясения, скалу разровняли и сделали горизонтальной. Пришлось выбить в скале выемку размером 240x40 м. Дно котлована было ступенчатым с высотой уступов около 0,5 м. Затем на это ступенчатое дно котлована насыпали сухого песку, а уже на него стали укладывать каменные блоки фундамента, то есть обязательно создавалась песчаная подушка между фундаментом и скалой, так делали и все последующие древние строители. Современные же этого не знают и, к сожалению, не делают.

Назначение песчаных прослоек между фундаментом и грунтом двоякое. С одной стороны, обеспечивается равномерная передача нагрузки на грунт, отсюда равномерные осадки и отсутствие концентраций усилий в фундаменте, а с другой стороны, вернее, это с той же стороны, это уже система сейсмоизоляции, смягчающая сейсмический удар и позволяющая сооружению проскальзывать по песку относительно двигающегося во время землетрясения грунта. Самый худший вариант получается, когда жесткое здание без всяких смягчающих прослоек сажают прямо на скалу. В этом случае почти вся энергия удара от землетрясения передается зданию. В лучшем положении оказываются легкие и гибкие здания, например деревянные, так как они сами способны смягчить удар. Почти нет сомнений, что египтяне хорошо представляли важность подготовки грунтового основания под сооружения. Во всяком случае, уже во времена Среднего царства (конец III тысячелетия до н.э.—XVII в. до н.э.) основания колонн устанавливали на песчаные подушки толщиной до 80 см. При этом толщина песчаной подушки зависела от веса той конструкции, которая на ней стояла. Так, в Рамессуме она была под тяжелым пилоном в два раза толще, чем под обычной стеной.

Фундаменты египетских сооружений отличаются большим разнообразием. Есть очень несовершенные

конструктивные решения, когда достаточно слабые известковые блоки фундаментов укладывались непосредственно на грунт. Существуют и весьма совершенные конструкции фундаментов, поражающие своей продуманностью. Так, под третьим пилоном Большого храма Амона имеется фундамент, состоящий из больших каменных блоков длиной до 4 м и шириной до 1 м. Укладывались эти блоки в песок на ребро, ряд за рядом, между ними были установлены поперечные балки. Такой фундамент представлял собой прочное ядро размером в плане 38х6,3 м и высотой 6 м. Блоки, поставленные на ребро, несомненно увеличили прочность фундамента при работе его на изгиб; об этом мы еще поговорим, когда дойдем до греков.

Интересно устроены фундаменты под огромные колонны, названные именем фараона Тахарки, стоящие в первом дворе Большого храма Амона. Котлован под фундаменты колонн вырыт в очень плотном грунте. Сам же фундамент представляет собой три слоя свободной каменной кладки толщиной до 30 см каждый, разделенные песчаными подушками толщиной 10-20 см, а под всем фундаментом устроена еще песчаная подсыпка в 1 м толщиной. Весь этот слоистый фундамент был взят в обойму из кирпично-сырцово́й стены. В результате песок хорошо сохранился, так как не был выдавлен из фундамента. Ясно, что все эти фундаменты с прослойками песка работают как сейсмоизоляторы.

Вообще в эпоху Нового царства наблюдается значительный прогресс в развитии строительного искусства, в том числе создании прочных фундаментов. Фундаменты стали устраиваться более глубокими—до 5-6 м, вместо 2-3 м. Вместо обычного известняка применяется более прочный песчаник. Египтяне явно стремятся сделать фундамент более монолитным, собирая его из крупных плотно уложенных блоков.

Конструкция стен египетских сооружений была трехслойной: внешние поверхности стены, облицовка и внутри забутовка. Так, в погребальном ансамбле фараона

Джосера, куда входила знаменитая многоступенчатая пирамида Джосера, относящаяся ко времени Древнего царства, тройная стена, окружающая его, имела толщину 15 м и высоту 10 м. Она состояла из внешних известковых плит облицовки, а пространство между этими стенами было засыпано обломками камня и кирпича. Стены храмов времени Нового царства не были уже такими толстыми, как более древние, но все также состояли из трех самостоятельных стен, из которых средняя была несущей, а две внешние стены—облицовочными. Уже не применялись те гигантские стеновые блоки весом до 10 т, а применяются небольшие камни средним весом до нескольких тонн. Толщина стен колеблется от 1,2 до 4,0 м вместо 15-20 м, как это было в Древнем царстве.

С точки зрения сейсмостойкого строительства указанная конструкция стен, что в Древнем, что в Новом царствах, имеет один крупный недостаток. Все каменные блоки в стенах укладывались в длину один за другим, и не было блоков, уложенных поперек стены, которые осуществляли бы связь между частями трехслойной стены. Как сказали бы каменщики, все ряды камня были ложковые и не было тычковых рядов. Части стены в результате были не связаны, вся стена уже не была монолитной и не была обеспечена ее совместная работа. Части стены могли соударяться и независимо рассыпаться. В других странах уже тогда существовали и более совершенные конструкции стен.

Так, в смысле сейсмостойкости более совершенная конструкция трехслойных стен применялась в Сабейском царстве, существовавшем на границе II и I тысячелетий до н.э. на территории современного Йемена. Там применялась кладка стен по так называемому "казематному методу". Две параллельные стены, сложенные из каменных блоков на крепком растворе, подобном цементу, или на асфальте, соединялись поперечными камнями, уложенными тычком; образовавшаяся при этом внутренняя пустота стены заполняется землей, песком или бутом. Асфальтовый

раствор придает облицовочным частям стены некоторую податливость, поперечные камни обеспечивают связь между этими частями и, следовательно, целостность всей стены, а земля или песок внутри стены хорошо гасят ее колебания во время землетрясения.

По-видимому, египетские строители осознавали конструктивные недостатки своих стен и поэтому применяли целенаправленные мероприятия по приданию стенам свойств податливости, монолитности и хорошего затухания колебаний. Какие же это мероприятия?

Прежде всего отмечу, что раствор в египетской кладке вплоть до римской эпохи практически не применялся. В немногих случаях обнаруживаются следы гипса, но неизвестно, применялся ли он как раствор или использовался как смазка при установке на место каменных блоков. Но, как уже говорилось, для таких огромных каменных блоков, которые применялись в Египте, раствор не имеет значения. Камни держатся силой своей тяжести, а чтобы еще лучше их скрепить и образовать один монолит, блоки в древности скреплялись скобами. Те скобы, что применялись в Египте, называются "ласточковыми хвостами" (рис. 24). Их применяли еще во времена строительства пирамид. В верхней части двух соединяемых камней друг против друга вырезали пазы, соответствующие половине скобы-лапы, и ее вставляли туда. Все камни стен храмов оказывались застегнутыми на эти "крючки". Интересно, что такие связи расположены всегда в длину стен и нет их поперек и по высоте, как будут делать дальше в Греции. Может, египтяне специально стремились обеспечить независимость работы трех слоев стен. Слоистые конструкции имеют повышенное затухание.

Делали скобы в Египте из дерева, гранита, меди или бронзы. Археологи до сих пор находят сохранившиеся деревянные "ласточковые хвосты", выполненные из черного дерева Тропической Африки; кстати, для соединения крупных каменных блоков Кносского дворца, о котором мы будем говорить дальше, также применялись деревянные скобы.

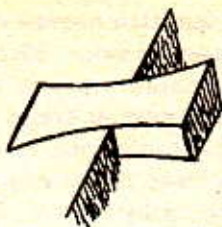


Рис. 24. "Ласточкин хвост" для скрепления каменных блоков

Храмы в Египте имели плоские каменные крыши, тяжесть которых держали каменные же колонны и балки. Так вот, балки, лежащие на колоннах, также соединялись в замок, напоминающий "ласточкин хвост". В одной балке устраивали паз, куда горизонтально входил выступ от другой.

Позднее, уже в IV в. до н.э., появились и другие способы соединения камней. Например, в храме Исиды в Дельте облицовочный каменный блок с обратной стороны имел шип, входивший в отверстие следующего блока. Там же имелись в камнях Т-образные отверстия, которые позволяли соединять облицовочные камни с внутренними с помощью металлических скоб.

Интересна техника каменной кладки пилонов храмов, важной архитектурной детали, с помощью которой оформлялись входы в храмы. Само собой разумеется, пилоны имели устойчивую форму, широкое основание и за счет наклонных стен узкую верхнюю часть. Бросается в глаза на поверхности пилонов несоблюдение горизонтальных и вертикальных швов. Это происходит из-за того, что квадры, слагающие пилоны, имеют разную форму и размеры. Одни каменные квадры заходят за другие, некоторые имеют выступающие отростки, которые вдаются в соседние. В результате получаем взаимно сцепленную однородную по прочности кладку всего пилона.

Хотелось бы еще немного поговорить о конструкции плоских перекрытий египетских храмов. Учитывая воз-

возможность подвижек элементов конструкций храмов от неравномерных осадок или при землетрясениях, как уже говорилось, египетский строитель обеспечивал с помощью различных скоб и выступов гибкую связь между этими элементами. В Большом храме Амона имеется очень оригинальное конструктивное решение по соединению балок перекрытия между собой. На конце одной балки имеются два закругленных выступа—“клюва”, которые входят при монтаже в соответствующие отверстия другой балки. Получаются цепочки из связанных между собой балок. Обратите внимание, что этих “клювов” два. Обратите также внимание, что балки перекрытия только в редких случаях монтируются из одного гранитного монолита, чаще они делаются из двух-четырех положенных друг на друга плоских камней. Эти факты говорят о том, что египтяне уже знали толк в теории надежности и понимали, что для такого ненадежного хрупкого материала, как камень, свойства которого имеют большой разброс, необходимо в условиях сейсмике устраивать дублирующие элементы. Правда, египтяне еще не додумались, что для повышения сопротивления составных балок изгибу их элементы необходимо ставить рядом, а не укладывать плоско один на другой. До этого додумаются греки. Так как нас интересует вес египетских сооружений, приведу некоторые данные. В храме Аменхотепа III в Луксоре некоторые балки-монолиты весили 100 т и более, а составные балки в том же храме состояли из двух уложенных друг на друга брусьев по 20 т. В одном из храмов Карнака вес составных балок достигал 72 т. Для образования кровли по сверхмассивным балкам укладывались скрепленные между собой скобами не менее массивные плоские блоки. Толщина этих прямоугольных блоков длиной от 3 до 5 м колебалась от 35 см до 1,5 м и имела соответственно вес от 7 до 90 т. У некоторых храмов крыши устраивались из нескольких слоев плит. Теперь представьте себе, каким ответственным элементом конструкции является колонна. Давайте о них поговорим поподробнее.

У всех народов колонна служила не только конструктивным элементом, предназначенным поддерживать кровлю, но и архитектурным украшением. У египтян же особенно колонны играли роль основного элемента украшения внутри храма, так как они были часто поставлены и занимали большую часть внутреннего пространства. В храмах возводилось такое количество колонн, что их можно сравнить с букетом цветов, тем более что оголовки колонн часто имели вид закрытого или открытого цветка лотоса. В небольшом храме Тутмоса III на площади 38x28 м размещено 92 колонны, самые большие имели диаметр 1,33 м с расстоянием между ними всего 2 м. Таких примеров можно привести множество. Совершенно ясно, что сооружение с такими массивными балками и плитами перекрытия, опирающимися на букет из толстых колонн, было чрезвычайно тяжелым.

Первые каменные колонны были применены в архитектурном комплексе пирамиды Джосера (28 столетие до н.э.). Они были составными, при высоте 5-6 м имели до 30 слоев мелкоштучной каменной кладки без раствора. Ясно, что такие колонны будут рассыпаться в условиях сейсмического воздействия, если не будет очень тщательной подгонки по горизонтальным слоям. Должны быть обеспечены равномерное загрузление и обжатие каждого камня слоя, чего очень трудно добиться даже при современной технике. Однако такие колонны создавались. Позднее перешли к монолитным каменным колоннам, которые продолжали строить и в эпоху Среднего царства. Достоинства монолитных колонн не будем разбирать, это идеальный случай с точки зрения сейсмостойкости каменных сооружений. Хорошо бы только по концам такой монолитной колонны организовать шарниры, лучше всего пластические. Вырубить цельную монолитную здоровенную без дефектов колонну из однородного массива не так просто. Еще надо найти такой массив. Тогда опять во времена Нового царства перешли к сборным колоннам, но уже другой конструкции.

В отличие от эпохи Джосера, когда в кладку шли камни небольшого размера, 1500 лет спустя стали употреблять блоки колонн более крупные. Каждый слой состоял теперь всего из двух полуцилиндров высотой от 0,5 до 1,0 м. Вес каждого такого полуцилиндра в зависимости от размера и материала колебался от 6 до 10 т. Для обеспечения равномерного нагружения материала таких колонн, что гарантировало бы их прочность и надежность, необходима была точная пригонка горизонтальных поверхностей полубарабанов. При двух элементах слоя это легче сделать, чем когда этих элементов было много. Обеспечивая местную устойчивость составных элементов колонн, полуцилиндры клали таким образом, что положение вертикальных стыков между ними совпадало только через слой. В дополнение к гигантской вертикальной нагрузке, удерживающей от выпадения отдельные элементы колонны, полубарабаны в месте стыка соединялись деревянными скобами "ласточкиными хвостами", вставленными в специальные углубления в верхней их части. В Большом храме Амона длина скобы равнялась 38 см при наибольшей ширине 11 см. Такая небольшая ширина деревянных скоб при многотонных каменных барабанах вызывает мысль, что это были просто монтажные элементы, но изучение более поздних греческих архитектурных памятников говорит, что это не так, это были все-таки слабоватые, но конструктивные элементы, в более поздние времена их заменил металл. Хочу обратить ваше внимание на одну деталь. Элементы барабанов колонн имеют между собой горизонтальную связь, а вот вертикальная связь между барабанами колонн отсутствует. Она и не требовалась, так как их в вертикальном направлении соединяла огромная тяжесть от веса балок и перекрытия, которая заменяла цемент, применяющийся в наше время для связи камней. Эти составные колонны простояли уже более трех тысяч лет, и трудно даже вообразить, сколько они выдержали землетрясений.

Короче говоря, замкнутая система, образованная часто расставленными колоннами, связанными в верхнем

уровне продольными и поперечными балками, объединенными между собой податливыми креплениями и плитами перекрытия, и разделенная на отдельные секции ограниченной длины, была очень устойчивой от землетрясений. Благодаря тому что связь между элементами конструкции не была жесткой, а грунтовое основание было подготовлено так, что оно было однородным, гигантская тяжесть оказывалась распределенной равномерно. При этом любопытно, что разрушение одной колонны не вело к разрушению всей системы, а только отдельного участка, вся остальная конструкция сохраняла равновесие, удерживаемая огромной тяжестью.

Вот мы кратко познакомились с конструкцией чудовищно тяжелых сооружений Египта, простоявших не менее 3-4 тысяч лет в условиях достаточно высокой сейсмичности. Не знаю, как у вас, но у меня представление о Древнем Египте связывается с какими-то таинственными непознаваемыми чудесами, наверное, это осталось от детства. Теперь о сейсмостойкости древних храмов. За свое многотысячелетнее существование они перенесли множество подземных бурь. При их весе в них должны были возникнуть невообразимые инерционные сейсмические силы, которые эти храмы уже точно должны были разрушить, так как здесь явно нарушен один из основных принципов сейсмостойкого строительства: требование снижения веса сооружения. Кроме того, несущие конструкции храмов выполнены из хрупкого материала—камня, податливость стыков—вопрос спорный. Я попытался выше объяснить сейсмостойкость этих сверхтяжелых сооружений влиянием фактора взаимодействия податливого грунта и тяжелого сооружения, но этого здесь явно мало. Для ответа на вопрос о сейсмостойкости египетских храмов нужно специальное детальное их обследование именно с этих позиций. Однако совершенно ясно, что у древних египетских зодчих существовала своя теория на то, как создавать сейсмостойкие храмы. Хочется надеяться, что в чем-то наши взгляды совпадают.

Теперь о третьем чуде света, Александрийском маяке (рис. 25). К 280 г. до н.э. при царе Птолемее Сотере под руководством архитектора Сострата Книдского на острове Фаросс недалеко от Александрии был построен гигантский маяк, предназначенный облегчить подход к гаваням Александрии, труднодоступный из-за наносов нильского ила. Маяк представлял собой трехэтажную башню высотой около 120 м. Размеры основания нижней прямоугольной части были 30,5х30,5 м. Второй этаж представлял собой восьмигранную башню. Третий этаж являлся фонарем. Он представлял собой купол на восьми колоннах, под которыми и горел огонь. Все это венчала бронзовая семиметровая статуя бога морей Посейдона.

Все сооружение стояло на скале и было сложено из плит местного известняка и облицовано плитами мрамора. Внутри нижней массивной части имелись помещения для охраны, склады для топлива и винтовая лестница, по которой на ослах поднималось к фонарю топливо. К сожалению, мы ничего не знаем о том, как соединялись крупные известковые блоки, из которых была сложена нижняя часть маяка. Раствор здесь точно не применялся, а вот применялись ли металлические соединительные скобы, неизвестно. Но при этом известно, что известняк, из которого была сделана вся башня,—материал хрупкий и недостаточно прочный. В результате ясно, что при данных пропорциях сооружения, его материале и скальном основании Александрийский маяк был конструкцией жесткой с маленьким собственным периодом колебания. Никаких сейсмоизолирующих эффектов здесь не было, и вся сейсмическая энергия скального основания переходила в сооружение, раскачивая и разрушая его. Уже во II в. верхняя часть маяка рухнула, сооружение стало еще более жестким. При следующем землетрясении в IV в. маяк еще больше укоротился. При каждой катастрофе он делался все короче и жестче. В конце X в. на него обрушилось землетрясение, оставившее лишь четверть маяка. Землетрясение XIV в. окончательно разрушило этот величайший архитектурный шедевр

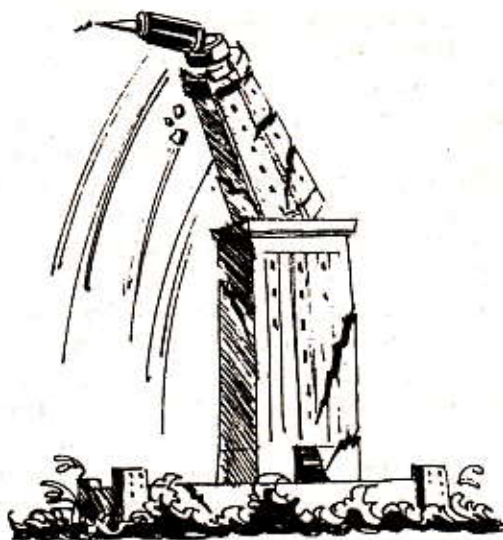


Рис. 25. Так можно представить гибель еще одного чуда света—Александрийского маяка

древности, не обладавший свойством приспосабливаться к сейсмическим воздействиям [5-7, 9].

Итак, мы побывали в трех великих речных цивилизациях. Если история действительно движется по спирали, то мы уже сделали два витка. Первый—это все самое древнее: жилище Адама, первые хижины, мегалитические постройки. Второй виток спирали истории—это самые ранние цивилизации, откуда, собственно, началось все дальнейшее развитие человеческих знаний. Выходим с вами на третий виток, когда были достигнуты величайшие вершины в искусстве, человеческом духе, архитектуре и даже в нашем с вами сейсмостойком строительстве. Представители этого витка—Греция, Рим, Византия. За ними следующим у нас с вами будет четвертый виток, это раннее средневековье, от Кавказа до Японии. Как назвать дальнейшее, я не знаю, это пятый виток или история срывается из спирали подъема в штопор падения. Решайте сами. А пока на третий виток.

Все о сейсмостойкости сооружений эпохи греков

Крито-микенская культура

Начнем наше путешествие по архитектурным памятникам Эгейского мира с Трои, так как именно здесь еще до II тысячелетия до н.э. наивысшего развития достигла культура, наряду с островами Кипр, Лемнос, Лесбос. Затем первенство перешло к острову Крит, далее к Микенам, и уже потом лучшие памятники архитектуры были сооружены в материковой Греции. О высокой сейсмичности районов Эгейского моря говорят те многочисленные острова, бухты и изломанные берега, которые образовались в результате активной тектонической деятельности, происходящей в этом районе. Древние греки и их предки хорошо знали об этом грозном явлении и с древнейших времен вели борьбу с ним. О том, что землетрясения часто случались в этом районе, говорят многочисленные сохранившиеся любопытные истории, в которых рассказывается, как происходящие землетрясения, часто очень кстати, влияют на события в стране. Эти истории, как правило, настолько занимательны и в то же время информативны, что не удержусь и кратко перескажу некоторые из них.

У Павсания читаем, что во второй год 125-й Олимпиады, когда в беге победил Лада из Эгий, кельты напали на Дельфы, где, как известно, не только был знаменитый оракул, но и хранились сокровища. Объединенные силы эллинов выступили навстречу и нанесли первое поражение

варварам. С наступлением ночи кельты расположились лагерем, и здесь среди ночи они услышали топот приближающихся коней. Почувствовав близость врага, они схватились за оружие, построились в боевые порядки и, охваченные безумием, в темноте начали уничтожать друг друга. Греков же знакомая им, разбушевавшаяся подземная стихия, разумеется, не могла повергнуть в безумие. Им оставалось только утром собрать трофеи.

Диодор Сицилийский рассказывает о еще более сильном землетрясении в том же районе Дельфов. Когда персидские полчища под предводительством Ксеркса вторглись в Грецию, часть войска была направлена захватить Дельфы и сжечь их храм Аполлона, похитив общую казну греческих государств. Разумеется, тут же случилось землетрясение, сопровождаемое сильным дождем, ветром и молниями. Обрушивающиеся скалы погубили многих пришельцев. Персы в крайнем ужасе и страхе бежали.

Лучше всех землетрясением воспользовались жители острова Родос. Как описано у Полибия, случившееся землетрясение разрушило мощный колосс—об этом чуде света мы вскоре будем говорить,—большую часть стен и верфи. Жители Родоса поступили очень умно и благоразумно, ну буквально как это часто делают сегодня: они направили свои посольства в соседние города и царства, где их землетрясение было представлено настолько ужасным, что соседи оказали такую помощь, которая значительно превзошла все убытки от землетрясения. Подобных историй существует множество, но вернемся к нашей Трое, с которой хотелось начать нашу встречу с греческим миром.

Побываем в легендарной Трое, расположенной на берегу Эгейского моря, 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 IV и III тысячелетий до новой эры. Последующие Трои последовательно этажами

наслаивались одна на другую. Та Троя, которую греки захватили с помощью военной хитрости Одиссея, была уже седьмой по счету. Как гласит легенда, уверенный в простоте троянцев, Одиссей предложил изготовить деревянного коня и спрятать его туда вместе с другими героями, а остальным грекам отплыть от берега, уничтожив свой лагерь и изобразив уход. Когда же простаки троянцы закатят коня как трофей к себе в город, он со своими коллегами вылезет ночью из коня, откроет ворота Трои, тогда же вернутся уплывшие греки и устроят поголовную резню. Так и вышло, Троя VII пала.

Разумеется, и на эту легенду мы должны взглянуть с нашей позиции поисков сейсмостойких конструкций. С этих позиций мы видим, что троянский конь был идеальной сейсмостойкой конструкцией, он отвечал всем принципам, сформулированным выше. Размеры умеренные, там прятались вооруженные воины с копьями, значит, этот конь был величиной с двух-трехэтажное здание, конструкция симметричная, дерево—упругий и легкий материал, да ко всему прочему сейсмоизоляция с помощью колес, на которых он стоял.

Сооружения самой Трои такой идеальной сейсмостойкостью уже не обладали, не из того материала были сделаны и не тех размеров. Для нашего путешествия давайте выберем Трою VI, основанную греческими племенами, процветавшую уже к середине II тысячелетия до н.э. По величине она значительно больше Трои VII, была богатым укрепленным городом с застройкой хорошего качества. И все-таки Троя VI погибла от сильного землетрясения в XIV веке до н.э. Не хватило тех антисейсмических мероприятий, что применялись тогда. Давайте рассмотрим эти мероприятия.

Как показали раскопки, Троя VI представляла собой грандиозную для того времени систему обороны, состоящую из стен, башен и других подсобных помещений, построенных из крупных каменных блоков, хорошо притесанных, плотно пригнанных друг к другу, уложенных ровными горизонтальными рядами. Вес некоторых блоков

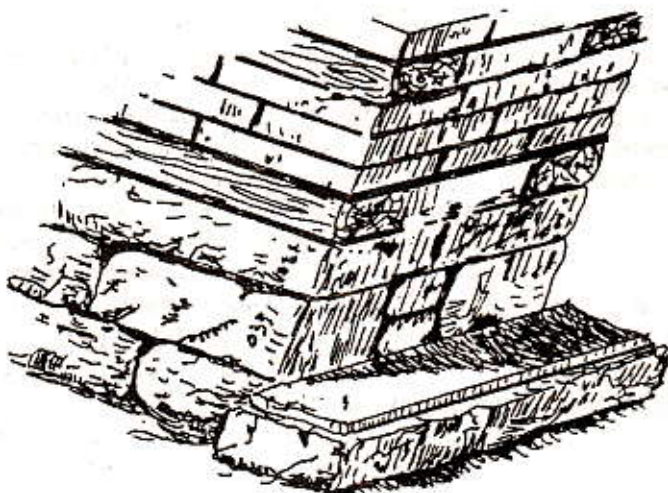


Рис. 26. Комбинированная конструкция стен древней Трои из камня, дерева, глины

доходил до 2-3 тонн. Часть длинных камней укладывалась поперек стены, так называемым “тычком”, что еще больше увеличивало прочность и монолитность стен. Стены, башни, здания имели фундаменты, выложенные из особо крупных блоков и заглубленные до скалы. При неровной поверхности в скале вырубалось специальное ложе под фундамент. Для большей устойчивости стены и башни имели большой наружный уклон. Это все приемы, разработанной уже тогда, сейсмостойкой кладки.

Кстати, в более древней “доисторической” Трое применялась несколько другая конструкция сейсмостойких стен. Для придания стене свойств податливости и монолитности она выполнялась комбинированной из дерева, глины и камня (рис. 26). Такая более древняя стена была, пожалуй, более сейсмостойкой, чем стены, состоящие целиком только из крупных каменных блоков. Посмотрите, как все продумано в этой древней стене. Основание из тщательно пригнанных и уложенных с перевязкой швов каменных блоков. Далее идет состоящий

из связанных между собой брусьев плоский деревянный каркас, пустоты в котором заложены сырцовым кирпичом. Выше три слоя сырцового кирпича и опять обвязки из деревянного каркаса и так далее. Совершенно ясно, что такая стена, комбинированная из нескольких материалов, обладает свойствами прочности, податливости, монолитности, а может даже, и сейсмоизоляции за счет отражения поверхностных сейсмических волн жесткой каменной прослойкой.

После Трои, следуя хронологической последовательности и соблюдая наши интересы, давайте рассмотрим Кносский дворец, расположенный на острове Крит и относящийся к так называемому "среднеминойскому периоду" Эгейской культуры (2100-1600 гг. до н.э.). Кнос, столица легендарного царя Миноса, знаменитого пирата, открыта английским археологом Эвансом и известна руинами огромного в 24,000 м² дворцового ансамбля. На Крите, отличающемся высокой сейсмичностью, был накоплен большой опыт сейсмостойкого строительства. Там даже существовал специальный культ неугасимого огня, посвященного богу— "Колебателю земли". Жителям горящий огонь постоянно напоминал о грозящей им беде. Рассмотрим основные антисейсмические мероприятия, применявшиеся в Кносском дворце.

Самым распространенным строительным материалом здесь являлся гипс, из которого изготавливали крупные каменные блоки. С точки зрения сейсмостойкого строительства гипс—плохой строительный материал, хрупкий и недостаточно прочный. Все это прекрасно понимали строители Кносского дворца, стремясь придать кладке стен хоть какую-то податливость и добиться максимально возможной их общей прочности. Для этого они прежде всего тщательно пригоняли каменные блоки. Раствор не применялся, каменные блоки соединялись деревянными штырями, что придавало кладке некоторую податливость. Интересны наружные толстые стены, окружавшие дворец. Специальных оборонительных стен вокруг дворца не

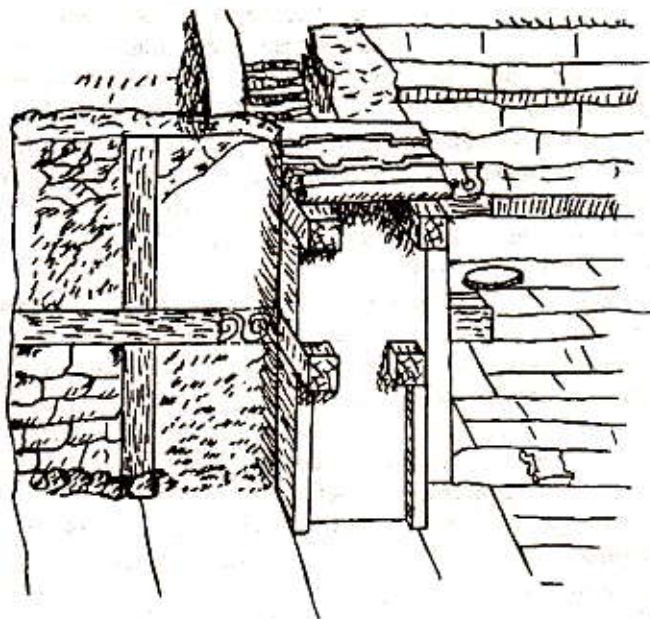


Рис. 27. Каменная кладка, армированная деревом в Кноссе

было, и сами внешние стены при случае могли выполнить эту роль. Кроме того, чисто в конструктивном смысле, внешние стены дворца, отличавшиеся повышенной устойчивостью, служили надежной опорой всем внутренним конструкциям. Внешние стены были трехслойными, они состояли из плит, поставленных на ребро, чередуясь, часть шла параллельно стене, часть—поперек, обеспечивая связь облицовок. Образовавшиеся между плитами пустоты плотно засыпались различным строительным мусором. Но самое главное и интересное здесь заключается в том, что кладка внутренних стен в вертикальном и горизонтальном направлениях основательно армировалась деревянными брусьями (рис. 27). Точно таким же образом, каменными блоками и деревянными брусьями, стены связывались между собой и с перекрытием в

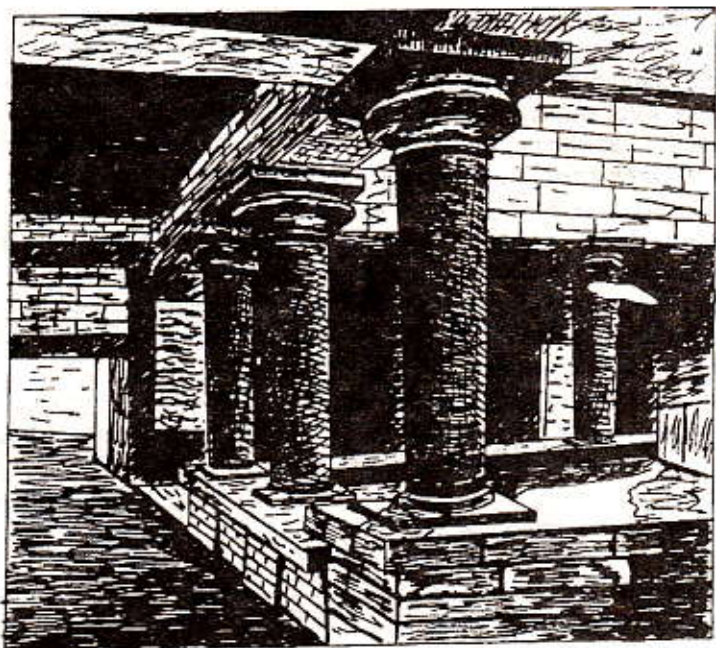


Рис. 28. Расширяющаяся вверх деревянная колонна в Кноссе

единую замкнутую систему, обеспечивающую сейсмостойкость здания. Кстати, наличие большого количества дерева в каменной кладке снижало ее вес.

Любопытен вид деревянных колонн, применявшихся в Кносском дворце. Они расширяются кверху и сужаются внизу (рис. 28). Вид их необычен, а правильнее сказать, непривычен. Мы не удивляемся, что ножки у стола внизу узкие, а сверху широкие. У колонн такой вид вызывает у нас недоумение. Если же хорошенько задуматься, то, пожалуй, это сделано правильно. Опирайте балки-то приходится на верхний конец колонны, а широкий конец бревна—это и есть готовая капитель, где удобно разместить опорные части балок. В нижней же части такой колонны готов шарнир, который обеспечивает работу колонны только на сжатие без изгиба.

Большое внимание на Крите уделялось подготовке грунтового основания под сооружение. Для придания ему однородности малейшие неровности грунтового основания выравниваются, стесываются, углубления и расщелины заполняются строительными материалами. При строительстве по склонам холмов создаются ровные, идущие уступами площадки, на которые ставятся сооружения. Между скальным грунтом основания и фундаментом сооружения обязательно устраивается песчано-щебнистая прокладка, назначение которой известно: равномерно распределить нагрузку от фундамента и смягчить силу подземного удара.

Еще один любопытный момент. Здания в Кносском дворце были по крайней мере трехэтажные. Интересна конструкция первого этажа. Он, как правило, был заглубленным, подземным и состоял из помещений небольшого размера, так как продольных и поперечных стен в нем было больше, чем в верхних этажах. Этим как бы обеспечивалось прочное и надежное основание под верхние этажи. Принцип буквально тот же, что и у будущих римских сооружений, у которых для создания надежного основания на плохих грунтах возводились подземные субструкции, состоящие из системы стен и сводов.

С Кносским дворцом связано много загадок. Например, почему у него не было оборонительных стен? Что, у обитателей такого богатого дворца не было врагов? Или другая загадка. Из раскопок следует, что спальни, как правило, находились в нижних подземных этажах. Почему? Есть даже утверждение, что под землей жители Крита прятались от землетрясений. Действительно, даже при небольшой глубине амплитуда поверхностных волн сильно убывает, и соответственно сотрясения в таких подземных спальнях будут меньше, чем на поверхности. Но тогда и перекрытия над подземными этажами надо делать такими, чтобы они выдержали рухнувшие верхние этажи. Может, на Крите строили сейсмоубежища, чтобы жители могли спокойно спать, не боясь землетрясений.

Кносский дворец расположен в самой активной сейсмической зоне острова Крит, соответственно он и был разрушен землетрясениями, часто происходящими в этом районе. Видимо, тех антисейсмических мероприятий, что применялись и о некоторых из которых рассказано, не хватило, чтобы дворец простоял до наших дней. Это естественно, так как основную гибкость и монолитность конструкции придавал такой недолговечный материал, как дерево.

Другим интереснейшим архитектурным ансамблем того времени являются Микены, относящиеся к материковой Элладе. Их наивысший расцвет приходится на XIV-XIII века до н.э. Материковая Греция того времени, раздробленная на мелкие враждующие племенные союзы, была чрезвычайно неспокойна. Это породило многочисленные хорошо укрепленные пункты. Таким пунктом были Микены, недалеко от них были расположены, также хорошо укрепленные, Тиринф, Аргос и др.

Оборонительные сооружения Микен были построены на горном отроге. С двух сторон их окружали недоступные обрывы, и только с остальных двух сторон, где скала покато опускается в долину, высились неприступные стены.

Стены, сложенные из чудовищных глыб камня, казались последующим поколениям сооружением сказочных великанов-циклопов, поэтому такую кладку стен стали называть циклопической. Огромные глыбы камня неизвестно как поднимали и еще непонятнее как пригоняли друг к другу. Сцепленные между собой за счет сложной конфигурации и силой собственного веса, эти глыбы образовывали прочную кладку (рис. 29). В ответственных местах, чтобы еще больше укрепить кладку и предохранить блоки от скольжения в случае сотрясения, их по горизонтальным швам усиливали деревянными вертикальными штырями, вставленными в отверстия, имеющиеся в верхнем и нижнем блоках.

Очень квалифицированно были организованы фундаменты под оборонительные стены. Прежде всего, чтобы

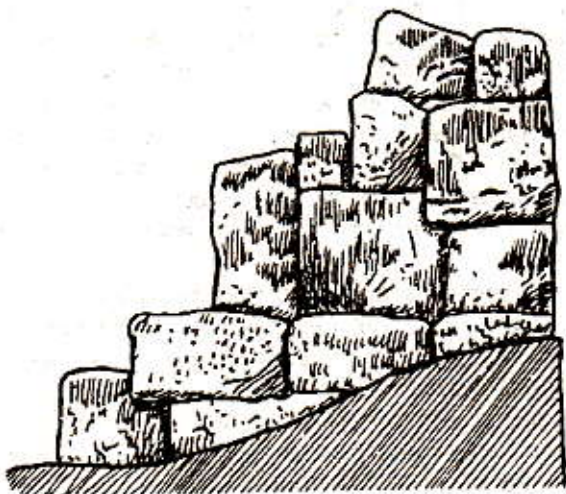


Рис. 29. Мегалитическая кладка Древней Греции, Микены

они не сползли по склону, в скале было вырублено специальное ложе, в которое и были уложены крупные фундаментные блоки. Эти фундаментные блоки организовывали более широкое основание под стены, чем сами стены, придавая им дополнительную устойчивость. Для той же устойчивости стен им придавали так называемый "египетский" профиль—широкое основание, постепенно сужающееся кверху.

Но самая, пожалуй, большая достопримечательность Микен, сохранившаяся до нашего времени,—это главные ворота микенских укреплений, которые называют Львиными (рис. 30), простоявшие более 30 столетий. Они сложены, при квадратном просвете ворот размером 3х3 м, из четырех гигантских блоков. Один составляет порог. Два других вертикально стоящих блока поддерживают четвертый, перекрывающий отверстие прохода. Этот гигантский блок имеет длину 4,5 м и весит 20 т. Конструкция ворот такова, что ставится задача разгрузить самый опасный верхний блок. Для этого каменная кладка



Рис. 30. Львиные ворота—пример совершенной каменной конструкции

над воротами выполнена по типу ложного свода постепенным надвигом блоков. Получившееся над верхним блоком отверстие заложено треугольным камнем с изображением яростных львов, поддерживающих колонну. Любопытно, что форма колонны такая же, как в Кносском дворце,—расширяющийся конец наверху. Здесь мы опять имеем дело с разгрузочной системой, как и в пирамиде Хеопса. Только там стремились снизить изгибающие моменты, здесь же постарались вообще снять нагрузку от вышележащих рядов камня. За разгрузочными системами такого типа закрепилось даже название “разгрузочный треугольник”, потому что, по-видимому, эта система была впервые применена в Львиных воротах. Как мы увидим дальше, в Армении этот треугольник будет заменен полукругом и сразу заменит верхний надпролетный блок и “разгрузочный треугольник”.

Еще несколько слов о том изображении, что имеется на разгрузочном треугольнике Львиных ворот. Вставшие

на задние лапы разъяренные львы, поддерживающие и защищающие деревянную колонну, символизируют предназначение микенских укреплений защищать жилой комплекс и его жителей от внешней опасности. Деревянная колонна, широко применявшаяся в жилом строительстве Микен и Тиринфа, означает на треугольнике жилые постройки и их обитателей. Колонны Микен очень похожи на колонны Кносса, но есть и отличия. Кроме таких же опорных плоских каменных квадратных плит внизу и сверху на верхнем широком конце колонны вводится обжимное металлическое кольцо, предохраняющее колонну от растрескивания.

Остается только восхищаться тем, как много уже знали древние об особенностях работы материала в конструкциях. Они явно твердо понимали, что камень хорошо работает на сжатие и плохо на растяжение. Поэтому-то они и устраивали разгрузочный треугольник над балкой, работающей на изгиб, в которой камень в нижней зоне получается растянутым. Более того, так как камень в середине балки имеет самый большой изгибающий момент, то, чтобы снизить растягивающие напряжения в камне, центральная часть балки сделана утолщенной. И этого мало. Чтобы верхний блок не свалился во время землетрясения и чтобы еще больше разгрузить его центральную часть, блок придавили по концам каменной кладкой основания ложного свода, сделав его статически неопределимым, и этим как бы оттянули часть изгибающего момента от центра пролета на его концы. Когда анализируешь конструкцию этих ворот, невольно возникает мысль, что современный инженер не смог бы лучше запроектировать такое циклопическое сооружение из камня, пользуясь даже самой современной теорией расчета конструкций.

В Микенах имеются и другие интересные для нас сооружения. В "Нижнем городе" сохранились до нашего времени замечательнейшие погребальные сооружения, так называемые купольные гробницы, очень интересные по своей конструкции. Эти конструкции отличаются простотой и гармонией форм, точностью исполнения и, как

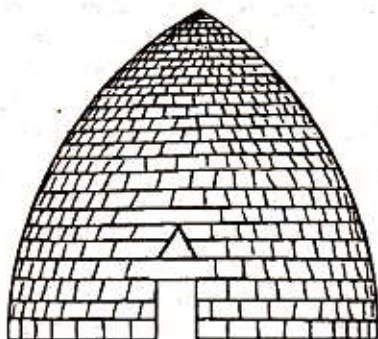


Рис. 31. Сейсмостойкий стреловидный купол гробницы Атрея

видите, высокая сейсмостойкость. Для примера рассмотрим гробницу Атрея (XIV в. до н.э.), легендарного правителя Микен, называемую “сокровищницей Атрея”. Конструкция этого мавзолея была доведена до совершенства. Многие более древние гробницы из-за тех или иных просчетов давно рухнули, а гробница Атрея в силу своего совершенного конструктивного решения, обладая высокой сейсмостойкостью, стоит, правда под землей, уже почти тридцать пять столетий.

Основная часть гробницы, погребальная камера, имеет высоту 13,2 м и круговое очертание в плане диаметром 14,5 м (рис. 31). Кривая купола начинается уже от пола и образуется постепенным напуском горизонтальных колец. Отеска внутренней поверхности по плавной кривой производилась после укладки блоков. Самые крупные каменные блоки, как и положено, уложены в нижней части стены: поднимаясь выше, стены становятся тоньше и каменные блоки меньше. Как видно из рисунка, профиль купола имеет стрельчатое очертание. Я уже об этом говорил и, наверное, не удержусь и скажу об этом еще не раз, что стрельчатая конфигурация купола хорошо отвечает требованиям антисейсмики. Однородность кладки купола нарушена двумя дверными проемами, высоким и низким, оба они перекрыты каменными

балками, над которыми по системе ложного свода выложены разгрузочные треугольные проемы, подобные тем, что устроены у Львиных ворот. Собственно говоря, весь купол гробницы Атрея выложен по системе ложного свода, то есть постепенным напуском камней. Остановимся на некоторых деталях конструкции. Материалом для сооружения гробницы послужил местный кремнистый известняк большой плотности и высокой прочности. Раствор здесь, разумеется, никакой не применялся, каменные блоки укладывались тщательно притертыми насухо, что обеспечивало, с одной стороны, высокую прочность всей конструкции и высокий коэффициент затухания, а с другой стороны, возможность подвижек при высоком уровне нагружения. В ответственных местах около дверных проемов блоки соединялись между собой скобами типа "ласточкина хвоста", что вообще характерно для греческого мира. Далее. Купольная кривая начинается прямо от фундамента, следовательно, распор от купола передается на фундамент и грунтовое основание. Но при этом надо иметь в виду, что вся гробница находится под землей и, следовательно, все ее кольца обжаты грунтовой засыпкой, что, по-видимому, не только снимает распор от купола, но и даже обжимает его. Кроме того, знайте, что подземные сооружения находятся часто в более выгодном положении, чем наземные, так как эффект землетрясения с глубиной быстро падает. Думаю, где-нибудь дальше повод рассмотреть этот вопрос подробнее.

Как видно из сказанного, конструкция гробницы Атрея отвечает основным принципам сейсмостойкого строительства: хорошие пропорции, осевая симметрия, стрельчатая форма купола, облегчение сверху за счет уменьшения толщины купола, снятие концентраций напряжений в местах, где имеются отверстия в куполе, прочный материал, подземное расположение, обжатие упруго-пластичной средой грунта, возможные подвижки между блоками. Антисейсмических мероприятий оказалось вполне достаточно, чтобы мавзолей просуществовал 35 веков.

Аналогичную, но более замысловатую конструкцию подземного мавзолея, тоже совершенного по воплощенной в нем мысли, мы будем наблюдать в Царском кургане, когда доберемся до Боспорского царства. Интересно, знали ли строитель второго мавзолея о существовании первого.

Изучая древних, не без удивления замечаешь, что они уже решали, казалось бы, слишком тонкую для них задачу о снятии концентраций напряжений в конструкции. Для доказательства этого вот вам два примера. В купольной гробнице в Мениди над широким дверным проемом устроена такая остроумная разгрузочная система, что в балках, перекрывающих проем, нет другой пригрузки, кроме их собственного веса. Система эта устроена так. Над проемом в толстой стене уложены мощные монолитные балки, и, чтобы на них не было никакой нагрузки, над ними организована пустота с помощью четырех рядов тонких плит, уложенных с небольшими зазорами (рис. 32). Вот и получилось, что над дверным проемом нет нагрузки, нет и концентраций напряжений. Теперь другой пример. Немного поговорим об уже упоминавшемся Тиринфе, расположенном недалеко от Микен и застроенном чуть позже, совершенно неприступный акрополь которого со стенами и новым дворцом были достроены в XIV-XIII вв. до н.э. Оборонительные сооружения Тиринфа поражают своей мощью, и стоит только удивляться, что они не были причислены к одному из чудес света. Стены достигают толщины от 8 до 17 м и сложены из огромных блоков циклопической кладки. Разгаданы секреты строительства греческих храмов и даже египетских пирамид и храмов, которые возводились из многотонных каменных блоков регулярной, чаще всего прямоугольной, формы. Но никто пока не решился фантазировать, как возводилась циклопическая кладка типа укреплений Тиринфа, когда пригонялись по месту многотонные камни сложной конфигурации. Из всего многообразия укреплений Тиринфа хочется обратить внимание только на одну конструктивную тонкость, примененную здесь. Рельеф

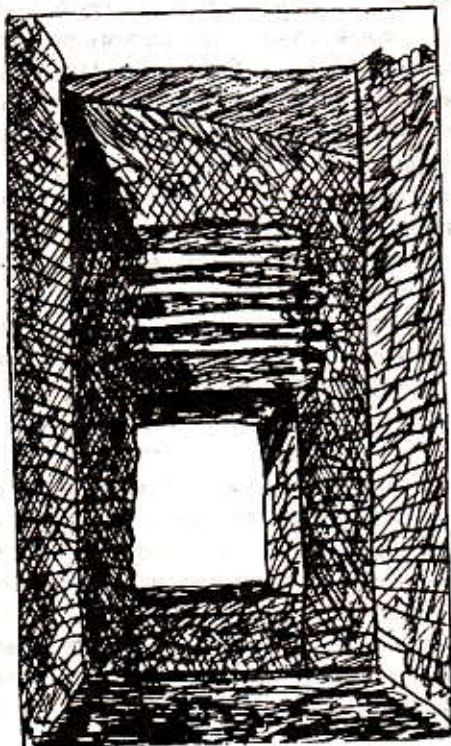


Рис. 32. Разгрузочная система над входом в гробницу, Мениди

местности, где строились оборонительные стены Тиринфа, имеет крайне нерегулярный характер. Поэтому и сами стены имеют чрезвычайно ломаный продольный профиль. Они то спускаются по откосу холма, то поворачивают к ближайшей скале, то делают неожиданный излом, необходимый с точки зрения военной тактики. В результате, даже на коротком расстоянии отсутствует прямая линия стен. С точки зрения сейсмостойкости это хорошо, с одной стороны, так как примыкающие башни и стены, расположенные под углом друг к другу, играют роль контрфорсов, но, с другой-то стороны, стены,

находящиеся под разными углами к очагу землетрясения, будут колебаться по-разному, к тому же на разных склонах разные осадки стен. Если такую неоднородную стену сделать непрерывной, то в ней при землетрясении появятся концентрации напряжений и соответственно разрывы. Это прекрасно понимали зодчие древности, и они придумали скользящие антисейсмические швы. Башни, являясь опорой стен, в то же время не связаны единой кладкой и представляют собой как бы пристройку. В случае обрушения башня не повлечет за собой стену и не нанесет вред обороне. Точно так же на скользящих швах соединялись участки стен и стены с различными сооружениями дворца. Вот так вполне на современном уровне решались проблемы снятия концентраций напряжений в конструкциях древними строителями.

Заканчивая краткий экскурс по древнейшей "эгейской" архитектуре, хочется подчеркнуть следующее. Если провести сравнение антисейсмических приемов, применявшихся здесь и в более поздней, связанной с ней, греческой архитектуре с рассмотренными выше цивилизациями кирпича Индии и Месопотамии, то можно заметить следующее. У Хараппов и в Двуречье антисейсмические приемы вырабатывались все-таки больше на основе интуиции и накопления опыта. Это перевязка кирпичной кладки, утолщение стены внизу, устройство контрфорсов, пластичные растворы, армирование деревом и камнем. Здесь же, в греческом мире, чувствуются система и знание основ работы конструкции, которые и позволяют вырабатывать специальные конструктивные приемы создания сейсмостойких конструкций. Совершенно четко видно—и это будет показано дальше,—что, несмотря на то что основным строительным материалом был камень, обладающий свойствами жесткости и хрупкости, сооружениям, возводимым из него, строители стремились придать свойства податливости и упругости и объединить все несущие конструкции в единую, связанную во всех направлениях, систему [5, 7, 11, 12].

находящиеся под разными углами к очагу землетрясения, будут колебаться по-разному, к тому же на разных склонах разные осадки стен. Если такую неоднородную стену сделать непрерывной, то в ней при землетрясении появятся концентрации напряжений и соответственно разрывы. Это прекрасно понимали зодчие древности, и они придумали скользящие антисейсмические швы. Башни, являясь опорой стен, в то же время не связаны единой кладкой и представляют собой как бы пристройку. В случае обрушения башня не повлечет за собой стену и не нанесет вред обороне. Точно так же на скользящих швах соединялись участки стен и стены с различными сооружениями дворца. Вот так вполне на современном уровне решались проблемы снятия концентраций напряжений в конструкциях древними строителями.

Заканчивая краткий экскурс по древнейшей "эгейской" архитектуре, хочется подчеркнуть следующее. Если провести сравнение антисейсмических приемов, применявшихся здесь и в более поздней, связанной с ней, греческой архитектуре с рассмотренными выше цивилизациями кирпича Индии и Месопотамии, то можно заметить следующее. У Хараппов и в Двуречье антисейсмические приемы вырабатывались все-таки больше на основе интуиции и накопления опыта. Это перевязка кирпичной кладки, утолщение стены внизу, устройство контрфорсов, пластичные растворы, армирование деревом и камнем. Здесь же, в греческом мире, чувствуются система и знание основ работы конструкции, которые и позволяют вырабатывать специальные конструктивные приемы создания сейсмостойких конструкций. Совершенно четко видно—и это будет показано дальше,—что, несмотря на то что основным строительным материалом был камень, обладающий свойствами жесткости и хрупкости, сооружениям, возводимым из него, строители стремились придать свойства податливости и упругости и объединить все несущие конструкции в единую, связанную во всех направлениях, систему [5, 7, 11, 12].

Будем считать, что с истоками антисейсмических приемов греческой архитектуры мы познакомились, теперь не медля ни минуты—прямо к знаменитым грекам времен той самой античности.

Материковая Греция

Область распространения великой древнегреческой культуры охватывала не только саму Грецию, то есть южную часть Балканского полуострова, но города и колонии эллинских племен, которые были разбросаны по берегам всего бассейна Средиземного моря, а также Северного Причерноморья и Малой Азии. В V веке до н.э. во времена победоносных греко-персидских войн и победы над Карфагеном греки еще дальше продвинулись в глубины Азии и Африки, а в IV веке до н.э. войска Александра Македонского захватили Персию, Египет, достигли Индии и Средней Азии, создав ряд греко-восточных монархий. Ясно, что при такой широте распространения, когда захватывались высокоразвитые страны, шел процесс взаимного обмена достижениями в области культуры и строительного искусства. Вот здесь в истории строительного дела Греции есть один очень интересный момент. Они практически совершенно не восприняли от Востока двух важных строительных элементов. В своей монументальной архитектуре греки не применяли купола и своды, это первое. Второе—они не применяли растворов в каменной кладке как связующее вещество. Попробуем понять причину этого.

Конечно, это не случайно, что в Древней Греции нет куполов и растворов. У греческих строителей, разумеется, была своя теория сооружений, в том числе и явно своя теория сейсмостойкого строительства, ей-то они и следовали, применяя или отвергая те или иные конструктивные строительные приемы, существовавшие тогда. Попытаемся представить себе концепцию, которой следовали древние строители Греции, создавая свои храмы с учетом сейсмической опасности.

Даже беглый анализ конструкций греческих храмов приводит к выводу, что в них применялась чрезвычайно простая балочно-стоечная система с податливыми связями между элементами. Вертикальные несущие элементы—это стены и колонны, на которых лежат несущие перекрытия балок. Связь между всеми несущими элементами осуществляется податливая с помощью железных штырей и скреп, залитых свинцом. Конструктивные подробности всех этих элементов будут рассмотрены дальше. Балочно-стоечная система господствует в греческой архитектуре как в классический (V-IV вв. до н.э.), так и в архаический периоды (VIII-V вв. до н.э.).

Совершенно ясно, что в чисто балочно-стоечной конструкции греческих храмов, где колонны и стены работают только на сжатие, а балки—на изгиб, нет места сводам и куполам, которые наряду с вертикальной нагрузкой на стены и колонны вызовут на них же дополнительные горизонтальные нагрузки от распора. Далее, организовать податливую связь между куполом и несущими его стенами в то время было невозможно. И наконец, заменить податливую связь между элементами конструкции, организованную с помощью штырей и скоб, залитых свинцом, на жесткую связь на каком-то, например известковом, растворе было просто недопустимо. Это все противоречило бы балочно-стоечной системе с податливыми связями между элементами, которую применяли греческие строители. Думаю, что только поэтому в Древней Греции нет ни куполов, ни строительных растворов. Хотя, конечно, они о них знали и изредка применяли. Арки, сложенные из клинчатых камней, встречаются в эпоху классики в погребальных камерах склепов, полуциркульные очертания имели многие перекрытия крепостных ворот уже в V в. до н.э.

Есть еще одно предположение, почему древние греки не применяли куполов и арок. Если устраивать перекрытие в виде купола, то для восприятия появившегося распора пришлось бы устраивать дополнительные инертные

массы, которые значительно утяжелили бы сооружения. Тех стен и колонн, что применялись, уже было недостаточно для этого. Применение куполов еще больше утяжелило бы греческие сооружения, и они потеряли бы свою четкую архитектурную композицию, и в то же время это бы противоречило одному из основных принципов сейсмостойкости—принципу антитяжести.

То, что строители Древней Греции стремились обеспечить достаточно податливую конструкцию своих уникальных храмов, подтверждает конструкция их фундаментов. Фундаменты зданий классической эпохи, как и эпохи архаики, возводились независимо под стенами и под отдельными колоннами. Соответственно при неравномерных осадках фундаментов не возникали дополнительные напряжения ни в гибко связанных элементах перекрытия, ни в несущих стенах и колоннах, ни в фундаментах.

Еще важный вопрос—крепление элементов греческих храмов между собой. Приведем конструкцию этих креплений.

Для крепления камней одного ряда применяются металлические скобы, которые могут иметь форму просто пластины, двойных Т, П-образную форму, ласточкиных хвостов (рис. 33,а). Для скрепления квадров двух смежных рядов употребляются пироны, для которых устраиваются отверстия в нижнем и верхнем камнях. В позднегреческих постройках форма этих креплений совершенствуется, так пироны уже имеют для лучшего сцепления с камнем утолщения на концах (рис. 33,б). Эти пироны до установки верхнего камня на место вставляются в него и заливаются свинцом. Потом камень устанавливается на место так, что нижний конец пирона входит в отверстие в нижнем камне, где также заливается свинцом через специальное отверстие. Точно так же заливаются свинцом и скобы, соединяющие камни одного ряда. В афинском Парфеноне, разговор о котором впереди, в центре барабанов колонн вставлены деревянные пробки непосредственно в мрамор. Чтобы избежать опасности

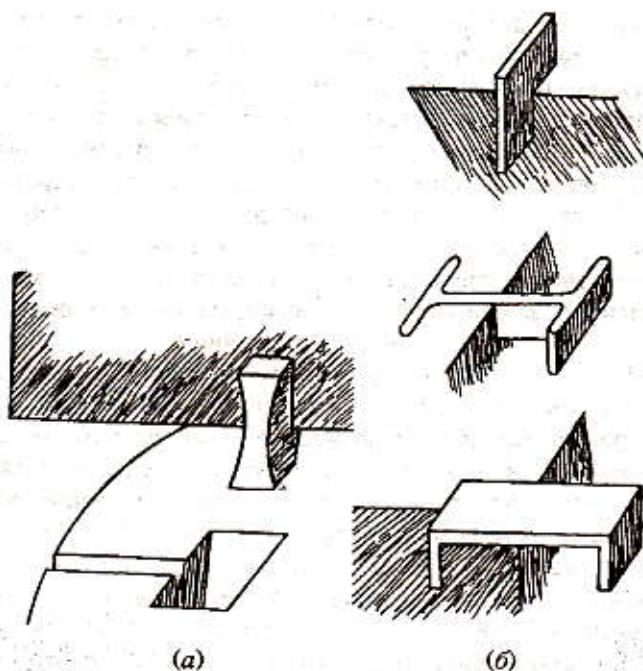


Рис. 33. Способы скрепления каменных блоков в Греции: (а) пироны для соединения камней из соседних рядов; (б) металлические скобы для соединения камней одного ряда

разбухания дерева, применялась смолистая, мало впитывающая влагу древесина. При этом дерево вставлялось сырое, а потом оно постепенно усыхало. Чисто деревянные крепления применялись в VI в. до н.э. сицилийскими греками. Железные скрепы входят в употребление на материке только в V в. до н.э. Существовали и комбинированные скрепы, когда металлический штырь заделывался в деревянную пробку. Но заметьте, не встречается чисто металлических креплений, не заделанных в свинец или дерево. Это, конечно, делалось неспроста. Мягкая прокладка из

свинца или дерева смягчала удар жесткого металла о стенку отверстия в мраморе при землетрясениях, поэтому почти не встречается отколов стенок отверстий, куда вставлены металлические скобы, амортизированные свинцом или деревом, т.е. таким образом создается связь с упругопластическими свойствами, которая предохраняет от соударения элементы конструкции. Эти скобы и пироны в свинце являются важными элементами сейсмозащиты греческих храмов. Кстати, одновременно свинец предохранял металлические скобы и пироны не только от ударов, но и от ржавления.

Из сказанного следует, что в силу указанных конструктивных приемов греческий храм нельзя рассматривать как абсолютно жесткое тело. Весь он состоит из отдельных каменных элементов, имеющих между собой упругопластические связи, и за счет точной шлифовки каменных блоков имеет высокий коэффициент затухания. Даже колонна, состоящая из отдельных барабанов, связанных податливыми связями, является довольно гибкой. В результате греческий храм отвечает почти всем принципам сейсмостойкости. Он имеет хорошие фундаменты, почти всегда в нем обеспечена симметрия расположения масс и жесткостей, имеет способность к подвижке и высокий коэффициент затухания за счет податливой связи между элементами. И все же большинство греческих храмов было разрушено землетрясениями, хотя казалось, что такие постройки, как греческие храмы, в которых не проявляется сила бокового распора, а камень несет небольшую нагрузку по сравнению с его пределом прочности, где упругопластически связаны и симметрично расположены все элементы конструкции, не должны были разрушиться никогда. Но дело, оказывается, в том, что большой вес перекрытия, состоящего из системы каменных балок и поднятого на большую высоту, соответственно поднимал центр тяжести сооружения. Огромные массы материала, сосредоточенные на большой высоте, вызывали при землетрясениях огромные непреодолимые инерционные

сейсмические силы, которые и разрушали сооружения. Здесь не было тех чудовищных, невообразимых весов, что были в египетских храмах, которые придавали им загадочную сейсмостойкость, здесь были просто большие веса. Они-то часто и играли роковую роль.

Еще немного порассуждаем, прежде чем переходить к антисейсмическим мероприятиям конкретных греческих храмов. Кто-нибудь, наверное, со мной не согласился, а может и многие не согласились, когда я, разумеется немного утрируя, говорил о том, что в понятии древних зодчих сейсмостойкое сооружение—это качественно другое, совершенно отличное от того, что строится без учета сейсмической опасности. В сейсмостойком здании все, от фундаментов до дверных косяков и гидроизоляции крыши, должно быть пронизано идеей сейсмостойкости.

С этим многогранным представлением о сейсмостойкости зданий мы сталкиваемся и в греческих храмах. Очень часто трудно угадать, из каких соображений делается тот или иной конструктивный прием. Из соображения повышения сейсмостойкости здания или каких-либо других или тех и других. Удивляет искусство древних строителей одним конструктивным приемом решать сразу несколько проблем. Вот простейший пример. Как известно, в Древней Греции было выработано несколько ордерных систем. Ордер—это порядок, в котором следует располагать элементы конструкции, учитывая пропорции и форму, жестко предписанные для них данным ордерам. Так вот, известно, что в Греции наиболее распространенными были два ордера. Более ранний, дорический, чьи конструкции были простыми и тяжелыми, по пропорциям колонны этого ордера сравнивались с мужской фигурой. В дальнейшем был разработан ионический ордер, более легкий, вычурный, с колоннами, стройными и более легкими, напоминающими по пропорциям женскую фигуру. Вопрос на соотношение. Для чего был разработан ионический ордер? Только ли из соображений эстетики и красоты ар-

хитектуры, а может быть, исходили из наших принципов сейсмостойкости и старались сделать сооружения более легкими, а завитки капителей ионических колонн не только напоминают женские кудри, но и создают более надежную опору для балок перекрытия.

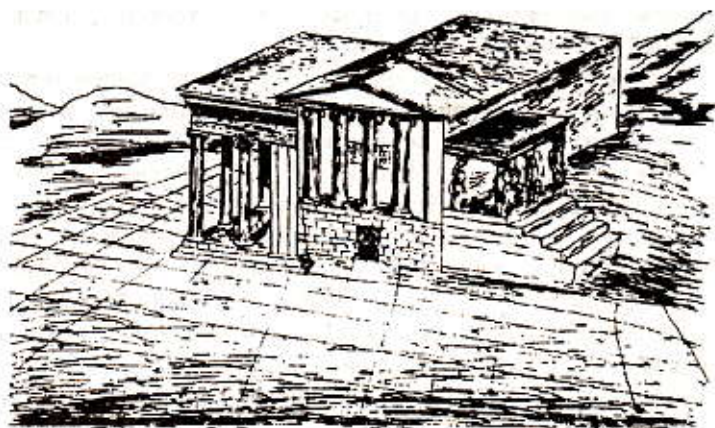
Можно еще дать подобный пример. Если смотреть на фасад греческого храма, окруженного со всех сторон колоннами, то будет казаться, что все колонны одинаковой толщины, стоят вертикально и имеют между собой одинаковые пролеты. На самом деле здесь все не так. Такая регулярность восприятия получена за счет исправления оптического искажения. Для этого крайние колонны сделаны толще средних, при этом пролет между крайними колоннами уменьшен, и, наконец, все они наклонены внутрь.

Что здесь—борьба с оптическим искажением или антисейсмическое мероприятие? Ясно, что и с точки зрения сейсмологии здесь сделано все правильно, так как при землетрясении нагрузки на угловые колонны будут больше, и их надо делать толще. То же самое с угловыми балками, пролет которых специально надо уменьшать, так как нагрузка на них больше. Наконец, наклоненные внутрь колонны увеличивают общую устойчивость сооружения. Уже эти два небольших примера показывают, что все вопросы архитектуры и строительства древние умели решать в комплексе. Здесь сочетается все: и эстетика, и сейсмостойкость, и все остальное, о чем мы, может, и не догадываемся. А теперь займемся конкретными конструкциями.

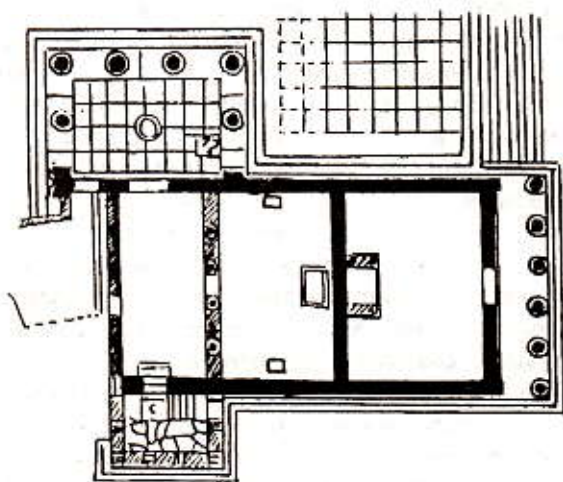
Рассмотрим конструкцию нескольких греческих храмов. Их предназначение—торжественно архитектурно оформить, взять в ожерелье из колонн то помещение, где стояли скульптура или какой-то другой символ бога, которому посвящен данный храм, и где происходят, внутри и снаружи, торжественные обряды в честь данного божества. Естественно, что в эти значительные для них сооружения древние греки вкладывали весь свой талант и умение. Не будем следовать хронологическому

порядку при описании нескольких из этих храмов, а будем выбирать те, которые нам интересны, следуя нашей логической линии.

Начнем с двойного храма Эрехтейона, дошедшего в развалинах до нашего времени, расположенного на афинском Акрополе и посвященного сразу двум божествам—Афине и Посейдону, колебателю земли. Окончательно этот храм был разрушен землетрясением 1852 года, а в начале нашего века тщательно реставрирован. От всех остальных греческих храмов этот храм отличается своей полнейшей несимметрией. Он состоит из прямоугольного здания (рис. 34) и трех портиков, связанных с ним, имеющих различную жесткость и различную глубину заложения фундаментов. Грунты под этим сооружением неоднородные, он стоит близко к обрыву, что усложняет волновую картину сейсмического воздействия. Кроме того, он частично опирается на фундаменты более древнего храма Гекатомпедона, разрушенного во времена персидских войн. Ни о какой симметрии и равномерном распределении масс и жесткостей здесь говорить не приходится. Почему так произошло? Допустить, что древние строители, начавшие проектировать и строить Эрехтейон всего в 421 г. до н.э., не знали о требовании симметрии к уникальным общественным зданиям, мы не можем. Оказывается, что такой сложный асимметричный храм пришлось построить, чтобы удовлетворить замысловатым исходным требованиям в данном месте. Эрехтейон должен был включить святилище Афины, где хранилась древнейшая на Акрополе святыня—деревянная статуя Афины, по преданию упавшая с неба; святилище Посейдона с местом его удара трезубцем, откуда вытекал соленый источник, режим его нарушать было нельзя, как это сделали бы мы; святилище с древним оливковым деревом, выращенным Афиной для своего города; клетку священного змея и могилу Кекропса—“древнего человека”—и что-то еще, такое же важное. Все это надо было связать единым архитектурным обликом, а так как все святи-



(a)



(б)

Рис. 34. Несимметричный Эрехтейон: (а) общий вид; (б) план

лица были расположены на разных ритуально-неприкосновенных уровнях скалы, то и пришлось построить такое сложное с точки зрения компановки сооружение. Кстати, есть гипотеза, что этот храм не достроен, а то он был бы еще сложнее.

Таким образом, строители Эрехтейона были вынуждены сознательно нарушить в силу чрезвычайных обстоятельств основные принципы сейсмостойкого строительства: симметрию и равномерное распределение масс и жесткостей. Остальные конструктивные приемы, направленные на обеспечение сейсмостойкости зданий, применявшиеся тогда, были ими использованы, больше того, они даже пытались компенсировать вынужденную несимметрию. Посмотрим, что было сделано.

Прежде всего отметим, что при застройке плоскогорья афинского Акрополя строителям приходилось считаться с неровным характером поверхности скалы. Все сооружения, построенные на афинской скале—и Парфенон, и Пропилеи, и, конечно, Эрехтейон,—изолированы от непосредственного соприкосновения с ней с помощью насыпных уплотненных грунтов, что обеспечивает этим сооружениям однородность грунтового основания. Каменный фундамент Эрехтейона не представляет сплошного массива, так как имеются индивидуальные фундаменты под стены и колонны. При этом наиболее обширные и высокие фундаменты находятся под восточным и южным портиками, где скала имеет резкое понижение, и соответственно имеется опасность сползания сооружения. Основное же антисейсмическое мероприятие Эрехтейона представляет каменная кладка, состоящая из тщательно пригнанных блоков, уложенных насухо с перевязкой швов и соединенных Т-образными скобами и пиронами, залитыми свинцом (рис. 35). Чтобы не было скольжения при землетрясении, горизонтальные поверхности блоков сделаны шероховатыми, а для точности пригонки блоков по краям они имеют гладкие полоски. Точно так же образованы вертикальные поверхности, что обеспечивает кладке высокий коэффициент трения. Блоки-плиты трех-

ступенчатого стереобата (основание под колонны и стены) и цоколя, уложенные плашмя друг на друга, организуют нижнюю обвязку храма, которая имеет замкнутый контур. В основании стена сложена из больших блоков высотой до 1,0 м, длиной до 1,3 м при толщине 0,65 м. Выше в стене идут продолговатые мраморные блоки, уложенные в один ряд и связанные скобами и пиронами, как показано на рис. 35.

В планировке Эрехтейона учтено, что его западная часть (рис. 34) тяжелее восточной, и поэтому пристроенные с двух сторон к западной части портик кариатид и северный портик служат как бы контрфорсами, удерживая эту тяжелую часть храма в случае землетрясения. Кстати, некоторые исследователи отмечают, что западная стена по своим качествам хуже других стен Эрехтейона.

Эрехтейон рассмотрен для того, чтобы показать ту полную, можно сказать античную, несимметрию, которая воплощена в конструкции данного храма. Даже пристроенные портики Северный и Южный (кариатид), которые кроме эстетического и культового назначения являются контрфорсами, и те не имеют общей оси симметрии, что естественно при землетрясении вызывало дополнительные крутящие моменты в конструкции храма. Надеюсь, данный пример поможет запомнить современному строителю, что нельзя строить несимметричные здания в сейсмически опасных районах, так как высококачественный Эрехтейон—сооружение уникальное, и им вряд ли удастся построить второй такой. Обсуждать конструкцию перекрытия Эрехтейона не будем. Она такая же, как у остальных греческих храмов,—деревянно-каменная. Перекрытие, типичное для греческих храмов, рассмотрим на каком-нибудь другом примере.

Рассказывая о греческих храмах, совершенно невозможно не рассмотреть Парфенон—одно из самых совершенных произведений мирового зодчества. Построенные на афинской скале в архаическую эпоху, храмы и общественные здания были разрушены персами в

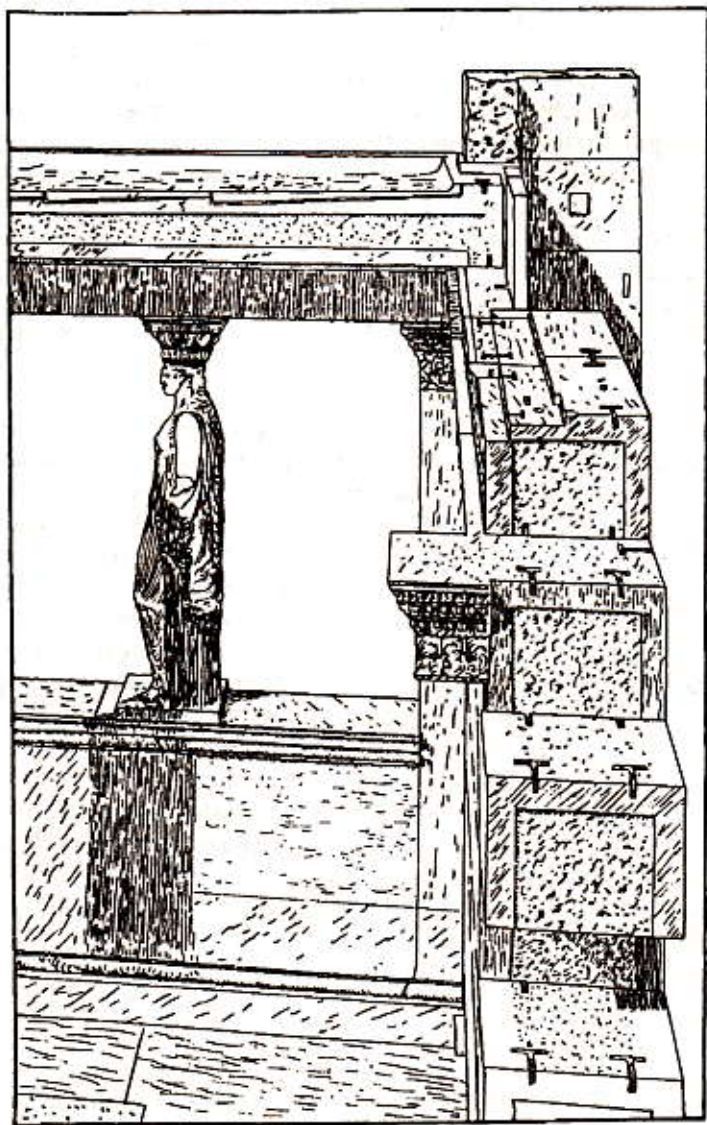


Рис. 35. Пример крепления каменных блоков в портике карнатид

480-479 гг. до н.э. После их изгнания, при легендарном Перикле, возглавившем афинскую рабовладельческую демократию в период ее расцвета, началось восстановление Акрополя. Широко задуманная реконструкция проводилась под руководством самого Фидия, гениального скульптора и архитектора того времени. Важнейшие памятники ансамбля Акрополя: Парфенон—главный храм Афины Девы, построенный в 447-432 гг. до н.э.; Пропилеи—парадные ворота, возведенные в 437-432 гг. до н.э.; гигантская статуя Афины Воительницы и, наконец, Эрехтейон, о котором уже было рассказано. Из всех этих оригинальных сооружений рассмотрим еще только Парфенон.

Башкиров А.С. дает такую характеристику качеству работ этого храма: "Строительная техника Парфенона отличается поразительной тщательностью и превосходной чистотой в деталях, обработка каждого отдельного блока проведена с изумительной точностью. Каждый блок кладки, где бы он ни находился, говорит о том, что его отделка дана не только ради изящества, а ради железной необходимости способствовать конструктивной устойчивости сооружения... Равномерное и четкое распределение масс всего сооружения при стройности вертикалей придает зданию легкость и твердую уверенность в устойчивости." Кстати, несколько слов о проф. Башкирове А.С., который очень много сделал для истории сейсмостойкого строительства, поэтому его здесь трудно не упомянуть. Его труды по археологии Северного Причерноморья начали публиковаться еще до 1917 года. Основным же его трудом, мне кажется, является четырехтомник "Антисейсизм древней архитектуры", который выходил в 1945-1948 гг. в трудах педагогических институтов Москвы, Калинин и Ярославля тиражом до 300 экземпляров. Сейчас эти книги—библиографическая редкость и об их авторе мало кто знает, а книги эти уникальны по информативности и интересны по форме. Больше того, известно, что он начал писать такой же фундаментальный труд по антисейсизму средневековья,

но где погиб его архив, неизвестно. Следы Башкирова теряются в Ярославле в 1948 г. Существует легенда, что он предсказал сильное землетрясение в Средней Азии, и оно, к несчастью для него, случилось в 1948 г. в Ашхабаде. Проф. Башкиров был в чем-то обвинен, не то в том, что не предупредил кого следует, не то в том, что из-за него произошло землетрясение, однако с этого времени он исчез, а о его замечательных трудах мало кто знает. Но вернемся к нашим грекам.

Как уже говорилось, подготовке грунтового основания греческие строители придавали огромное значение. Еще до разрушения построек Акрополя персами в 480 г. до н.э. там были начаты подготовительные работы по строительству "Большого храма".

Грунтовое основание под фундамент этого храма было организовано в мощной плотноутрамбованной насыпи, куда позднее вошел и так называемый "персидский мусор"—остатки от разрушенных персами зданий. Гигантская подпорная стена удерживала насыпь, образовавшую территорию, которая была значительно шире, чем требовалось для храма. В этой насыпи строители Большого храма и заложили его фундамент. Строительство шло медленно, и при Перикле храм заново перепланируется, начинается строительство Парфенона в совершенно новых, лучших с нашей точки зрения, пропорциях. Новые строители укорачивают Парфенон по сравнению со старым храмом, но делают его шире. При этом они частично используют старый окрепший фундамент, сдвинув все сооружение совершенно разумно дальше от края скалы. Оставшаяся незагруженной часть старого фундамента со стороны подпорной стенки служит как бы контрфорсом для основания нового сооружения. Строители не рискнули, как сделали бы это мы, поставить Парфенон хотя бы частично прямо на скалу, что вызвало бы неоднородность грунтового основания. Они постарались избежать и узкого ребра скалы, идущего с Запада на Восток параллельно длинной стороне храма. Посадка его на это ребро грозила бы

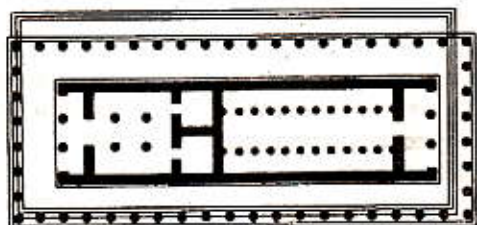


Рис. 36. План Парфенона

разломить храм во время землетрясения. Вот эти-то условия грунтового основания, требования сочетаться с ландшафтом и господствовать над местностью определяли положение Парфенона.

На рис. 36 показан план Парфенона, который представляет собой периптер (храм, окруженный одним рядом колонн) с числом колонн 8×17 и размерами основания примерно $31 \times 69,5$ м. Внешняя колоннада окружает стены внутреннего помещения—так называемой целлы,—имеющего размеры в плане $21,7 \times 59,0$ м. Колонны имеют высоту 10,43 м при диаметре в нижней части 1,905 м и диаметр угловых колонн 1,948 м. Здесь подробно приведены размеры храма для того, чтобы подчеркнуть его пропорциональное соотношение ширины, высоты и длины.

Как видно из плана Парфенона, имеются еще внутренние колонны и поперечные стены, что обеспечивает равномерное распределение масс и жесткостей по всему сооружению, то есть к планировке здания претензий нет.

Существующие повреждения Парфенона говорят о том, что он перенес большое количество землетрясений и, по-видимому, сохранился бы в целости до наших дней, если бы не взрыв от пушечной бомбы в 1687 г. порохового склада, который был устроен в нем турками. Этот взрыв вырвал центр здания и разбросал колонны продольных фасадов. То, что Парфенон находится в развалинах, позволяет в деталях изучить те малые конструктивные приемы, что применяли древние греческие строители в борьбе за сейсмостойкость своих зданий.

Основные строительные материалы Парфенона—это мрамор, бронза в штырях и пилонах, свинец для их заливки. Свойства этих материалов и используются для создания сейсмостойких конструкций. Чтобы не было свободного проскальзывания одной каменной детали по другой, во-первых, устраивается специально повышенная шероховатость их постелей, даже в барабанах колонн видна резкая, нарочитая шероховатость, во-вторых, ни один блок кладки в фундаменте, в стене, в балках перекрытия, даже в блоках наличников дверей не устраивается без употребления пионов и штырей, назначение которых—заменить раствор. Но раствор придал бы узлам жесткость, а свинцово-металлические связи обеспечивают податливое соединение между элементами конструкции.

Рассмотрим интересную для нас конструкцию колонн греческих храмов. В более древние времена колонны вырубались из огромных монолитов и делались цельными. Позднее, из соображения простоты изготовления, а может быть и с точки зрения сейсмостойкости, колонны стали делать составными из отдельных цилиндрических блоков, соединенных между собой силой трения и центрально расположенными штырями. Так как составная колонна являлась более гибкой, чем монолитная, то она могла служить в некотором роде сейсмоизолятором для массивного перекрытия. Но, к сожалению, как чисто сейсмоизоляторы в целом сооружении составные колонны работать не могли, так как были связаны балками в верхнем уровне в единое целое с более жесткими стенами.

В результате большие горизонтальные сейсмические нагрузки, возникавшие от большого веса перекрытия, почти целиком передавались на более жесткие стены целлы, разрушая их в первую очередь, а составные колонны в силу своей гибкости эти горизонтальные нагрузки получали частично. Когда же разрушались стены целлы и обрушивались опиравшиеся на них части перекрытия, оставались гибкие колонны, поддерживающие



Рис. 37. Остатки храма образовали сейсмоизолированную систему

массивные блоки. Теперь системы колонн работали как сейсмоизоляторы. Подтверждение этому—сохранившиеся до нашего времени многочисленные фрагменты греческих храмов, состоящие из групп колонн и лежащих на них массивных частей перекрытия. Такие фрагменты раскиданы везде, где звенел резец греческого строителя: в самой Греции, на Сицилии, в Малой Азии, в Иране. Как пример на рис. 37 показаны руины храма Посейдона, относящиеся к V в. до н.э. и белеющие на 60-метровой высоте на мысе Сунион, открывающем выход в Эгейское море. Колонны Парфенона также являются составными из отдельных цилиндрических барабанов. Соединялись эти барабаны между собой с помощью специально устроенных шероховатых поверхностей и бронзовыми прямоугольными штырями, заложенными в их центре. Все сохранившиеся от взрыва колонны Парфенона несут связывающие их в отдельные группы остатки перекрытий. Эти изолированные группы, состоящие из фундаментов, гибких колонн и массивных балок перекрытия, являются

по сути дела системами сейсмоизоляции. Теперь поговорим о каменных балках, работающих на изгиб.

Боясь разрушения каменных несущих балок, уложенных на внешние колонны, греческие зодчие до минимума в Парфеноне уменьшили их пролеты, сделав от 2,47 м до 2,51 м. При этом для облегчения монтажа и повышения надежности этих балок их делали составными из трех плит, поставленных на ребро, так как в этом случае разрушение одной плиты не вело к полному обрушению всей несущей конструкции. Кстати, здесь же любопытно отметить, что в более древних храмах балки составлялись из нескольких плит, уложенных плашмя, что явно снижало их прочность. Потом разобрались и стали устанавливать плиты на ребро, как в Парфеноне. Умели же греки наблюдать и учитывать опыт! Владея камнем не только в смысле его обработки, но и хорошо представляя его прочностные и деформационные свойства, греки учитывали даже такую, казалось бы, мелочь, как возможность соударения плит, составляющих балку, во время землетрясения. Обладая хрупкими свойствами, такие каменные плиты могли треснуть. Чтобы избежать этого, при установке плит на ребро они укладывались с зазором. Теперь несколько слов об устройстве кровли Парфенона. Это не наш вопрос—разбирать подробно устройство и элементы кровли дорического ордера. Для нас здесь важны два момента. Все мраморные и деревянные элементы перекрытия тщательно друг к другу пригнаны и соединены между собой различными каменными зацепами, а также металлическими деталями на свинце. Это первое. Второе—вся кровля храма со всеми этими составными балками-архитравами, метопами, триглифами, фризами, деревянными стропилами с обрешеткой и уложенной на них мраморной черепицей имела огромный вес. Совершенно ясно, что с точки зрения наших принципов сейсмостойкости первый фактор положителен, второй отрицателен. Во всяком случае, древние греки явно стремились применять те строительные приемы, которые повышали сейсмостойкость их сооружений. Вот пример: внутри

целлы Парфенона имелись тонкие колонны почти той же длины, что и наружные. Чтобы укоротить их свободную длину, боясь, что длинные и тонкие колонны потеряют устойчивость, строители их сделали двухъярусными, установив между ними балочную связь в уровне чуть выше середины их общей высоты. Это обеспечило им устойчивость. Но в общем-то все эти конструктивные ухищрения, направленные на повышение сейсмостойкости греческих сооружений, часто оказывались бесполезными по сравнению с отрицательным влиянием на их сейсмостойкость больших весов, сосредоточенных в уровне перекрытий. Этот огромный вес и нес разрушение греческим храмам. Сам Парфенон, судя по повреждениям его отдельных деталей, перенес много землетрясений. Только землетрясения могли его раскачать так, что происходили многократные соударения каменных блоков между собой и соответственно появились отколы в элементах вдоль вертикальных швов. Трещины в плитах пола также говорят о пробежавших здесь сейсмических волнах.

Известно, что многие греческие храмы разрушили землетрясения. В каком состоянии выстоял бы сам Парфенон, это идеальное воплощение греческого строительного искусства, до наших дней, трудно сказать. Как уже говорилось, его разрушил взрыв турецкого порохового склада, размещавшегося в нем.

Подводя итоги того, что было рассказано о древнегреческих храмах и их сейсмостойкости, можно сделать вывод, что с точки зрения наших принципов сейсмостойкости у этих храмов есть два недостатка: большие высоко расположенные веса и неоднородная жесткость конструкции, выражающаяся в большой разнице жесткостей между колоннами и стенами целлы.

Познакомившись со стандартными антисейсмическими приемами древних греков, давайте поищем случаи, когда им приходилось искать нестандартные решения, проверим их сообразительность.

Наиболее распространенной формой греческих храмов были прямоугольные здания с одним рядом наруж-

ной колоннады, или так называемые прямоугольные периптеры. Наряду с ними в меньшем количестве, но существовали круглые периптеры и другие сооружения. Уже из гомеровского эпоса мы знаем, что во дворце у Одиссея стоял фолос, что значит круглый дом. На Пелопоннесе в ансамбль святилища Асклепия входил фолос, храм Фимелы, построенный Поликлетом Младшим в 360-330 гг. до н.э. Это круглое в плане здание диаметром около 29 м было окружено снаружи двадцатью шестью колоннами дорического ордера и имело внутри четырнадцать колонн коринфского ордера (рис. 38). Назначение этого здания не выяснено. С точки зрения сейсмостойкости планировка этого здания более совершенна, чем прямоугольного. Оно имеет, можно сказать, идеальную симметрию. Фундаменты представляют собой глубоко заложенные замкнутые кольца, отдельные под внешние колонны, под стены и под внутренние колонны, что еще раз доказывает, что греки проектировали свои конструкции податливыми. Под центральным полом имеется ряд концентрических стен, сохранившихся от более древней постройки. При этом фундаменты внешних колонн и стены имеют общую по верху их обвязку. В результате здание разбито как бы на два независимо деформирующихся кольца. Внутреннее, состоящее из внутренней колоннады, обвязанной балкой поверху и фундаментом понизу, и внешнее, составленное из также обвязанных поверху и понизу стены и внешней колоннады. Каменные плиты, уложенные на внутреннюю и внешнюю стены колоннады, имеют отверстия, так называемые кессоны, значительно их облегчающие. По предположениям кровля также была легкой деревянной или вообще ее не было. До наших дней это здание не дошло, и, что его разрушило, я не выяснил. Но с точки зрения сейсмостойкого строительства того времени оно практически лишено недостатков.

Интересно, что уже при строительстве древнейших своих храмов греки понимали важность устройства прочного основания под них. На том же Пелопоннесе в Олим-

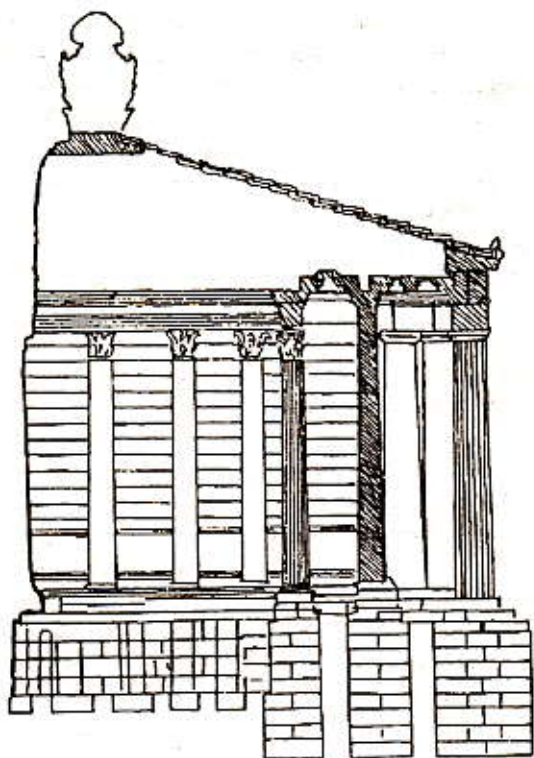


Рис. 38. Раздельные фундаменты храма Фимелы в Эпидавре, IV в. до н.э.

пии был построен храм Геры (Гереон), который датируется VIII веком до н.э. Этот храм строился на плохих грунтах, образовавшихся в результате намыва горной рекой. В результате коренной грунт залегал глубоко, а поверхностные слои почвы были глинистыми плавучими с близким залеганием к поверхности грунтовых вод. Кроме того, было известно, что эти места отличались часто повторяющимися землетрясениями. Так Гереон был поставлен на специальную искусственную платформу, построенную из часто забитых свай, пространство между ко-

торами было заполнено щебнем и речной галькой. На эту площадку были уложены каменные плиты цоколя храма, а уже на этих плитах были возведены стены храма из сырцового кирпича с деревянным каркасом. Колонны, балки и несущие части кровли были первоначально построены из дерева. Крыша была покрыта глиняной черепицей. Несмотря на недолговечный материал, из которого был построен Гереон, этот храм простоял более тысячи лет, до IV в. н.э. Это при частых и заботливых ремонтах с заменой деревянных колонн на каменные.

А вот другой храм IV века до н.э., построенный в честь Афины на Пелопоннесе в столице области Аркадии—Тегее, был разрушен из-за несоблюдения строительных антисейсмических приемов того времени. Его фундаменты были заложены в слабых аллювиальных отложениях чрезвычайно неглубоко и целиком сразу под весь храм, не усиливая те места, где передавались большие вертикальные нагрузки. При этом только часть камней имела между собой соединение металлическими скрепами, поэтому швы кладки всюду разошлись из-за скольжения блоков во время землетрясения. При разрушении упала верхняя часть здания, оставив глубокие впадины в каменном полу. Тут явно строители не использовали богатый опыт древнего антисейсмического строительства. Древние вели себя так же, как мы, игнорируя наследие прошлого и не учитывая опыт настоящего.

Тут вспоминается такой случай. За несколько дней до Великого Армянского землетрясения 1988 года в Ашхабаде отмечалось сорокалетие Великого Ашхабадского землетрясения. Собралось довольно много специалистов по сейсмостойкому строительству, в основном из Средней Азии. И вот там на этом представительном форуме несколько раз выступал местный специалист. Это был крик души. Он хотел обратить внимание на вопиющий факт и ждал поддержки от собравшихся. А дело было в следующем. В это время в Ашхабаде строилось большое здание универсама, и было известно, что часть здания стоит на плотных коренных грунтах, а вторая половина

опирается на наносные грунты по берегу небольшой речушки, погребенной под этими наносами. Что грунты резко неоднородны, было видно из того, что рельсы у монтажного башенного крана приходилось еженедельно с одной стороны приподнимать, иначе из-за осадок туда съезжал этот кран. Так же неравномерно оседало здание универмага, и в нем уже при строительстве появились трещины. Ни к чему хорошему в будущем это не могло привести в таком сейсмоопасном районе, но этот факт, кажется, так и проигнорировали. Глобальный вывод из этого небольшого факта такой. Однородной конструкцией должно быть не только здание, но и грунты под ним, иначе надо применять специальные мероприятия.

О различных чудесных сооружениях греков, в которых воплощены в совершенной законченной форме замыслы свободно мыслящих всесторонне развитых людей, можно рассказывать долго. Более 23 столетий прошло со времени построения Эпидаврского театра под руководством Поликлета Младшего. Но до сих пор он приводит в изумление своей сохранностью, несмотря на то что эту конструкцию подстилают мягкие грунты; он расположен в ложе, вырытом на склоне холма, и район отличается высокой сейсмичностью. Довольно плоская и протяженная конструкция театра, которая в плане имеет форму, немного большую половины круга, до сих пор не имеет провалов, связанных с осадкой грунта, или выпучиваний, вызванных оползнями при землетрясениях. Все это объясняется продуманностью и тщательным выполнением конструкции. С современных позиций сверхэкономного строительства за гранью разумного антисейсмических мероприятий в конструкции этого театра выполнено более чем достаточно. Прежде всего зрительный зал имеет со всех сторон общую обвязку. По внешней окружности это крепкая стена, а вдоль боковых стен зрительного зала устроены мощные подпорные стенки. Тщательно подготовлено грунтовое основание под всю конструкцию театра. Массивные блоки кладки соединены горизонтальными и вертикальными скобами и штырями.

И даже хорошо организованные водостоки и ливнеспуски способствуют сейсмостойкости всей конструкции театра.

Не будем дальше перечислять древнегреческие сооружения и говорить об их феноменальных достоинствах, об этом много уже написано, тем более что в нашу задачу это не входит. Наша задача заключается только в том, чтобы показать те конструктивные мероприятия, которые были призваны обеспечить сейсмостойкость древнегреческим сооружениям. Давайте назовем эти мероприятия, пользуясь тем ограниченным количеством примеров, которые приведены выше.

Прежде всего антисейсмическим мероприятием надо считать то, что древние греки в наземных сооружениях применяли только балочно-стоечные конструктивные решения, отказавшись от всякого рода создающих распор элементов типа арок и куполов, в то же время утяжеляющих всю конструкцию.

Далее. В подавляющем числе случаев греческие храмы имеют симметричное расположение масс в соответствии с их геометрической симметрией. Они или прямоугольные, или иногда круглые.

Они имеют антисейсмические пояса в нижнем и верхнем уровнях. Нижняя обвязка организуется в виде стилобата из крупных блоков твердого камня, связанных металлическими скрепами. На стилобат непосредственно опираются колонны. Верхняя обвязка, можно сказать, двойная. Она выполнена в виде связанных скобами архитравов, балок опирающихся на колонны, и единой пространственной конструкции кровли. В результате получается замкнутая каркасная система.

Следующее антисейсмическое мероприятие заключается в том, что вся конструкция состоит из отдельных тщательно пригнанных каменных блоков, соединенных металлическими скобами и штырями, залитыми свинцом. Соприкасающиеся поверхности блоков тщательно обработаны с целью обеспечить повышенное трение. Тщательная пригонка блоков придает всей кладке повышенную прочность, предотвращая местные концентрации

напряжений и соответственно разрушения, а повышенное трение между каменными блоками снижает амплитуду колебания всего сооружения. О роли металлических скреп, залитых свинцом, уже говорилось.

Ко всему этому надо добавить тщательное уплотнение грунтового основания и устройство фундаментов в виде отдельно стоящих элементов под вертикальные опоры. Неравномерные осадки в таких податливых системах не вызывают напряжений.

Можно назвать и другие мелкие антисейсмические мероприятия. Усиление углов зданий, придание для устойчивости колоннам легкого наклона внутрь и кое-что еще. Но уже из сказанного ясно, что древние греки чрезвычайно серьезно относились к сейсмической опасности и основные законы сейсмостойкости они понимали вполне на уровне.

Теперь давайте побываем в некоторых греческих колониях, где иногда очень удачно сочетались местные строительные приемы и греческие традиции. Особенно, конечно, обратим внимание на Причерноморские греческие города, часть из которых теперь находится на территории нашей страны [11, 13-15].

Греческие колонии

Многочисленные колонии были заложены различными городами материковой Греции в Сицилии и на юге Италии. Расположенный на восточном берегу Сицилии город Сиракузы стал центром всей западной части греческого мира. Здесь же находились и другие крупные города, такие, как Посейдония, Селинунт, Акрагант. Все эти колонии получили название Великой Греции, которая в VII-V вв. до н.э. достигла наивысшего экономического расцвета. Огромные богатства, накопленные здесь, и предприимчивый характер представителей различных греческих племен, приплывших сюда, сказались на архитектуре этих районов. Строились здесь в основном храмы, очень похожие на храмы материковой Греции.

Большинство из этих многочисленных храмов, уцелевших после различных войн, были разрушены землетрясениями. Но все-таки 3-4 храма дошли до нас в хорошем состоянии, что говорит о достаточно высокой их сейсмостойкости.

Я хочу обратить ваше внимание на две особенности здешней архитектуры. Первая—преимущественное применение тяжелого дорического ордера. Этот “мужественный” ордер, по-видимому, лучше соответствовал эстетическому вкусу местных жителей. Более того, использовался дорический ордер в преувеличенно утяжеленных формах. Вторая особенность—гигантизм строящихся сооружений. На рис. 39 показаны фасад и план храма Аполлона, построенного в VI в. до н.э. в Сиракузах. Этот самый древний из сицилийских периптеров выполнен из песчаника. Как видно из рисунка, пропорции его необычайно тяжелы. Отношение высоты колонны к ее нижнему диаметру равно 4, а высота антаблемента (весь набор горизонтальных элементов перекрытия) была равна $1/3$ всей высоты ордера. Обратите также внимание на план храма. Здесь видно, что со стороны главного входа было устроено два ряда колонн. Это могло нарушить симметрию распределения жесткостей относительно одной из осей храма. Есть здесь еще одна немаловажная для нас деталь: для соединения каменных блоков чаще применялись деревянные скрепы, чем металлические, а иногда и вообще их не ставили.

Теперь о гигантомании, которая, разумеется, снижает сейсмостойкость сооружений. В Селинунте в 520 г. до н.э. было начато строительство одного из самых больших храмов Греции. Этот храм был посвящен Аполлону. Он по своим размерам уступал только храму Зевса Олимпийского в Акраганте, называемого храмом Гигантов, и храму Артемиды в Эфесе. Последний—чудо света, о котором мы еще не говорили. Чтобы легче было представить величину этих храмов, приведу некоторые размеры. Храм Аполлона имел размеры в плане по

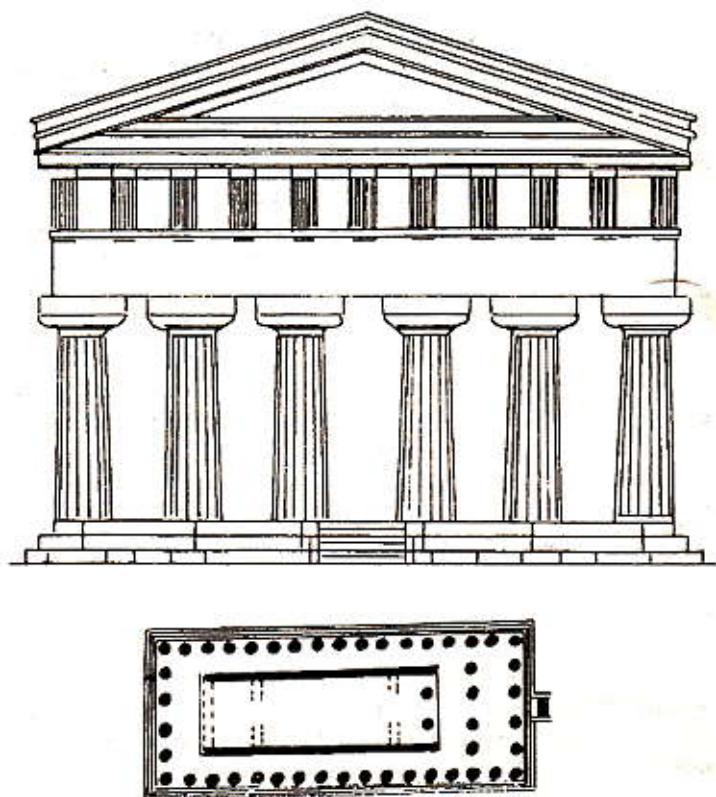


Рис. 39. Гигантомания в храме Аполлона, фасад, план

стилобату 50×110 м, высота колонн портика 16,27 м, их диаметр был вверху 1,9 м, внизу 3,40 м. Мысленно поставьте человека рядом с этой колонной, и, может быть, вам удастся вообразить размеры этого храма. Колонны храма Зевса в Акраганте были еще больше, их высота 16,83 м, диаметр внизу 3,48 м. Для сравнения даю размеры колонн Парфенона: высота 10,43 м, диаметр от 1,90 до 1,48 м. Самые же высокие каменные колонны строились в Иране, правда, нагрузки вертикальные были там значительно меньше. Высота колонны в Ападане

Ксеркса в Персеполе была 19,5 м, диаметр 1,58 м. В ападане Артаксеркса II в Сузах высота колонны была 20,0 м, диаметр 1,57 м. Диаметры двух последних колонн по отношению к их высоте были, конечно, маловаты, принимать такое соотношение между диаметром и высотой колонны для сейсмически опасного района рискованно. Колонны в Карнакском храме еще выше—20,4 м, но там другое отношение к диаметру.

Если мы теперь отправимся в противоположную сторону—на восток в греческие колонии, расположенные по западному побережью Малой Азии и на прилегающих островах, то увидим, что с сейсмостойкостью сооружений здесь было еще хуже. От всех многочисленных сооружений вплоть до IV в. до н.э. не сохранилось не только ни одного целого, не осталось даже колонн и стен, можно обнаружить от них разве что обломки и фундаменты.

Для того чтобы рассказать об особенностях греческих сооружений Малой Азии, приведу несколько примеров их конструктивного решения. Нам еще осталось рассмотреть четыре чуда света. Три из них расположены здесь. Их я и использую в качестве демонстрационных примеров.

Четвертое чудо света—храм Артемиды в Эфесе. Строительство этого огромного архаического храма было начато в первой половине VI в. до н.э. и продолжалось 120 лет. Первым архитектором храма был Херсифон из Кносса. Как район Кносса, так и район Эфеса отличались повышенной сейсмической активностью. Место для строительства храма было выбрано неудачно. Решено было построить храм недалеко от устья реки Каистра, где простирались сплошные болота. Не зря архитектор Херсифон предполагал вырыть большой глубины котлован под храм и засыпать его смесью древесного угля и шерсти животных, чтобы создать амортизирующую подушку.

Храм Артемиды представлял собой диптер, т.е. имел два ряда наружных колоннад. Его план показан на рис. 40. Размеры храма по стилобату были 109x55 м. Общее количество мраморных колонн было 127. Их диаметр

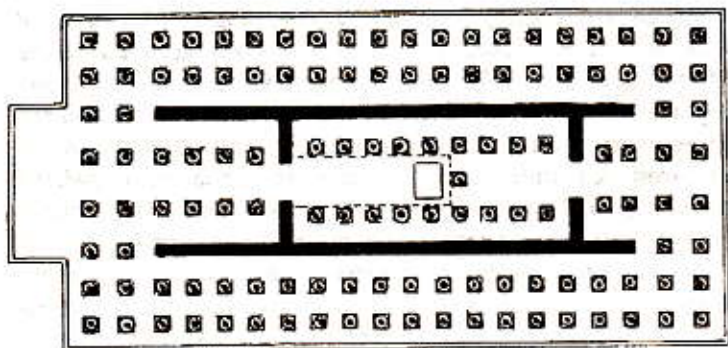


Рис. 40. Храм Артемиды—многоколонное чудо света

менялся от 1,60 до 1,05 м. Высота колонн была предположительно 18 м. Из этих размеров видно, что колонны были чрезвычайно стройными. Вообще из этого множества колонн создается иллюзия связи между диптерами-храмами Малой Азии и многоколонными храмами Египта. На самом деле между ними имеется существенное отличие. Часто поставленные толстые египетские колонны обеспечивают всему зданию устойчивость при землетрясении. Этого нельзя сказать о греческих тонкоколонных храмах с пролетами между колоннами более 6 м. Такие большие расстояния между колоннами говорят о том, что для перекрытия этих пролетов широко применялось дерево. Этим, как известно, для своего прославления воспользовался Герострат и в 356 г. до н.э. сжег храм Артемиды. После этого храм несколько раз восстанавливался в прежнем виде. Большой вред храму нанесло разграбление его готами в 263 г. до н.э. Но главный недостаток храма заключался в болотистой почве, на которой он стоял. Большие и неравномерные осадки буквально раздирали огромный храм на части, при этом связи между каменными блоками были крайне немногочисленны. Окончательно в конце IV в. н.э. храм был превращен в руины землетрясением. Вновь солнечный свет остатки храма увидели спустя пятнадцать веков,

когда в 1870 г. английский инженер Д.Т. Вуд среди смердящих болот на глубине 6 м откопал остатки храма.

Здесь на побережье Малой Азии в столице КариИ Галикарнасе находится пятое чудо света—в соответствии с нашей нумерацией—гробница царя Мавсола (Мавзолей). Строительство этой гробницы было начато при самом царе и закончено уже после его смерти в 353 г. до н.э. (рис. 41). Его размеры в плане 66x77,5 м, высота около 46 м. По замыслу это огромное сооружение, в котором сочетались элементы греческой и восточной архитектуры, должно было одновременно служить гробницей и храмом.

Разберем конструкцию гробницы царя Мавсола. Основанием ей служили плотные полускальные грунты. В этих грунтах были вырыты глубокие рвы, в которые были заложены большие квадратные плиты фундаментов. Далее шел прямоугольный облицованный мрамором высокий цоколь сооружения. Есть предположение, что внутри весь цоколь был заполнен сырцовым кирпичом, т.е. была образована под все сооружение мягкая подушка. Первый этаж являлся собственно гробницей. Он был окружен глухой стеной из мраморных тщательно пригнанных блоков. Блоки были уложены с соответствующей перевязкой швов и соединялись между собой металлическими скобами. Перекрытие над первым этажом кроме стен поддерживали еще пятнадцать мощных колонн дорического ордера. Второй этаж гробницы являлся собственно храмом. Это был самый настоящий периптер с числом колонн 9x11 легкого ионического ордера. Стены целлы храма были выполнены также из мраморных блоков. Внутри целлы находились еще колонны, которые служили как бы продолжением колонн первого этажа. Колонны и стены целлы, а также колонны внешней колоннады поддерживали тяжелую кровлю всей гробницы, выполненную в виде 24 ступенчатой пирамиды. Все это венчала мраморная скульптура четверки коней, запряженных в колесницу.

С точки зрения сейсмостойкости у данного сооружения два недостатка: большие размеры и, главное, высоко

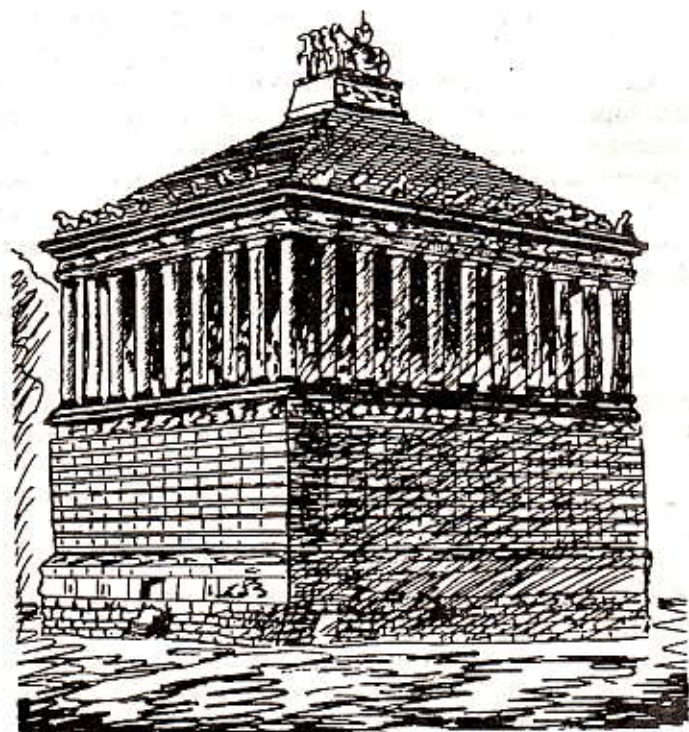


Рис. 41. Мавзолей в Галикарнасе—еще одно чудо света

поднятая тяжелая пирамидообразная кровля. Однако еще в двенадцатом столетии мавзолей стоял. В тринадцатом столетии он был разрушен землетрясением. И окончательно был в XV столетии уничтожен родосскими рыцарями, которые использовали его камни как строительный материал для крепостной стены.

Недалеко от Галикарнаса расположен остров Родос, на котором стояло шестое чудо света—гигантская статуя Гелиоса, называемая Колоссом Родосским. У греков был обычай по поводу различных событий или в честь богов ставить огромные статуи. Так, статуя бога Зевса, изготовленная скульптором Лисиппом, была высотой 20 м. Его

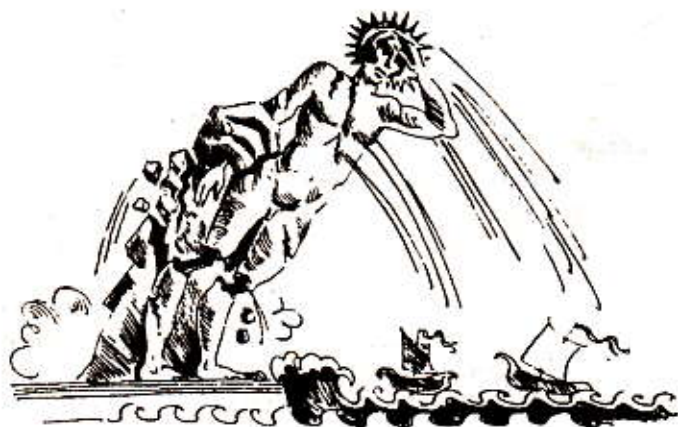


Рис. 42. Колосс Родосский—уникальная строительная конструкция

ученик Харес из Линда изготовил по заказу жителей Родоса самую высокую статую высотой порядка 35 м (рис. 42). Строительство Колосса продолжалось 12 лет и было закончено в 276 г. до н.э., на него использовано 13 т бронзы и 7,8 т железа. Простояло это замечательное сооружение всего 56 лет. В 220 г. до н.э. во время сильнейшего разрушительного землетрясения оно рухнуло, у Колосса подломились ноги.

Конструкция Колосса выполнена так. В глубине постамента статуи было заложено три каменных столба, служившие опорой всему сооружению. Столбы эти были сложены из четырехугольных каменных плит, скрепленных между собой полосами железа. Все три каменных столба были объединены в единый каркас, а уже к ним крепились с помощью металлических связей бронзовая оболочка, которая была толщиной всего 1,5 мм. Два каменных столба были заложены внутри ног Колосса, а третий столб был спрятан в свисающих складках плаща. От столбов из тех мест, где прилегали друг к другу каменные плиты, во все стороны расходились металлические стержни. К наружным концам этих стержней, как к

спицам колеса, прикреплялись железные обода нужного размера и формы. А уже к этим ободам и крепились бронзовая оболочка статуи.

Как видите, все было сделано довольно продуманно и мастерски. Но чего-то не хватило, чтобы вся конструкция могла противостоять землетрясению. Может быть, из-за недостаточно прочного основания произошли неравномерные осадки опор статуи, а скорее всего высоко расположенные массы вызвали такие усилия в ногах Колосса при землетрясении, что они не выдержали и подломились. Было сделано несколько попыток восстановить Колосс Родосский, но все они не увенчались успехом. Обломки Колосса пролежали на земле более тысячи лет, пока арабы, захватившие Родос в 997 г., не продали их одному купцу, который и вывез их на 900 верблюдах.

Чтобы больше к этому не возвращаться, давайте разберем здесь же последнее, седьмое чудо света—храм Зевса в Олимпии. Вернее, чудом света является не сам храм, а статуя Зевса работы Фидия, заключенная в нем. Эта статуя была изготовлена из золота и слоновой кости. Сам же храм, самый большой на Пелопоннесе, был выполнен из твердого местного известняка, покрытого тонким слоем прекрасной белой мраморной штукатурки.

Для нас с вами рассмотрение этого последнего чуда света является просто поводом для демонстрации конструкции храма строго дорического стиля. Он был сооружен в 460-450 гг. до н.э. Размеры в плане 27,5x64 м. Число колонн 6x13. Их высота 10,43 м. Но, главное, посмотрите на разрез храма, показанный на рис. 43, и на разрез антамблемента, приведенный там же. Прежде всего сразу видно по отдельно стоящим фундаментам под каждую вертикальную несущую конструкцию, что мы имеем здесь дело с балочно-стоечной системой. К сожалению, кажется, плиты, из которых собирались фундаменты, были тщательно притерты и связаны между собой и, следовательно, не могли проскальзывать друг относительно друга во время землетрясения. Далее обратите внимание на несущие каменные балки-архитравы,

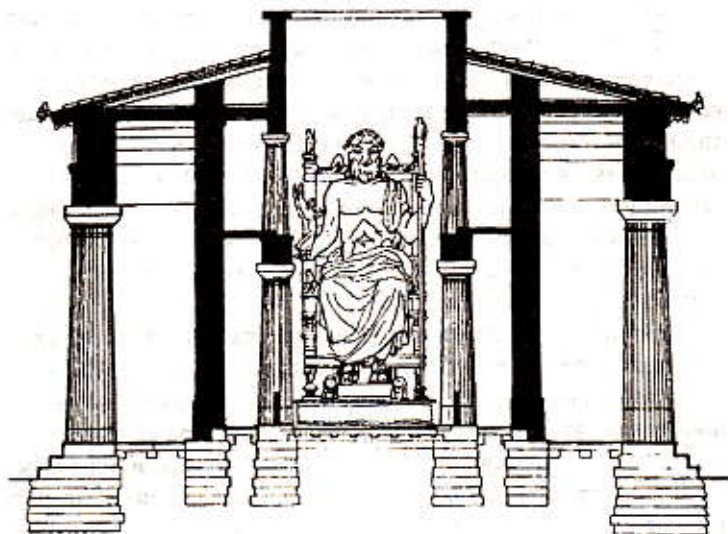


Рис. 43. Храм Зевса, построенный на плохих грунтах

которые составлены из трех, поставленных на ребро плит. Как здесь тщательно пригнаны друг к другу детали. Продуманность и точная предназначенность каждой детали видны и во всем храме. На рисунке видны также некоторые деревянные детали кровли.

Далее посетим еще один обширный район распространения греческих колонистов—Северное Причерноморье. Почти тысячу лет—с VI в. до н.э. по IV в. н.э.—здесь существовали такие античные государства, как Ольвия, Херсонес, Боспор.

Город Ольвия был основан в начале VI в. до н.э. выходцами из Милета в устье двух больших рек—Гипаниса (Буга) и Борисфена (Днепра)—и сразу занял ведущее экономическое положение на северо-западе от Понта Евксинского (Черного моря). Уже в IV в. до н.э. в Ольвии были возведены мощные оборонительные стены и башни из прямоугольных каменных блоков, торговые сооружения, храмы и жилые здания. До нашего времени

от этих сооружений сохранились в лучшем случае основания стен и фундаменты. Рассказать о чем-то новом и интересном для нас в этих сооружениях я не могу, все как обычно, а вот фундаменты у них самые необычные, таких мы еще не встречали. Город строился на речных отложениях в условиях достаточно высокой сейсмичности Причерноморья, поэтому местные строители начали применять слоевые фундаменты. Практически весь город, включая жилые здания богатых людей, был построен на этих слоевых фундаментах.

Техника устройства слоевых фундаментов была следующей. Прежде всего копался котлован под сооружение, так чтобы были пройдены наносные слои грунта и чтобы добраться до коренных плотных пород. Кроме того, как и положено, котлован рылся такой глубины и ширины, чтобы соответствовать строящемуся сооружению. На дно котлована строго горизонтально насыпался слой золы, иногда с углем, толщиной от 5 до 15 см. Поверх слоя золы, предварительно смоченного и утрамбованного, насыпался слой глины толщиной 10-25 см и также утрамбовывался. Прослойки золы и глины чередовались до требуемой высоты фундамента. Через некоторое время соли, находившиеся в золе, пропитывали глину, при этом шел процесс кристаллизации. В результате образовывался прочный монолитный фундамент, способный выдержать большие нагрузки от крепостных стен. Особой прочностью отличались слоевые фундаменты под ответственными сооружениями. Под храмом Зевса слои фундамента уложены строго горизонтально и имеют толщину: золистые 5-12 см, глинистые 10-18 см. При этом важно, чтобы материал в слоях применялся чистый, без добавок мусора, как это было под жилыми зданиями, где в золе обнаруживаются кости животных и черепки амфор. Чистота материала придает слоевым фундаментам особую прочность. Если в том месте, где закладывается фундамент, встречается яма от ранее существовавшего здесь сооружения, то она освобождается полностью от рыхлой засыпки и фундамент спускается до дна ямы.

Пока известен рекорд глубины заложения слоевого фундамента, равный 4,5 м. Его ширина может достигать от 5,0 до 12,0 м.

Слоевые фундаменты храма Аполлона Дельфиния отличаются еще большим совершенством. Они взяты в обойму из хорошо отесанных, поставленных на ребро облицовочных плит из известняка, укрепляющих стенки котлована, выкопанного в рыхлых грунтах. Естественно, такой фундамент будет отличаться еще большей прочностью, чем фундамент, отлитый просто в мягких грунтах. На рис. 44 показан план слоевого фундамента храма Аполлона Дельфиния. Как и требуется по условиям сейсмостойкого строительства, фундаменты образуют замкнутые контуры, такие же контуры образовывали и стены храма. Из рассмотрения конструкции слоевых фундаментов можно сделать вывод, что древние строители стремились предохранить свои сооружения от неравномерных осадок. При этом хочется обратить внимание на одну любопытную конструктивную деталь сопряжения каменных стен сооружений со слоевыми фундаментами. Между ними устраивалась тонкая пластичная прослойка из глины с мелким щебнем толщиной порядка 5 см. Такая прослойка обеспечивала равномерную передачу нагрузки от стены на фундамент и образовывала как бы скользящий пояс между несущей конструкцией и фундаментом. Кстати, интересно было бы проверить, могли ли сами слои слоевого фундамента проскальзывать друг относительно друга.

Пример. Северная оборонительная стена имела толщину 4,5 м. Ширина слоевого фундамента была значительно больше. На него была насыпана глина, смешанная со щебнем. На этот насыпной слой были уложены четыре плоские каменные плиты, которые и явились основанием для оборонительной стены. Интересная деталь. Под весом стены центральная часть фундамента просела, а края его приподнялись. Это говорит о том, что слоевые фундаменты обладают пластическими свойствами. На рис. 45 показана установка центральной колонны одного крупного

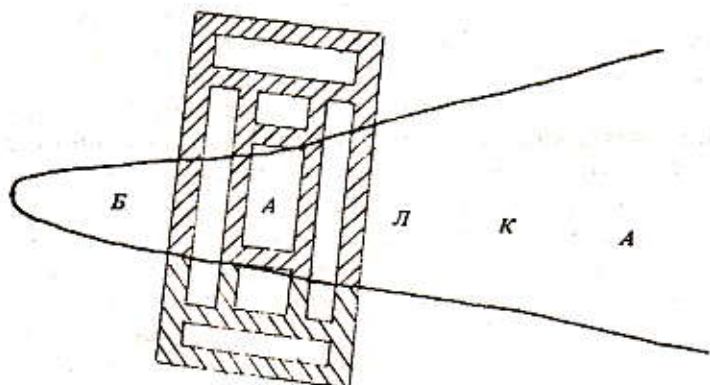


Рис. 44. План слоистого сплошного фундамента под храм Аполлона в Ольвии

общественного здания на слоевой фундамент. Колонна установлена на плиту, которая в свою очередь передаст нагрузку на две плиты, уложенные на слоевой фундамент.

В заключение о слоевых фундаментах хочется сказать следующее. Может быть, они и не работали как скользящие пояса во время землетрясения, но в том, что они являлись прочными и монолитными фундаментами для сооружений, строящихся на слабых грунтах, нет сомнения. Кроме того, их плотная неоднородная структура, конечно, хорошо рассеивала и отражала сейсмические волны.

Прежде чем расстаться с Ольвией, считаю необходимым рассмотреть хотя бы один пример ее погребальной архитектуры. Наземных погребальных сооружений Ольвии до нашего времени не сохранилось, а вот подземных открыто достаточно много. Изучать погребальные сооружения нам интересно тем, что их строили, не жалея средств, для богатых людей и предполагалась их высокая долговечность, поэтому в них воплощались самые передовые идеи в области строительства своего времени.

В 1911 г. Б.В. Фармаковским в кургане была открыта каменная гробница, прямоугольная в плане, с двускатной крышей (рис. 46). Ее размеры в плане 2,75x1,40 м,

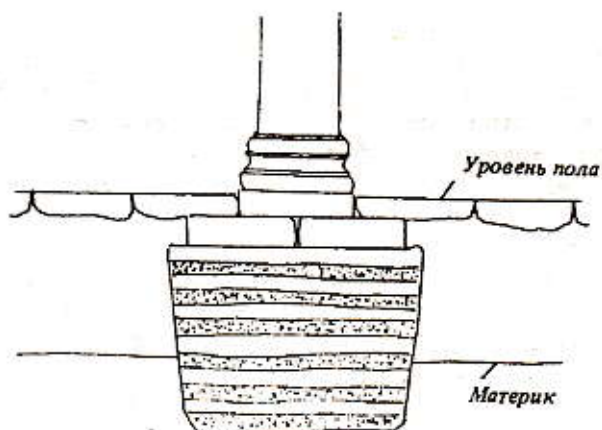


Рис. 45. Слоистый фундамент под колонну

высота стены 1,40 м, высота до замка крыши 2,35 м. Сложен склеп из массивных, тщательно отесанных и плотно пригнанных известковых плит. Стены выложены из четырех рядов плит. Из них первый и третий ряды плит снизу поставлены на ребро, а в остальных рядах плиты уложены плашмя. На верхний ряд плит, лежащих плашмя, поставлены наклонно массивные плиты, образующие двускатную крышу. Между наклонно поставленными плитами в верхнем замке имеется шип. В нижней части на горизонтальных плитах у них имеются упоры. Кроме того, два ряда плит, уложенных плашмя, образуют антисейсмические пояса, т.е. общую обвязку всему сооружению. Весь склеп обжат грунтовой засыпкой, так как над ним был насыпан курган. Как видите, конструкция склепа проста, но есть единый замысел и продуманы все детали. При всех многочисленных землетрясениях Северного Причерноморья склеп сохранился до наших дней, хотя его сооружение скорее всего относится к III в. до н.э.

В Ольвии мы познакомились со слоевыми фундаментами и подкурганым склепом, теперь отправимся в другой город времен античности—Херсонес. Этот город знаменит

своим великолепным оборонным ансамблем. Рассмотрим некоторые антисейсмические приемы, использованные при строительстве крепостных стен и башен этого ансамбля. Основанием под самые древние стены и башни южной херсонесской обороны служила скала. Нижние фундаментные блоки этих конструкций не ставились непосредственно на скалу. Между ними была устроена песчаная подсыпка, назначение которой известно. В том случае, если стена или башня возводились на наклонном участке скалы, то предварительно вырубалось горизонтальное ложе, насыпался тонкий слой песка, а уже потом ставились фундаментные блоки.

Если говорить о кладке стен, то за время существования Херсонеса было применено несколько типов кладки, каждая из которых обладала антисейсмическими свойствами. Первый тип кладки херсонесской обороны относится к V в. до н.э. Стена этого времени была трехслойной. Наружная и внутренняя облицовка ее выполнялась из массивных камней размером 1,50x0,42x0,45 м, уложенных вдоль и поперек стены насухо. Внутреннее пространство стены заполнялось бутом на глиняном растворе. Общая толщина стены была 2,35 м. Второй тип кладки относится к IV в. до н.э. В этом случае стена была однородной, она выкладывалась из камней примерно одинакового размера 1,85x0,38x0,38 м. Камни укладывались, равномерно чередуясь вдоль и поперек, что создавало хорошую перевязку всего массива стены толщиной в 4,0 м. Эта кладка обеспечивает высокую прочность всей стены. Все остальные типы кладки Херсонеса являются по сути дела производными от второго. Меняются размеры камней, появляется рустовка, добавляются пироны, но принцип создания прочно перевязанной однородной кладки остается: И есть еще одна общая для всех типов кладок особенность: применяются каменные блоки удлиненной формы. Уже в нашу эпоху появилась кладка на прочном известковом растворе.

Теперь о конструкции оборонительных башен. Рассмотрим только одну башню, так называемую башню

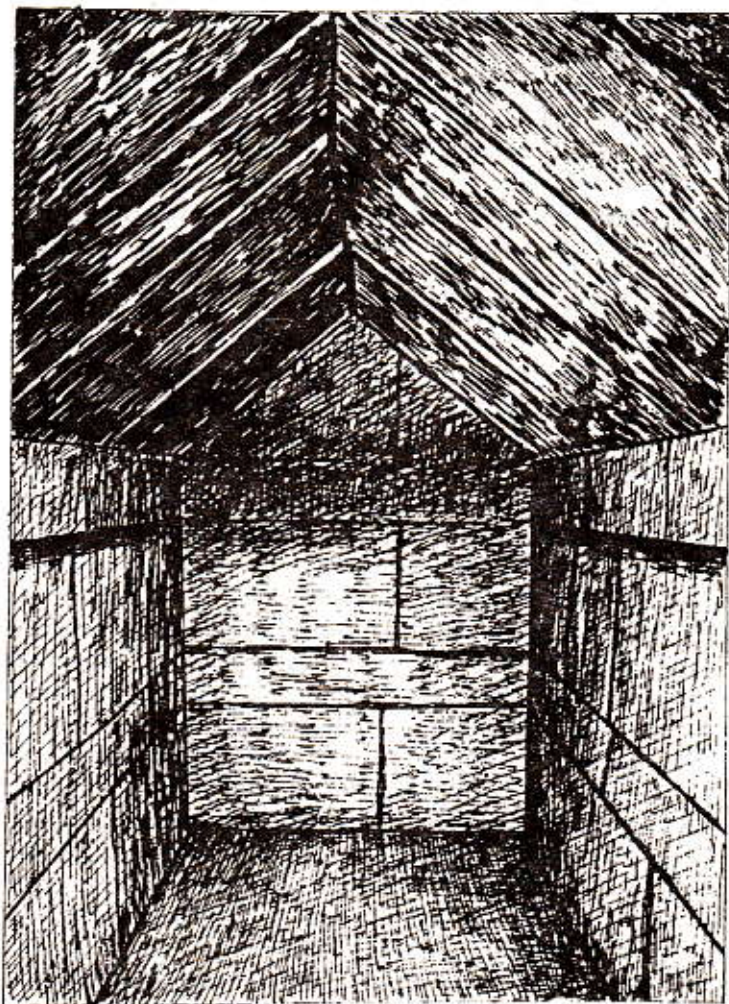


Рис. 46. Каменная гробница—образец законченности инженерного замысла

Зенона, идущую под номером XVIII. Эта башня, как и другие, много раз восстанавливалась и достраивалась. В результате на ней одной можно увидеть те приемы каменной кладки, которые применялись при строительстве башен в разное время. По своей структуре башня Зенона состоит из ядра и последовательно одетых на него трех цилиндров каменной кладки, относящихся к различным эпохам. Ядро представляет собой древнейшую греческую башню, поставленную на этом месте. Ее диаметр 8,95 м. Кладка ядра хорошо сохранилась, хотя и имеются разрушения, связанные, по-видимому, с военными действиями. Эта кладка была выполнена из крупных камней, уложенных насухо тычком и ложком и связанных между собой деревянными связями типа "ласточкина хвоста". Кроме того, в древнем ядре был обнаружен деревянный каркас, состоящий из связанных между собой стояков и лежней. Далее, по-видимому, было решено усилить оборону и увеличить размеры башни. Вокруг древней башни была возведена новая башня, представляющая собой цилиндр с толщиной стенки 1,70 м. Эта новая конструкция была сложена насухо из крупных каменных блоков, но уже без применения деревянных связей. Интересным здесь является то, что между старой конструкцией и новой имелся зазор размером от 8 до 40 см. Это было сделано не случайно. Древним строителям было известно, что каждая пристройка должна строиться самостоятельно. Делалось это для того, чтобы избежать дополнительных перегрузок, возникающих при неравномерных осадках разновременных конструкций. Кроме того, созданием зазора разнородные части сооружения предохраняются от соударения во время землетрясения. После перестройки диаметр башни стал 12,55 м.

Увеличенная в размере башня подверглась интенсивному землетрясению и была повреждена. Теперь ее необходимо было усиливать. Для этого на башню надели второй каменный цилиндр. Стена этого цилиндра была трехслойной: внешние облицовочные ряды камня и внутренняя забутовка из разноразмерного камня на

прочном известковом растворе. В задачу этого второго монолитного слоя входило усиление башни, поэтому он был выполнен без зазора с первым цилиндром. В 480 г. в Херсонесе произошло новое сильное землетрясение. Для усиления и восстановления башни на нее надевают третий цилиндр. По сути дела устраивается утолщение второго монолитного цилиндра. Для этого была возведена внешняя облицовка из больших каменных квадров, а пространство между этой облицовкой и вторым монолитным кольцом заполнено бутовым камнем на известковом растворе. Так вокруг основного древнегреческого ядра было построено три цилиндра крепких стен.

В чем причина того, что башню Зенона приходилось многократно усиливать? Оказывается, дело здесь не во вражеских штурмах, разрушавших ее, а в неудачном выборе места постройки. Башня стоит на скалистом склоне Девичьей горы. В условиях часто повторяющихся землетрясений, имея под собой достаточно глубокую выемку в скале только для фундаментов ядра башни, она стремилась сползти вниз по склону. Тогда строители все последующие достройки башни связывали с толстыми оборонительными стенами, создавая этим поддерживающие ее контрфорсы. Этим башня предохранялась от сползания, с одной стороны, но, с другой стороны, в ней была нарушена симметрия распределения жесткостей. Это приводило к перегрузкам и соответствующим разрушениям в местах, где почти под прямым углом стены примыкали к башне.

Можно отметить и другие ошибки в оборонительных сооружениях Херсонеса. Между башнями XIV и XVI оборонительная стена в древности шла по прямой на протяжении 96 м. Ничем не подкрепленная, стена в III в. в средней части обрушилась. Пришлось построить башню XV, чтобы в середине стены создать ей опору.

В Боспорском царстве, занимавшем в древности восточную часть Крыма и Таманский полуостров, рассмотрим главным образом подкурганые склепы и особенно подробно Царский курган.

Это мемориальное сооружение, расположенное в 5 км на северо-восток от центра г. Керчи, было открыто в 1837 г. директором Керченского археологического музея А.Б. Ашик. Вот что он сказал по поводу этого открытия: "Мне кажется, что открытый нами памятник не имеет ничего равного себе в сфере древнего зодчества, и если не должен стоять выше, то по крайней мере наряду с гробницами Италии". От себя мне хочется добавить, что аналогом этому архитектурному памятнику могут служить подземные купольные гробницы Микен.

На рис. 47 показаны продольный разрез Царского кургана и поперечный с диагональным разрезом самой камеры склепа. Кстати, Царским этот курган назвал А. Б. Ашик за громадную величину и совершенно уникальную каменную конструкцию. Сооружен весь мемориальный комплекс Царского кургана предположительно в IV в. до н.э. для Левкона I. Средняя высота кургана 18,5 м, диаметр у основания порядка 120 м. Находящийся внутри кургана склеп состоит из камеры и длинного высокого коридора, дромоса, прорезающего толщу насыпного грунта и выходящего к его основанию.

Стены камеры образуют в плане квадрат 4,43х4,40 м. Они сложены из огромных блоков известняка, образующих 4 ряда. Блоки хорошо отесаны с лицевой стороны и плотно пригнаны друг к другу насухо. Далее самое интересное. С 5-го ряда кладки начинается купольное перекрытие по системе "ложного свода". Начиная с углов, выдвигаются выступы массивных блоков, которые, надвигаясь из ряда в ряд все больше, сужают пространство над квадратным планом камеры, образуя 5 рядами правильные многоугольники, которые выше переходят в круг. Еще 12 рядов дают математически точные сужающиеся друг над другом круги, образуя конический купол. Последний верхний круг закрыт сверху одной массивной плитой. Интересно и надежно решена здесь проблема сопряжения нижней квадратной части и круглого купольного перекрытия посредством

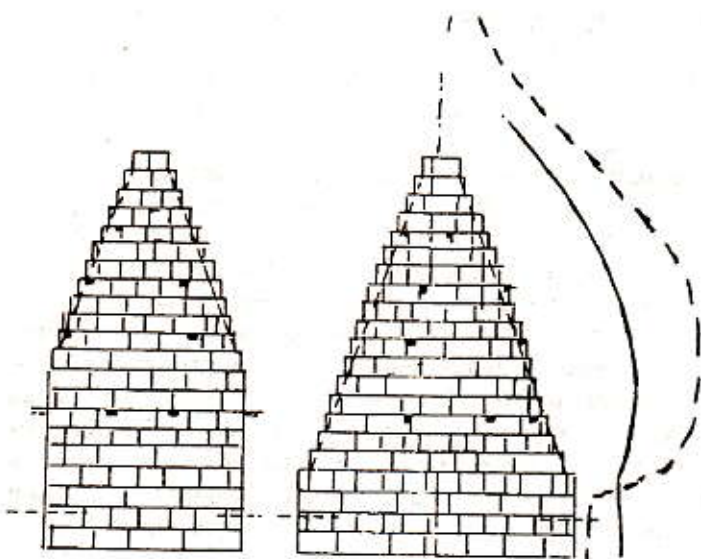
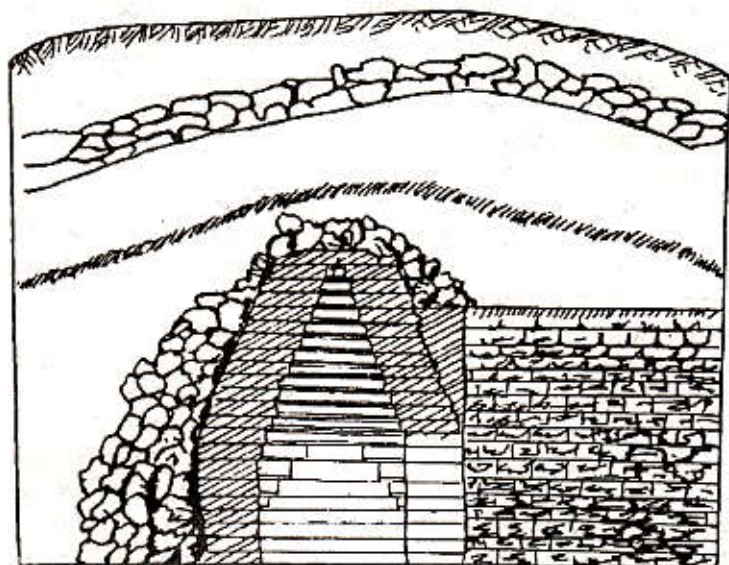


Рис. 47. Разрез слоистого Царского кургана и его камеры

плавного выдвижения уступов, которые постепенно переходят к нависающим друг над другом кругам кладки купола. Высота камеры 9 м. Кольца конического купола собраны из длинных камней криволинейного очертания. Уходящий ввысь во тьму конический купол, обозначенный concentрическими кругами, впечатляет.

С южной стороны к камере примыкает коридор, дромос, длиной 36 м, шириной 2,5 м и высотой до 7 м. Он также сложен насухо из гигантских камней известняка, тщательно пригнанных и образующих уступчатый узкий свод. Есть предположение, что стенки камеры и дромоса сложены не из одного ряда квадров, а из двух или трех. Далее и камера, и дромос, как видно на рис. 47, завалены крупным необработанным камнем в 6-7 рядов у подошвы 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. 1-й слой насыпи едва покрывает купол камеры и дромос вместе с каменным завалом, далее вся насыпь обложена толстым слоем морской травы. Эти спрессованные водоросли очень напоминают еловый лапник. На слой травы опять насыпана земля. Этот 2-й слой земли, толщиной в несколько метров, покрыт в свою очередь тремя рядами рваного камня, образующего панцирь против эрозии насыпного материала кургана. Наконец, 3-й слой земляной насыпи завершает конструкцию кургана.

Нет сомнений, что весь многослойный массив кургана с ядром в виде каменного склепа с позиций сейсмостойкости необходимо рассматривать работающим как единое целое. Сейсмостойкость всей конструкции кургана начинается, естественно, со склепа. Рассмотрим некоторые конструктивные приемы, использованные в склепе Царского кургана, и попробуем оценить, как они влияют на сейсмостойкость всего сооружения.

Погребальная камера и дромос расположены на небольшом естественном возвышении, которое потом

досыпкой грунта было превращено в курган. Основу подкурганного возвышения составляет скала. Эта скала имеет ровную поверхность с наклоном 7 см на один погонный метр. Цоколь стен погребальной камеры высечен из монолита скалы, а под дромосом с помощью специальных субструкций скала выровнена так, что организовано три горизонтальные террасы, на которые и уложены фундаментные блоки дромоса. Субструкции выполнялись из влажной глины, смешанной с известняком. Со временем глина приобрела твердость камня и получился своеобразный глинобетон. Там, где были ступеньки террас, толщина глиняного слоя достигала 80-90 см. В этих местах в дромосе имеются трещины от неравномерных осадок фундамента, так как искусственные субструкции более податливы, чем коренная скала. В камере таких трещин нет, так как блоки стен кладутся прямо на скалу основания. Может быть, именно из-за неравномерных осадок часть дромоса не дошла до нашего времени, разрушившись от землетрясения.

Теперь о сцеплении между каменными блоками кладки стен и купола, для обеспечения сейсмостойкости всего сооружения это важный элемент. Все квадры кладки уложены насухо, без применения раствора. Исключение составляет стена, существовавшая в древности для перекрытия входа в дромос. В ней для заливки швов применялся свинец. Квадры кладки вырезались из аджимушкайского известняка—очень пористого и мягкого камня. Его ровно срезанная поверхность имеет пористый, шероховатый вид. Поставленные друг на друга, да еще с вертикальной нагрузкой, такие блоки исключают возможность их взаимного сдвига, так как сила трения между ними чрезвычайно велика. Объясняется это следующим образом. Уложенные в стену блоки соприкасаются своими постелями, в результате острые края ячеек пор давят друг на друга. Под действием огромной тяжести вышележащей кладки и насыпного тела кургана происходят смятие и взаимное проникновение тонких стенок ячеек, в результате поверхности

каменных блоков как бы сцепляются и сдвинуть их можно друг относительно друга, только разрушив их.

Конструктивно совершенно для такого в общем-то простого сооружения решена задача сопряжения круглого в плане конического купола и квадрата камеры (рис. 48). Для того дохристианского времени задача сопряжения купольного перекрытия и самого здания прямоугольной формы—дело далекого будущего. Опередив свое время, здесь эта задача была решена. Кстати, в Царском кургане были обнаружены следы пребывания ранних христиан. Долго было загадкой, как они сюда проникали, пока не был обнаружен заваленный землей лаз.

Мне посчастливилось побывать в Царском кургане и увидеть это совершенное произведение древнего зодчества, в котором умело сочетаются архитектурная задача и ее конструктивное воплощение. Я видел, принятые мной вначале за паутину, мельчайшие кристаллы известняка, которые еще больше увеличивают сцепление между каменными блоками.

Для того чтобы убедить в потрясающей эрудиции древних строителей, привлеку ваше внимание еще к одной детали конструкции камеры Царского кургана. Посмотрите на рис. 47, где показаны два разреза камеры. Сообщаю вам следующий факт: конический, или так называемый ложный, свод камеры не вписывается в правильный конус. Истинная форма свода показана на разрезах справа сплошной линией. Для чего сделана такая конфигурация? Хотел ли древний строитель как-то скорректировать наше зрительное восприятие, или он хотел снизить распор в куполе? Загадка. Кстати, распор купола гасится не только материалом конструкции, но и за счет обжатия грунтовой засыпкой. Для меня сложная конфигурация купола камеры ассоциируется почему-то с формой церковных луковок, не передававших распор на несущий их барабан. Эта форма показана на рис. 47 справа пунктирной линией и будет изобретена много столетий спустя.

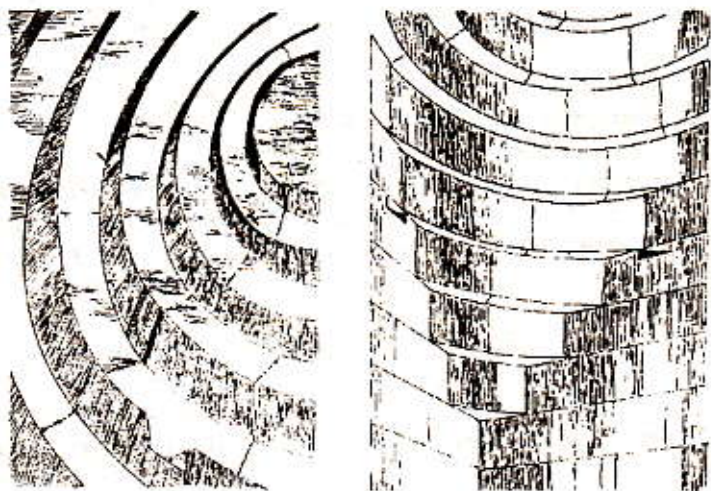


Рис. 48. Плавный переход от квадратного в плане сооружения к круглому коническому куполу

Имеются другие загадки в конструкции рассматриваемого кургана. Для примера еще одну. Уже упоминался толстый слой морской травы, уложенный в массив кургана. Зачем нужна эта трава? Об этом слое в причерноморских греческих сооружениях я слышал давно и думал, что этого не может быть, через два тысячелетия трава должна сгнить. Наконец, я сам увидел эти прокладки из морской травы. Оказывается, их укладывали греки и их последователи в перекрытиях почти всех зданий. Эти слои морской травы обладают редкой долговечностью, гораздо большей, чем дерево. Такой упругий слой образует поверхность скольжения. Но зачем он был нужен? Никто, в том числе очень квалифицированные археологи, не мог мне объяснить. Опять же зачем слой камней в кургане. Может от грабителей? Короче, о чем бы ни думали и как бы ни проектировали этот курган древние строители, конечный

результат известен: они создали сейсмостойкое сооружение, что подтвердила практика его существования до современности.

Примерно такая же конструкция у Мелек-Чесменского кургана, только он меньше и купол у него не конический, а прямоугольный, ступенчатый, как у мавзолея в Галикарнасе. Не буду больше разбирать целые сооружения Причерноморья, а давайте просто побываем в том времени и отметим для краткости изложения только те конструктивные детали, которые относятся к теме наших поисков.

Если с набережной в городе Керчь по красивой лестнице, украшенной химерами, подняться на гору Митридат, то, обогнув ее вершину, вы увидите раскопки Пантикапеи. Следы древних стен, башен, резервуаров, водопровода и в том числе недавно раскопанные, довольно массивные фундаментные блоки небольшого античного храма. В этих блоках по всему периметру устроены два паза прямоугольной формы, как показано на рисунке 49. Эти пазы явно были устроены для закладки деревянных брусьев между стеной и фундаментом. Назначение таких брусьев можно истолковать однозначно. Это сейсмоизоляторы, смягчающие удар от фундамента на стены при землетрясении. Что этот город в свое время сильно пострадал от землетрясения, видно по упавшим в одну сторону стенам зданий и по той трещине сдвига, что пересекает весь город.

Вообще, как уже много раз говорилось, и скажу еще, чтобы закрепить это в сознании современного строителя, устройству фундаментов в древности придавалось очень большое значение. В той же Пантикапее строители столкнулись при ее застройке основательными сооружениями со сложными грунтовыми условиями. Строить надо было на склонах горы, сложенной слоистыми песчаниковыми породами, легко поддающимися осадкам и сдвигам. Поэтому фундаменты были устроены следующим образом. Сначала уложен был слой гравийно-

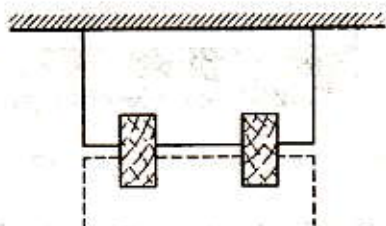


Рис. 49. Отверстия в фундаменте храма для установки деревянных прокладок

го песка. На него были поставлены на ребро тщательно пригнанные известняковые квадраты первого ряда. Второй ряд точно таких же квадратов был уложен на первый ряд, но уже плоскостью, как говорят, на постель. Третий и четвертый ряды каменных блоков лежат уже на прокладке из мелких камней. Первый ряд лежит на ребре, чтобы эти блоки лучше воспринимали изгибающие моменты, которые возникают в них от неравномерных осадок или при распространении сейсмических волн. Мелкие камни в швах между блоками способствуют равномерному распределению нагрузки между блоками фундаментов, а также позволяют при землетрясении блокам проскальзывать друг относительно друга, что, конечно, снижает сейсмическую нагрузку. Не здесь ли была заложена идея, которая через каких-нибудь пару тысяч лет с хвостиком привела к созданию современных систем сейсмозащиты, состоящих из чугунных шаров или эллипсоидов вращения.

На берегу засоленного залива Азовского моря в местечке, называемом Чокрак, раскопаны совсем недавно фундаменты огромного здания, которое могло быть и храмом. На развалинах этого здания имеются следы пожара III в. до н.э., когда, кстати, по историческим данным в этом месте было сильное землетрясение. Мне довелось самому наблюдать, как были уложены громадные фундаментные блоки, в раскопе это было хорошо видно



Рис. 50. Подготовка основания под фундаментные блоки

(рис. 50). Сначала внизу лежит толстый слой глины, потом идут необработанные камни средней величины, далее насыпан выровненный слой мелких камней, а на него уже уложены фундаментные блоки. Назначение такой конструкции понятно: равномерное распределение нагрузки и снижение сейсмических сил.

Надо сказать, что в греческих колониях уже не сохранялись в первоизданном виде те строительные приемы, что существовали в коренной Греции. Здесь уже сказывалось влияние Востока. Например, в только что названном фундаменте применялся известковый раствор. Зато кладка каменных блоков насухо с применением для их соединения скоб и штырей с заливкой их потом свинцом встречается чрезвычайно редко. Хотя встречаются совершенно феноменальные примеры, говорящие о том, что классическая строительная техника греков была известна в этих местах.

Вот пример. В 1868 г. на Таманском полуострове на Васюнкинской горе в самом большом здесь кургане был открыт склеп, который так и назвали Большим. В конструкции этого склепа удачно сочетаются почти все антисейсмические приемы того времени, что были известны на Западе и на Востоке. Продольный и поперечный разрезы этого склепа показаны на рис. 51. По своей компоновке он состоит из двух помещений: прихожей и камеры. Самое интересное здесь то, что перекрытие устроено в виде цилиндрического свода, который не применяли греки, а клинчатые камни этого свода соединены чисто по греческому образцу железными громадными (это уже не по-гречески) скобами, залитыми свинцом. Три прочные поперечные каменные стены

служат диафрагмами цилиндрическому своду. В стенах заложены длинные, соединенные между собой камни, которые служат антисейсмическим поясом всему сооружению, стягивая его и воспринимая распор от свода. Ширина этого сооружения около 4 м, длина около 5 м. Как видите, размеры этого склепа умеренные, все симметрично, вес, правда, великоват, но все сооружение находится в кургане и обжато засыпкой из грунта. Во всяком случае, этот склеп простоял не менее двух тысячелетий при всех подземных бурях, пока до него не добрались исследователи.

Немного поговорим о соседях греческих колонистов — о скифах. Таинственные скифы с их степными надмогильными курганами, непреклонным характером и золотыми изделиями в "зверином стиле". Представлять их только лихими конниками будет совершенно неверно, у них были своя государственность, свои города и свои умелые ремесленники и строители, которые разбирались в антисейсмических приемах. Недалеко от современного Симферополя существовал город Неаполь Скифский, при раскопках которого в 1946 г. был обнаружен каменный мавзолей, принадлежавший, видимо, знаменитому скифскому царю Скилуру, жившему во II в. до н.э. Повторять о сейсмической активности Крымского полуострова не буду, это знали даже скифы, что они и учитывали в своих постройках, возводимых в связи с переходом к оседлому образу жизни. Вместо юрт стали строить дома, а вместо степных курганов над могилами своих военачальников стали возводить городские мавзолеи. Вот только перечень антисейсмических мероприятий, примененных в стенах рассматриваемого нами мавзолея. Камни уложены с перевязкой, один или два камня укладывались вдоль, следующий устанавливался на ребро поперек. Применялись толстые слои глиняного раствора, который жесткой каменной кладке придает упругопластические свойства, это вы уже знаете. Наконец, для надежной перевязки продольных и поперечных стен в углах мавзолея заложены Г-образные камни. Таких мы

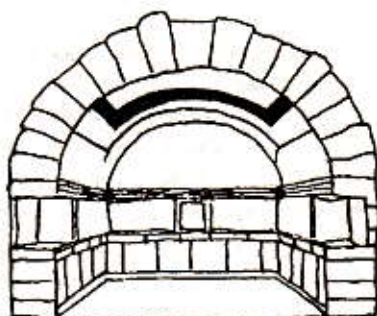
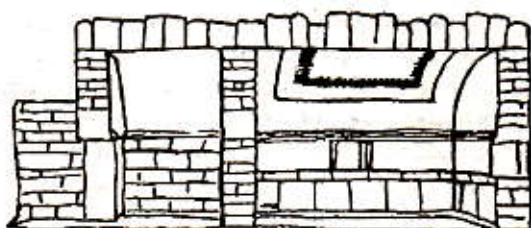


Рис. 51. Склеп, выполненный в строительной технике Запада и Востока

еще нигде не встречали. Стены шириной до 1 м стоят на фундаменте из рваного камня небольшой глубины— до 0,4 м, но опять, как и у всех древних строителей, фундамент не доводится до скалы, а стоит на тщательно выровненном зольном слое. В мавзолее широко применяется дерево, главным образом в конструкции плоского перекрытия и при армировании верхней части стен, выполненных из сырцового кирпича.

Теперь по спирали времени двинемся дальше, естественно в Рим, куда ведут все дороги, хотя, мне думается, правильнее было бы говорить, что все дороги ведут в Грецию. Очень много миру дала греческая культура, начиная от философии и архитектуры и кон-

чая спортом. Ее наследие с большой пользой для человечества изучается и будет изучаться всегда. Изучать нужно и ее архитектурные памятники, на которых сохранились следы перенесенных ими подземных бурь. Это поможет нам при строительстве современных сейсмостойких конструкций [13, 16-20].

Рим и Византия

Сводчатые конструкции и римский бетон

История Рима условно делится на два крупных периода: республиканский от изгнания Этрусских царей в 509 г. до н.э. до возникновения Римской империи в 27 г. до н.э. и императорский до перенесения столицы империи в греческую Византию императором Константином в конце IV столетия. Наша задача в этой главе очень скромная. Не рассматривая исторических корней, откуда и как пришли и формировались строительные приемы в Риме, дать краткий очерк о том, как эти приемы влияли на сейсмостойкость римских сооружений, какие мероприятия применялись специально для того, чтобы повысить сейсмостойкость зданий. И все-таки несколько слов о том, как государственная структура влияла на строительные приемы.

Характерной чертой римской государственной структуры независимо от того, была ли это республика или уже империя, является способность организовывать и управлять. Римское государство имело в своем распоряжении многочисленную армию солдат, которую могло использовать на общественных работах, и громадную массу рабов, которую могло заставить выполнять огромные объемы самого тяжелого физического труда. Кроме того, в результате завоеваний в руках римского народа скапливаются гигантские богатства, которыми можно оплачивать любые большие объемы работ и дорогие строительные материалы.

Вот на этой политико-экономической основе и формируется римская строительная техника. Прежде всего римляне почти отказываются от добычи материалов, нужных для изготовления крупных деталей. Транспортировка и обработка таких деталей требуют специальных механизмов и квалифицированного труда каменщиков. Это могли себе позволить только греки, где почти каждый работник был мастером и художником. Правда, в исключительных случаях римляне возводили сооружения, подобные греческим, из крупных блоков камня, уложенного насухо и скрепленного штырями и скобами. Они знали, как это делается, так как при своих завоеваниях римляне умели присваивать себе не только богатства, но и знания. Обычно же они пользовались совсем иным методом. С помощью многочисленной армии неквалифицированных рабочих заготавливаются огромные массы мелкого строительного материала, камней, кирпича, гальки, песка, извести под надзором надсмотрщиков. Далее по указанию нескольких профессионалов и архитектора возводится само сооружение, при этом выполняются многочисленные однообразно повторяющиеся операции, укладывается кирпич облицовочных стен, пространство между ними заливается бетоном и забрасывается камнями, потом возводится деревянная опалубка и льются из бетона купола. Готовая конструкция украшается облицовкой из красивых материалов и декоративными колоннами. Вот такова, собственно, римская техника строительных работ.

Виолле ле Дюк образно представил разницу между греческими и римскими сооружениями. Он говорит, что наружные формы греческих сооружений неотделимы от их конструкции, поэтому их можно сравнить с обнаженным человеческим телом, на котором видно предназначение каждой его части. Римское здание напоминает человека, одетого в тогу, когда закрыты и задрапированы конструктивные части его тела.

Говоря о римском строительстве, невозможно не вспомнить о римском архитекторе I в. до н.э. Витрувии, написавшем трактат "Десять книг об архитектуре", где

он сообщает самые разнообразные сведения о том времени, в том числе дает рекомендации, как и что строить, как подбирать растворы, как делать фундаменты, как возводить оборонительные башни и как заряжать катапульту. К сожалению, там ничего не сказано о том, как возводить сейсмостойкие здания, поэтому нам с вами самим придется разбираться в этом вопросе. У Витрувия есть чему поучиться даже современному строителю. В его знаменитом трактате есть масса полезных советов. Интересна и сама строительная техника того времени. Если мы думаем, что только мы начали стремиться строить рационально и дешево, то глубоко заблуждаемся. У римлян в строительстве соблюдалась строжайшая экономия, но все-таки строить надо было на вечные времена, что они и делали. Читая Витрувия, узнаешь массу интересных приемов, которые позволяли определять качество строительных материалов или выбирать для строительства грунтовое основание не хуже нас, когда мы пытаемся пользоваться разными приборами. Вот простой пример. Мне довелось зимой 1988-89 гг. много заниматься обследованием последствий Армянского землетрясения. Я видел песок, который использовался там при строительстве. Это был часто загрязненный глиной или землей пылеватый, а то и просто туфовый песок. Также подбирались и остальные компоненты армянского бетона. Результаты известны. Элементы из этого бетона не просто разрушались, а рассыпались на мелкие кусочки. Когда же разрушались конструкции из прочного римского бетона, то они разваливались на отдельные крупные глыбы. Но и римляне для своего бетона грязный песок никогда бы не использовали. Загрязненность песка они проверяли просто. Высыпали его на чистую белую тряпку, а потом стряхивали. Если на белом полотнище оставались следы, то такой песок уже не годился. Или вот выбор грунтового основания для сооружения. Мы в этом случае должны проводить прозванивание грунта, возбуждая его колебания взрывами или ударами чугунного шара, а потом для анализа с помощью специальных

приборов записывать эти колебания. Римляне делали то же самое, только проще. Ставили на землю чашу с водой и невдалеке бросали камень. Если вода в чаше колебалась, значит, грунты плохие и здесь монументальные сооружения строить нельзя, а уж если все-таки хотите строить, то будьте добры плохой грунт удалить до материковых пород и заменить хорошим. Но об этом мы еще поговорим.

Итак, эпоха римской строительной техники характеризовалась двумя новыми элементами: открытие нового вяжущего раствора и создание вещества римского бетона и применение сводчатых перекрытий в виде полусферы и цилиндра. Это оказалось тем, что нужно для использования огромной армии чернорабочих и мелкоштучного материала. Как обычно намекается, будто бы римский бетон был открыт совершенно случайно. На самом деле еще этруски применяли пуццолановый песок как связующее при возведении сводов. При смеси вулканической пыли из-под Везувия, известкового раствора, песка и камней после добавления воды происходит химическая реакция; в результате получался очень водостойкий искусственный камень. Так была открыта новая эра строительной техники, стало возможным создавать литые конструкции. А тут, пожалуйста, в соответствии с престижем римского могущества необходимо создавать сооружения с большими пролетами перекрытий, а такие пролеты тогда можно было создавать только при помощи куполов. Но делать такой купол с криволинейными поверхностями из штучного материала довольно сложно, нужны квалифицированные рабочие, а вот отлить купола намного проще. Круг идей замкнулся, появились римские специфические сооружения. Рассмотрев вопрос в принципе, займемся деталями.

Впервые соединение сводчато-арочного принципа конструкции с бетонной техникой в грандиозных масштабах было воплощено в так называемом портике Эмилиев в 174 г. до н. э. При таком красивом названии это был попросту склад зерна в порту Эмпории на Тибре.

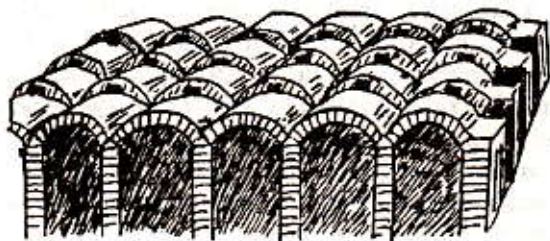


Рис. 52. Одна из первых литых конструкций—портик Эмилиев

Размер этого склада был 487х60 м, и состоял он из 50 отдельных секций, и каждая секция была перекрыта цилиндрическим сводом пролетом 8,3 м (рис. 52). Стены здания выполнены из бетона очень хорошего качества и облицованы камнем, из того же материала выполнены перекрытия. В портике Эмилиев для нас интересны несколько моментов. То, что это сооружение знаменует появление типовых конструкций, хотя это для нас не очень интересно с точки зрения нашей тематики. Это и должно было случиться при римской организационной структуре, когда есть четкий аппарат управления, огромные массы неквалифицированных работников и единицы квалифицированных архитекторов. Для нас гораздо интереснее другое. Появился монолитный римский бетон. Это как—хорошо или плохо с точки зрения сейсмостойкости? Конечно, хорошо, правда, материал тяжеловат, и это понимают римские строители, и дальше мы увидим, как они будут стараться его облегчить. Но сооружения из этого материала получаются прочными с однородными свойствами, да если еще и конструкция из него выполнена симметричной с регулярным распределением масс и жесткостей, то здание получается сейсмостойким.

Теперь идем дальше. Совершенно понятно, что конструкция из монолитного бетона будет обладать совсем другими свойствами, чем греческие храмы, выполненные из каменных блоков, соединенных податливыми связями. Римские сооружения будут аб-

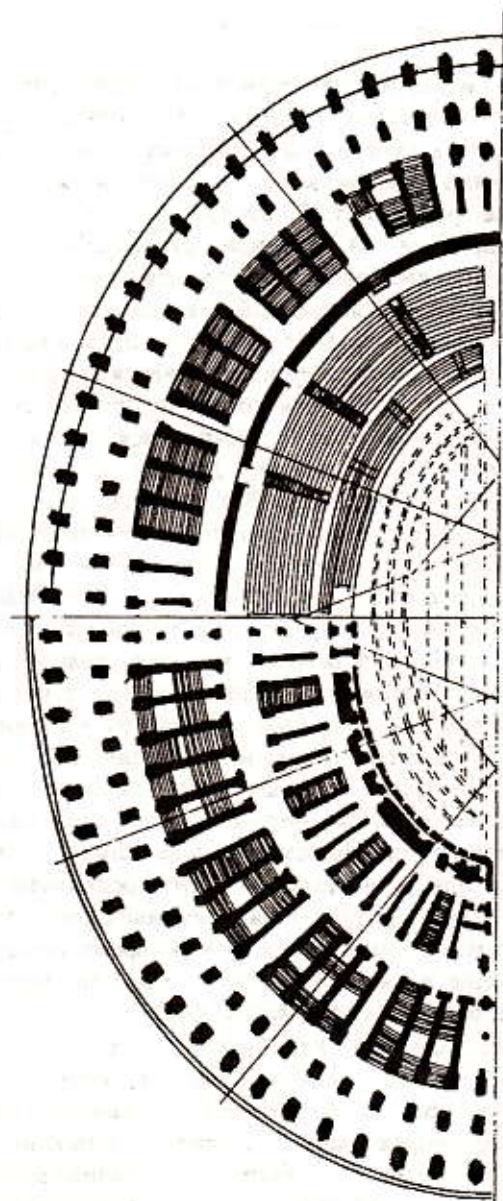
солютно жесткими, а греческие—податливыми. Как ни удивительно, но древние строители учитывали это при возведении фундаментов. Если в греческих храмах фундаменты устраивались независимыми под вертикальные несущие элементы здания и их неравномерные осадки не вызывали в податливой конструкции здания дополнительных напряжений, то в римском жестком сооружении, которое работает как единое целое, это уже недопустимо, здесь и фундамент должен работать как единое жесткое целое. Появился новый тип фундамента. Но давайте все по порядку.

Большое значение римские строители, как и современные в сейсмически опасных районах, придавали выбору грунтовых условий при застройке. Как следует по Витрувию, который был архитектором при Юлии Цезаре, плохие, слабые грунты должны удаляться до материковых пород и заменяться прочным основанием. Пример. Базилика Юлия Цезаря на Римском форуме (54-46 гг. до н.э.), довольно крупное сооружение размером 36x100 м. Эта базилика была построена в чрезвычайно неблагоприятных грунтовых условиях. Она занимала самое низкое, заболоченное место между Палатинским и Капитолийским холмами, при этом восточная часть здания попадала на подземный дренажный канал—Клоаку Максима. При подготовке основания под сооружение строителям пришлось, удаляя плавунную глинистую почву, рыть котлован до туфовой скалы, обходя и укрепляя Клоаку Максима. Устранение дефектов почвы под сооружением уже антисейсмическое мероприятие. Удаленные плохие грунты заменялись искусственной субструкцией, которая представляла собой каменную платформу, армированную деревянными столбами. Эта платформа и служила основанием под громадное и тяжелое здание, состоящее из устоев, связанных арками. Базилика Юлия сохранила следы многих перенесенных ею землетрясений. В ее цоколе имеются сдвиги и выпучивания огромных каменных блоков. Многочисленные трещины и дефекты верхней части

здания говорят о тех колебаниях, которые оно испытало при сейсмических воздействиях. Еще один пример по поводу упрочнения грунтового основания под здание, очень любопытный.

Без особых сомнений, лучшим представителем литой бетонной строительной техники с применением облицовочной одежды можно назвать амфитеатр династии Флавиев (69-96 гг.), так называемый Колизей. Амфитеатр Флавиев интересен нам тем, что это гигантское сооружение не разрушили многочисленные землетрясения, часто повторяющиеся в Риме, как это было со многими другими зданиями. Правда, Колизей сильно пострадал от людей, устроивших из него каменоломню. План Колизея показан на рис. 53. Это сооружение представляет собой овальное кольцо гигантских размеров, занимающее площадь 156x189 м и высотой 49 м, в центре которого находится арена. Все сооружение поставлено в низине с плохими намывными грунтами. Для того чтобы устроить прочное искусственное основание, согласно римским правилам, пришлось вырыть котлован и удалить плавунные почвы на глубину до 12-13 м площадью больше самого Колизея. Вместо удаленного грунта была устроена целая система субструкций, которые должны были держать громаду сооружения, подвижные массы зрителей до 50 000 человек и также обеспечить, чтобы все гигантское кольцо не развалилось во время землетрясения, а работало как единое целое.

Данных о том, как устроена подземная часть Колизея, разыскать мне не удалось, не знаю, существуют ли они вообще, но кое-что все-таки удалось выяснить. Прежде всего то, что субструкции были устроены под всем Колизеем и что конструкция их была удачной. Это следует из того, что в Колизее имеется много следов перенесенных им землетрясений, но обрушений несущих конструкций не наблюдалось. В противоположность ему императорские форумы быстро после постройки стали разрушаться, потому что они не имели общих единых субструкций.



К 1

Рис. 53. План Колизея — воплощение регулярности и симметрии конструкции

Далее, известно, что в систему субструкций Колизея входили следующие два конструктивных элемента: верхняя часть субструкций, система стен из известняка и травертина на известковом растворе, и нижняя часть— “слоистые фундаменты”, назовем их так. Разберемся в этом подробнее. В римской строительной практике существовало два способа возведения литых конструкций. Первый способ “монолитный”, когда идет непрерывное бетонирование без трамбования, при этом в каждый слой раствора в 3-4 см тут же набрасывается крупный щебень. В этом случае получается довольно прочная однородная монолитная среда. Так бетонировался купол Пантеона, о котором речь впереди. Другой способ—создание “слоистых конструкций”. Вот как они получаются. В стенах ли между облицовочными каменными блоками, в фундаментах ли, если это требуется по проекту, укладываются слои от 0,10 до 0,15 м известково-пушчоланового раствора, на него набрасывается слой мелкого щебня примерно той же толщины. Далее проводятся трамбование и посыпание полученного слоя мелкой крошкой и пылью. Благодаря каменной пыли создаются слоистые стены или фундаменты, состоящие из прочных плит и податливых слоев между ними. Напряжения от усадки бетона в таком слоистом массиве не накапливаются. Но самое главное для нас—это то, что эти плиты при землетрясении могут проскальзывать друг относительно друга. Этим уменьшаются движения, передаваемые от грунта на здание во время землетрясения. Вот вам еще идея, которая через 2000 лет воплотится в сейсмозащиту из скользящих поясов. В искусственное основание Колизея включены такие слоистые конструкции, и они, по-видимому, сыграли свою положительную роль в обеспечении его сейсмостойкости.

На надземных частях Колизея подробно останавливаться не будем. Это добротная регулярная конструкция, состоящая из несущих стен, расположенных по радиусам и усиленных столбами-устоями. Между собой эти стенки соединены сводчато-арочными перекрытиями,

образующими систему галерей и проходов. Короче говоря, вся конструкция представляет собой единый жесткий прочный массив, в котором жесткости и массы распределены равномерно и симметрично относительно осей симметрии. Конструкция Колизея получилась сейсмостойкой, и это ему обеспечили правильная компоновка, применение сводчатых конструкций из литого бетона, а также подготовка грунтового основания и создание фундамента с элементами сейсмозащиты под всем сооружением.

Вообще римляне прекрасно ориентировались в том, на каких грунтах и какие надо устраивать фундаменты. Для доказательства этого можно взять однотипные сооружения, построенные на различных грунтах, и сравнить их фундаменты. Например, храмы Весты—это небольшие круглые ритуальные сооружения. Если сравнить храм Весты на форуме Романум, который стоит на намывных почвах с близкими грунтовыми водами, и храм Весты в Тиволи, который построен на скале, то увидим, что у них совершенно различные фундаменты. Первый стоит на кубовидной глубоко заложённой субструкции, опирающейся на коренные породы, второй расположился в выемке, искусственно устроенной в скале и заполненной песком. Обратите внимание, что древние строители никогда не сажали свои сооружения непосредственно на скалу, как это делаем мы, а обязательно устраивали сейсмоизоляцию из песка или глины.

Несколько слов о развитии римской строительной техники. В V—III вв. до н.э. в своем монументальном строительстве римляне еще широко применяют камень, изготавливая из него довольно крупные блоки. Сначала кладка шла насухо, а потом камень стал использоваться как облицовка с заполнением внутренностей стены бутовой кладкой на растворе. К концу III в. до н.э. появляется римский бетон, а во II в. до н.э. в широкое употребление входит обожженный кирпич. Все шире внедряется строительная техника, основанная на применении мелкоштучного материала, кирпича и бетона.

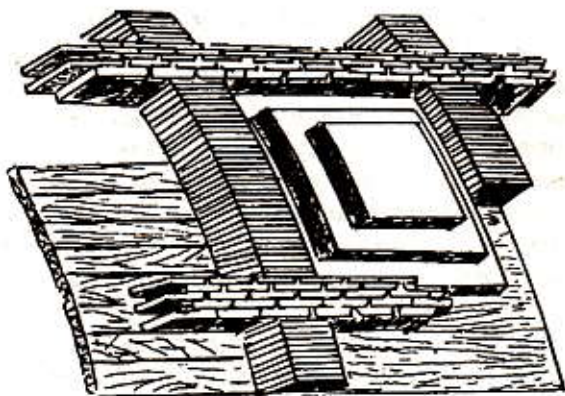


Рис. 54. Кирпичные ребра в монолите бетона—чисто римский строительный прием

Из фасонного кирпича выкладывают колонны с заливкой внутренних пустот бетоном. В период империи бетон составляет основу стен и сводов. Как облицовочный материал кирпич вытесняет камень. Стены, состоящие из кирпичной облицовки и внутренней монолитной бетонной массы, обладают повышенной прочностью и жесткостью. Повышенной жесткостью обладает и полностью литой купол. Чтобы придать куполам и стенам какую-то податливость, римские строители армировали купола кирпичными ребрами (рис. 54), а стены армировали поперечными деревянными брусьями, изготовленными из обожженных стволов масляничного дерева. Это армирование создавало равномерную осадку стенам и куполам. Вообще римские строители были профессионалами высокого класса. Вот простой пример.

Я долго не мог понять, как обеспечивались равномерная усадка и совместная работа в куполе между кирпичными ребрами и арками, находящимися в монолите купола, и литым бетоном. Если этого не обеспечить, то в куполе появятся дополнительные напряжения и в том материале, который усаживается быстрее, образуются трещины. Но таких трещин в римских куполах, состоящих из раз-

народного материала, нет. Значит, кирпич и бетон работают совместно. Как этого добились римские строители, в чем загадка? Все оказывается очень даже просто. Необходимо считать количество замесов бетона, чтобы обеспечить одинаковый объем раствора в массе бетона и в швах кирпичных арок, тогда и усадка в куполах будет равномерной, и в конструкциях напряжений нигде не будет. Вот таким подбором равного количества раствора решалась такая трудная строительная задача две тысячи лет тому назад [13, 21, 22].

Теперь давайте перейдем к подробному рассмотрению такого важного элемента римских конструкций, как купол.

Купола Рима

Все строительные конструкции по типу применяемых перекрытий можно разделить на две большие группы. К первой группе относятся сооружения, где используется балочно-стоечная система, примером которых являются ранее упоминавшиеся греческие храмы. Со второй группой конструкций мы начали знакомиться, когда изучали строительные приемы Месопотамии, и продолжаем в этой главе. Это те конструкции, в которых перекрытие устраивается с помощью арок и куполов, вызывающих распор, передаваемый на стены и колонны. В этом случае необходимо дополнительно усиливать конструкции, несущие купольное перекрытие. Возникают и другие проблемы. Естественно и легко сопрячь сферический купол и стены здания, выполненного в виде цилиндра, но как это сделать в случае круглого сечения купола и прямоугольника стен. Как обеспечить равномерную передачу нагрузки от купола на стены, чтобы нигде не было концентраций напряжений и перегрузок. С точки зрения сейсмоки это очень важно. Ранее мы уже познакомились с удачным сопряжением купола и стен в камере Царского кургана и далее будем обращать внимание на то, как это делается, это все-таки наш вопрос. Вообще всю историю строительства куполов

можно представить как борьбу за совершенствование их сопряжения со стенами, облегчение веса и уменьшение распора.

Теперь другой вопрос. Если мы собрались знакомиться с купольными системами перекрытий, то хотелось бы иметь их общую оценку с точки зрения сейсмостойкости. К тем семи принципам сейсмостойкого строительства, что были сформулированы в самом начале нашей встречи, здесь нужно добавить еще один: "чем проще конструктивная схема сооружения, тем лучше с точки зрения его сейсмостойкости".

С появлением купола конструкция здания, конечно, усложняется, появляются дополнительные усилия в виде распора, а значит, и дополнительные элементы для восприятия этого распора. Кроме того, за счет высоты купола, который к тому же часто устремляют ввысь на высоком барабане, повышается расположение центра тяжести всего сооружения. Все это, конечно, плохо. Но, с другой стороны, применение купольных перекрытий играет и положительную роль. Сам купол—конструкция симметричная, а следовательно, если здание, перекрываемое им, проектируется разумно и логично, то и подкупольная несущая конструкция должна делаться симметричной. Естественно, что логично при круглом в плане куполе делать все здание круглым, тогда в нем все массы и жесткости будут распределены равномерно и осесимметрично. Это идеальный случай планировки здания с точки зрения сейсмостойкого строительства. В истории архитектуры известны во все времена и у многих народов различные круглые сооружения. Теперь мы называем их центрическими. Это гробницы, храмы, боевые башни и многое другое. Центрических зданий было много у греков и у римлян. В качестве идеального образца центрического сооружения можно привести пример двухъярусного цилиндрического мавзолея Елены со сферическим куполом (рис. 55), построенного в 330 г. вблизи Рима. Глубокие ниши верхнего цилиндра, перекрытые арками, позволили равномерно распределить

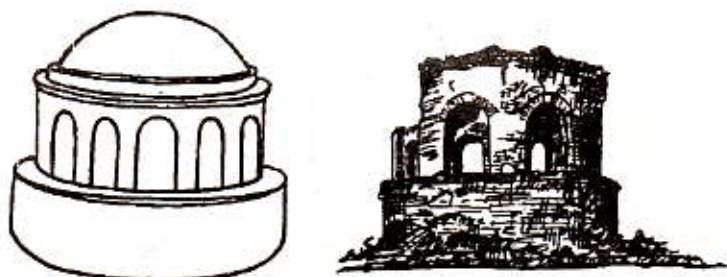


Рис. 55. Центризм мавзолея Елены

массы и жесткости по всему объему мавзолея. К недостаткам куполов надо также отнести то, что они чрезвычайно жесткие и тяжелые, особенно выполненные в римской технике литого бетона, поэтому все древние мастера всегда старались их как-то облегчить и придать им упругость, совмещая их с каркасными системами. Вот и в только что названном мавзолее Елены для облегчения купола в него были заложены пустотелые керамические амфоры. Существовали купола, для облегчения веса целиком сложенные из вложенных друг в друга пустотелых керамических сосудов, идущих по спирали и залитых бетоном.

Говорить о куполе только прозаически как о конструкции, с помощью которой можно перекрывать сооружения и предохранять их от непогоды, будет несправедливо. Во все времена и при всех религиях—огнепоклонников, язычников, христиан, мусульман—купол всегда был воплощением неба, места обитания богов, он всегда производил впечатление чуда, создавая настроение, и к нему устремлялись возвышенные помыслы верующих. По этой причине при возведении куполов зодчие древности уделяли им большое внимание: с одной стороны, они должны были быть технически совершенны, чтобы выстоять при любых потрясениях, с другой стороны, они должны были вызывать возвышенные чувства. Теперь рассмотрим несколько конкретных

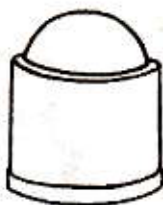


Рис. 56. Сопряженные полусфера и цилиндр образуют геометрическую форму Пантеона

примеров римских куполов. Начнем с Пантеона, этого уникального по замыслу и совершенного по воплощению строительной техники храма того времени. Анализируя это сооружение с точки зрения его сейсмостойкости, мы увидим, что оно удовлетворяет почти всем принципам сейсмостойкости, которые были сформулированы выше. А в том, что это сооружение—образец или, правильнее сказать, идеал сейсмостойкости, нет сомнений. Лучшим доказательством этому является то, что он простоял почти 2000 лет и при всех многочисленных подземных бурях в его стенах появились незначительные трещины, неопасные для его общей целостности. Рассмотрим все по порядку.

Пантеон (храм всех богов) был построен в 118-128 гг. при императоре Адриане. Здание Пантеона имеет чрезвычайно простую форму (рис. 56). Оно состоит из приземистого цилиндра внутренним диаметром 43,5 м, перекрытого сферическим куполом диаметром 43,2 м, при общей высоте в 43,0 м. Толщина литой бетонной стены с кирпичной облицовкой 6,7 м (рис. 57). Толщина оболочки купола меняется от 1,80 м у основания до 1,20 м у вершины (рис. 58).

Цилиндр стен Пантеона опирается на кольцевой фундамент шириной 7,3 м и глубиной 4,5 м. Какой конструкции этот фундамент, я не нашел описания ни у одного из авторов, древнего ли или современного. Проверить, разумеется, нет возможностей, но я совершенно уверен, что фундамент устроен здесь слоистый, как у

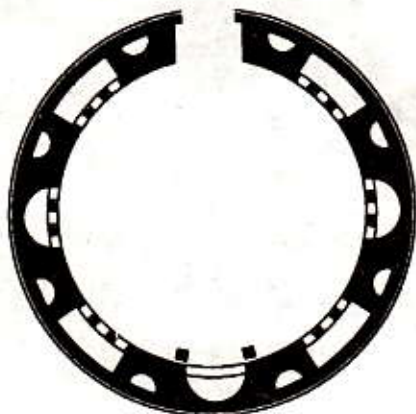


Рис. 57. Пустотность стен Пантеона

Колизея, сейсмоизолирующий с проскальзыванием по песку одного слоя по другому. К тому же в фундаменте переменной жесткости хорошо затухают сейсмические волны.

Из приведенного описания ясно, что с точки зрения сейсмостойкости с общей компоновкой Пантеона все в порядке. Это чисто центрическое здание, у которого все жесткости и массы распределены в сооружении осесимметрично. Теперь рассмотрим отдельные конструктивные элементы, хотя особенно в детали вдаваться не будем.

Стены Пантеона облицованы мелким кирпичом с прокладкой через 1,0 м крупных кирпичных плит, которые надежно связывают облицовку с монолитом стены. Для восприятия распора от купола, который был самым большим в мире почти 2000 лет и чрезвычайно тяжелым (у него на 1 м² перекрываемой площади приходится 7,3 т), стены были устроены довольно толстыми—6,7 м, как уже было сказано. Но для облегчения стен с целью экономии материалов и снижения их веса при сохранении той же прочности и устойчивости в стенах устроено восемь основных ниш шириной 8,9 м, глубиной 4,5 м (рис. 57),

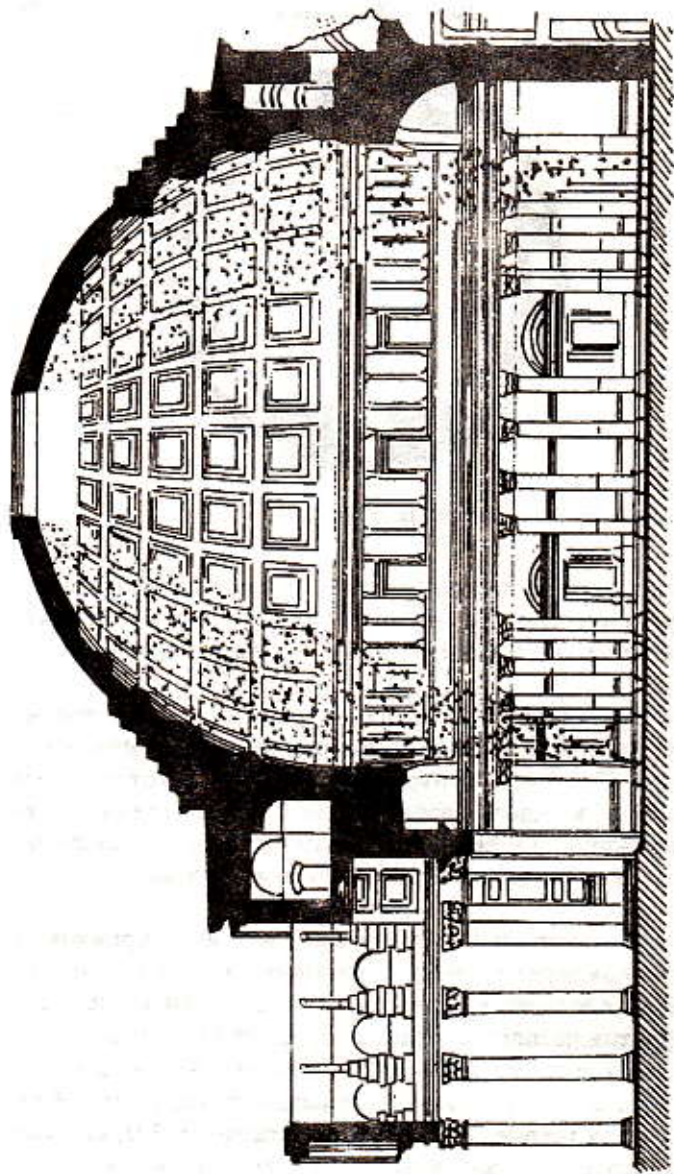


Рис. 58. Разрез Пантеона

есть там и более мелкие ниши. Все это снижает вес стен на одну треть. Таким образом, нижняя часть стен Пантеона представляет связанные между собой восемь устоев-пилонов. В самих пилонах для облегчения веса тоже есть пустоты. Верхняя часть стены имеет более сложную конструкцию. Здесь происходит сочленение цилиндра стен с куполом, при котором строителям удалось осуществить единство масс того и другого, плавно перелив одну массу в другую. Мощные полуциркулярные кирпичные арки двойкой кривизны, проходящие через всю толщину стены, заложенные в массив верхней части стены и перекрывающие ниши нижней части стены, работают подобно упругим волнистым рессорам, на которые опирается сам купол со своим двойным каркасом опять же из кирпича (рис. 59). Интересна работа опорных арок двойкой кривизны. Эти арки выходят из своей плоскости, и, значит, в них кроме сжатия появляется кручение от вышележащей нагрузки. Кручению полуциркулярная арка сопротивляется плохо, в данном случае в ней появляются дополнительные напряжения. Однако древний строитель сумел преодолеть эту трудность.

Очень интересна конструкция литого купола Пантеона. Для обеспечения ему некоторой упругости, однородности прочностных свойств и равномерности усадок при бетонировании в массив бетона сферического купола заложены две связанные каркасные системы, выполненные из кирпича (рис. 60). Внутренняя каркасная система купола состоит из 5 поперечных ребер и 28 меридиональных ребер. Вся система, разумеется, замкнута и образует регулярный каркас. Вторая каркасная система расположена в монолите купола над первой системой. Эта система уже состоит из более мощных 8 меридиональных ребер по числу пилонов стены и набора арок, связывающих эти ребра между собой в единый каркас. Указанные ребра второго каркаса опираются не на жесткие пилоны, а на упругие арки, перекинутые между пилонами стены. Вот эти две каркасные системы,

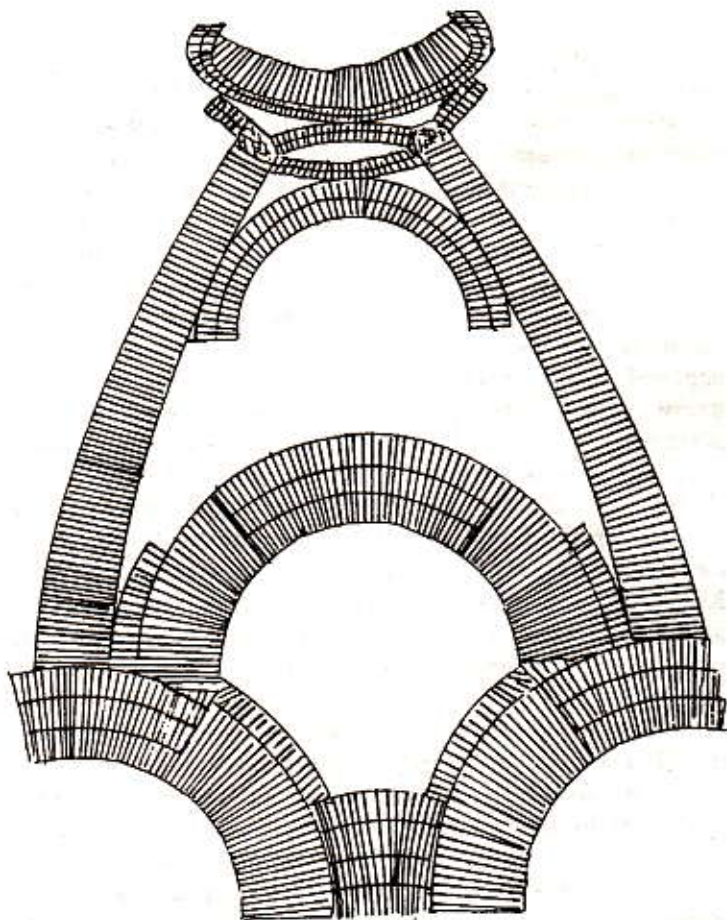


Рис. 59. Арки в стене Пантеона

втопленные в более мягкий, обладающий в какой-то степени пластическими свойствами однородный массив бетонного купола, и создали уникальный по своей идее сейсмостойкий купол. В последующие 2000 лет будет создано много различных куполов, усиленных ребристыми каркасами, но я нигде не встретил в описываемых конструкциях двойных каркасных систем.

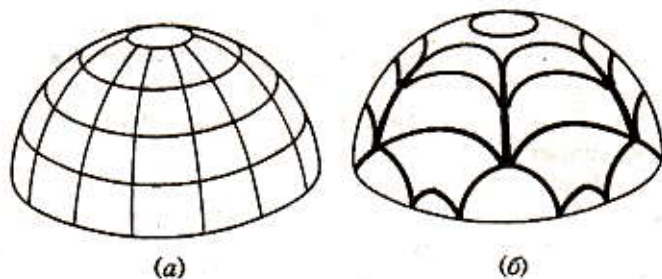


Рис. 60. Кирпичные каркасы купола Пантеона:
(а) внутренний; (б) внешний

Замечательный купол Пантеона, благодаря его удивительным строителям, цел до сих пор, и поэтому не все до конца выяснено с его конструкцией (обычно хорошо изучены рухнувшие сооружения). Есть в нем и кое-что загадочное, такое, что нам трудно понять с точки зрения современных представлений о работе конструкции. Например, современный конструктор обязательно бы совместил меридиональные ребра обеих каркасных систем, чтобы их легче было связать, а древний инженер сделал их так, что они не могут совпасть, взяв их 8 и 28. Они и не совмещаются нигде в одной вертикальной плоскости, хотя ясно, что работают совместно. Почему так сделано? Может быть, при таком расположении ребер купол будет более упругим или даже лучше проявятся в нем свойства пластичности. Все это надо бы исследовать. Конструкцией Пантеона с точки зрения его сейсмостойкости, по-моему, никто всерьез не занимался, а ведь это готовое решение многих проблем сейсмостойкого строительства.

Выше уже рассказано, что римские строители стремились основательно снизить вес стен Пантеона, тем более они боролись за снижение веса купола. Делалось это явно и из соображений экономии и эстетики, и, конечно, для повышения сейсмостойкости сооружения. Были проведены два следующих основных мероприятия, снижающие вес купола. Во-первых, по всей нижней поверхности купола были устроены кессоны, которые

представляют собой углубления между ребрами нижнего прямоугольного каркаса. Эти кессоны—пустоты довольно значительных размеров, у основания купола они имеют глубину 0,8 м при ширине 4,0 м, у вершины их глубина 0,6 м, ширина 2,5 м. Таких ячеек в куполе всего 140 штук. Ясно, что этим снят значительный вес. Кстати, важно, что кессоны отливались одновременно с куполом, в результате чего получилось, что сферическая оболочка опирается на арочную систему, образованную ребрами. Во-вторых, для снижения веса купола в нижних его частях, где самые большие напряжения, применяется в качестве заполнителя бетона твердый травертиновый камень, выше применяются более легкие заполнители из туфа и пемзы.

В опорном кольце гигантского купола Пантеона имеются огромные растягивающие усилия, и поэтому, чтобы их воспринять, в основании купола сосредоточены большие массы бетона и кирпича, которые плохо работают на растяжение.

Как видите, даже из такого краткого описания одного, правда, выдающегося римского сооружения понятно, как древние строители продуманно боролись за вечность своих сооружений.

Необходимо отметить, что высказывались сомнения о существовании каркасов из кирпича на всю высоту купола Пантеона, говорилось, что каркас поднимается только на высоту двух кессонов, но на Международном конгрессе по оболочкам в Москве в 1985 году опять рассматривалась каркасная система всего купола. Думаю, что правы сторонники полных каркасов. Вряд ли римские строители оставили, хотя бы из соображений равномерности усадки, большой массив бетона неармированный кирпичом. И к чему крепились подмости и опалубка при бетонировании верхней части купола?

Автором Пантеона считается выдающийся архитектор Апполлодор Дамасский, позволявший себе шуточки по поводу архитектурных проектов, выполненных лично императором Адрианом, за что и был им казнен.

Теперь для сравнения конструкций давайте рассмотрим другой купол, почти таких же размеров, но сооруженный там же, в Риме, спустя 14 столетий. У этого купола, пока он возводился, было несколько авторов, поэтому мы можем проследить творческую мысль в развитии.

С 1506 по 1546 г. крупнейшие зодчие пытались решить труднейшие архитектурные и конструкторские задачи, возникшие при возведении собора Святого Петра в Риме. Хотя, если уж быть точными, работы по перестройке базилики Св. Петра в собор начались еще в 1470 году. Базилика—это сооружение, выполненное в балочно-стоечной системе, состоящее из нескольких вытянутых продольных залов, нефов, как правило трех, разделенных рядами колонн. При возведении нового собора ставилась более сложная архитектурная задача: кроме большого горизонтального внутреннего пространства необходимо было добавить вертикальное обозрение, что можно сделать введением подкупольного пространства. Но теперь купол должен был опираться не на массивные стены, как это было в Пантеоне, а на четыре пилона, которые не должны были разрывать центральное пространство под куполом и пространства боковых нефов. Кроме всего прочего, купол должен был высоко парить над зданием собора, поднятый на цилиндрическом барабане со множеством световых отверстий. Как видите, конструкция сильно усложнилась. Здесь уже купол и стены не могли быть единым монолитом, как это было в Пантеоне. За счет поднятия купола на большую высоту поднимался и центр тяжести всего здания. Все это с точки зрения сейсмостойкости плохо, так как нарушаются принципы сейсмостойкого строительства. Думается, что это понимали те замечательные архитекторы, которые занимались этим собором. Посмотрим, как дальше развивались события.

По поручению папы Юлия II д'Анжело Браманте составил проект полной перестройки старой базилики Петра. Строительство началось в 1506 году. Общая площадь здания должна была при этом составлять

134х134 м, а купол, по имеющимся данным, Браманте предполагал скопировать с Пантеона, взяв его точно такого же внутреннего диаметра в 42,3 м. Но точно копировать при изменившихся условиях редко имеет смысл. Как и у Пантеона, новый полусферический купол предполагалось спрятать под семью ступенями монолитного бетона, а с внутренней стороны устроить кессоны (рис.61,а). Ясно, что такой монолитный купол будет очень тяжелым, но у Пантеона он втоплен в прочный бетон стены, а в соборе Браманте поднят на 48 колоннах, расположенных по периметру купола в три ряда. Такое крепление купола не могло обеспечить ему устойчивость даже от ветровых нагрузок, не говоря уже о сейсмических. В проекте собора у Браманте были и другие ошибки конструктивного характера. Например, четыре подкупольных опорных пилона, которые начали возводить при нем, были слабы, и последующие строители их усиливали. Из сказанного ясно, что первый проект собора Св. Петра не мог обеспечить сейсмостойкость этому сооружению в условиях частых землетрясений Рима.

После Браманте главным архитектором собора назначается Рафаэль с помощниками Антонио Сангалло и Перуцци. Но, к сожалению, из-за войн и других политических событий со времени смерти Браманте в 1514 году и до смерти Перуцци в 1536 году, сменившего в 1520 году на посту главного архитектора собора Рафаэля, работы по строительству собора практически не велись. Здесь наше внимание должен привлечь творческий труд Перуцци над разработкой центральных планов вообще и собора Петра в частности. Он ищет новое решение для купола. По-видимому, понимая недостатки купольных опорных пилонов Браманте, он разумно предлагает сделать вместо четырех восемь пилонов, усилив 16 приставными колоннами. Но вот по поводу размеров купола предложения у Перуцци были самые фантастические. Он предложил вместо купола диаметром 42,5 м устроить купол в 66,0 м, а потом он даже захотел

построить колоссальное центрическое сооружение с куполом диаметром в 185,0 м. Для сооружения из камня, кирпича и бетона это уже слишком, тем более в сейсмически опасном районе.

Строительство собора возобновилось при Антонио Сангалло в 1534 году, и этот этап строительства продолжался до 1546 года. Архитектор постарался сохранить сделанное Браманте. Будем продолжать обсуждать только конструкцию купола, не рассматривая те изменения, которые происходили в самом здании. Как совершенствуется конструкция купола—для нас самое интересное, впечатление такое, что зодчих интересуют не столько архитектурные красоты купола, сколько его сейсмостойчивость.

Создавая свой первый проект купола, Сангалло постарался сохранить только внешнюю форму сферического купола Браманте и при этом внести такие конструктивные изменения, которые бы исправили 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 м, как было у Браманте, до 7,5 м, 48 кольцевых колонн осталось, но теперь они были прислонены к стенке с небольшими оконными проемами. Всем этим была обеспечена хорошая связь между куполом и несущим барабаном. Интересны и далеко идут предложения по изменению самого купола. При сохранении сферической внешней поверхности купола внутренняя поверхность имеет возвышенную форму, примененную в Европе сто лет назад Брунеллеско в куполе Флорентийского собора. Кривая Сангалло имеет стрельчатую форму и описывается из двух центров, что обеспечивает плавное сопряжение купола и цилиндра (рис. 61,б). Как уже говорилось, стрельчатая форма куполов и арок способствует повышению их сейсмостойкости.

По-видимому, проведенные усовершенствования купола Браманте Сангалло не удовлетворили, он зацепился за идею стрельчатости и стал доводить ее до со-

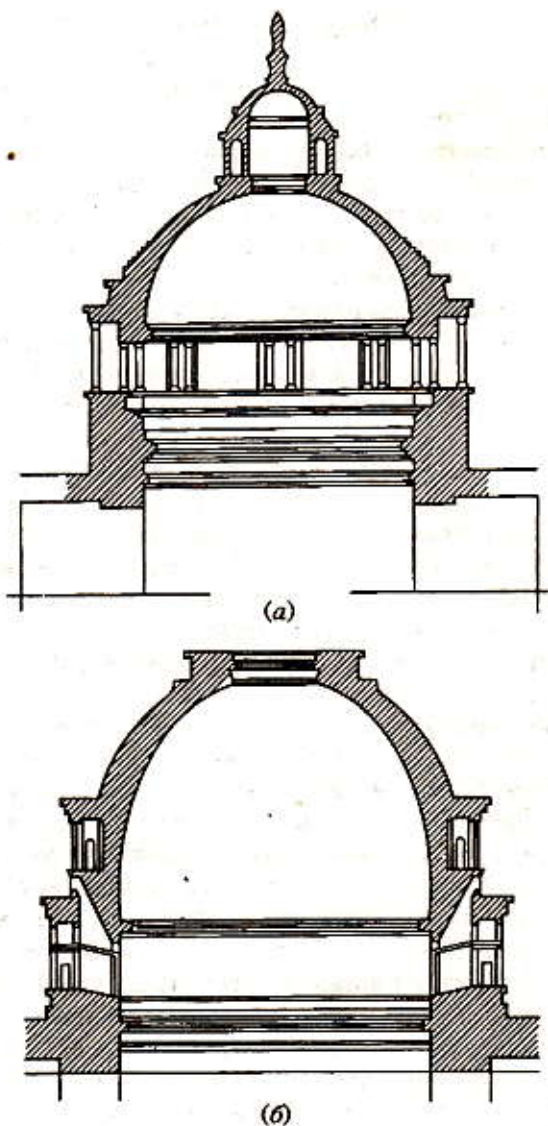
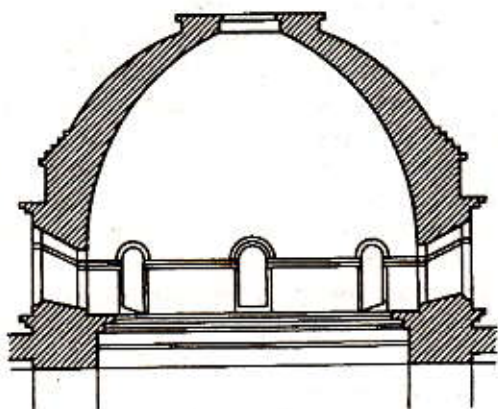
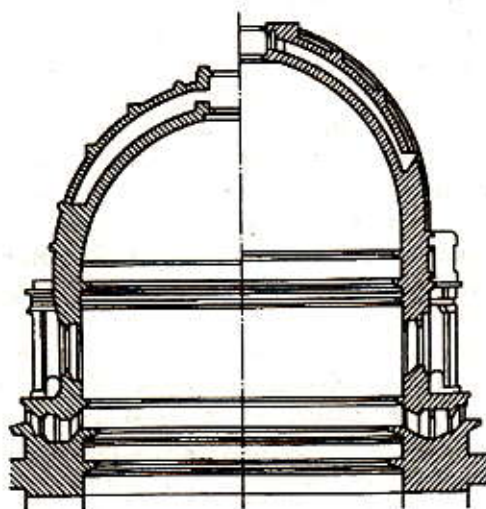


Рис. 61. Варианты купола Св. Петра: (а) Браманте;
 (б) исходный вариант Сангалло;



(a)



(b)

Рис. 61. Варианты купола Св. Петра: (a) последний вариант Сангалло; (b) Микеланджело

вершенства. Сколько было промежуточных вариантов купола, неизвестно, но последний известен. Последний вариант проекта собора Св. Петра Сангалло составил в 1533 году, он сохранился до наших дней в виде хорошей модели. В этом проекте он, по-видимому, синтезировал идеи всех предыдущих вариантов и получил следующее (рис. 61, е). Здесь использованы новые, интересные для нас два момента. Форма купола совсем другая, чем во всех предыдущих проектах, она эллипсовидная, вытянутая вверх. Ясно, что этим сразу уменьшен распор от купола и обеспечена плавность перехода от купола к барабану. Другая особенность купола Сангалло, обеспечивающая ему повышенную устойчивость, в том, что нижняя его часть охвачена, как поясом, двумя ярусами аркад. Сами аркады опираются на утолщенную стенку барабана, который теперь надежно гасит распор от купола. Подкупольные опорные пилоны были усилены, и с точки зрения прочности новый вариант был вполне приемлем, но сильно заостренный купол, загромаженный двумя ярусами арок потерял пропорции и архитектурную выразительность. Этот проект не был использован.

В 1547 году доходит очередь и до Микеланджело. Папа Павел III дает ему широкие полномочия, назначив его одновременно главным зодчим собора, комиссаром и инспектором, поручив наконец-то закончить собор, разобравшись в том строительном хаосе, который царил на строительной площадке с времен Браманте. Микеланджело подверг все сделанное критике и начал перекраивать все 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 отвергается, и он ищет свое решение. Любопытно, что все изменения, которые Микеланджело решительно проводит в конструкции собора, с одной стороны, направлены на придание ему монументальности, архитектурной цельности, а с другой—на повышение его сейсмостойкости. Микеланджело предлагает провес-

ти следующие переделки. Для повышения сейсмостойкости собора он упрощает его план, убирает выступающие части, упраздняет угловые башни. На первый план выдвигается центрально-купольное пространство, вокруг которого формируется все симметричное здание с плавно очерченными и без изломов сопряженными стенами.

Особое внимание Микеланджело уделяет, конечно, куполу как самому сложному и сейсмически ненадежному элементу конструкции. Он делает несколько моделей из глины и дерева, но уже в первой модели применяет конструкцию двойного купола (рис. 61,з), состоящего из двух скорлуп, соединенных ребрами жесткости. Материал в таком двойном куполе расположен более рационально, чем в сплошном, и соответственно он получается легче. Кстати, в уже упоминавшемся Флорентийском соборе, хоть и было две оболочки, несущей была одна, вторая была защитной. Здесь же Микеланджело сделал обе оболочки равноправными, несущими.

Микеланджело успел возвести барабан купола, а сам купол закончил в 1588-1590 годах Джакомо делла Порта, следуя идеям Микеланджело и подняв очертание купола еще более чем на 4,0 м, снизив еще распор.

Созданные по идеям Микеланджело конструкции отличаются изяществом и тонкостью, что не всегда идет на пользу сооружению с точки зрения долговечности. Стена барабана, возведенного самим Микеланджело, имеет толщину всего 3,0 м, к которой добавлено 16 контрфорсов, а в основание купола заложено три кольцевых железных обруча, и всего этого оказалось недостаточно, чтобы держать распор от гигантского, более чем сорокаметрового купола. Контрфорсы из камня отслоились от кирпичной стены барабана, и для упрочнения купола в 18-м веке его пришлось усиливать шестью обручами, четыре на купол и два на барабан. В отношении прочности массивный барабан Сангалло обладал, конечно, преимуществами. Оказалось, что в таком грандиозном сооружении, как собор Св. Петра,

трудно совместить законы строительной механики и архитектурные требования. Что касается соблюдения принципов сейсмостойкости в самом здании собора, то они выполняются. Не знаю, на каких грунтах и как заложены фундаменты, но в сооружении с двухосевой симметрией соблюдается принцип каркасности, под которым подразумевается, что все несущие элементы здания—стены, пилоны, колонны—связаны между собой, образуя единые замкнутые контуры, что гарантирует от перегрузки каких-то элементов во время землетрясения. То, что здание простояло более 400 лет, подтверждает его сейсмостойкость.

Мы с вами рассмотрели некоторое количество вариантов куполов, с тем чтобы понять, что снижает, а что повышает их сейсмостойкость. Это пригодится нам в дальнейшем, и мы увидим, как много общего в человеческом мышлении, хотя в зависимости от местных традиций и стройматериалов при одинаковых идеях конструктивное воплощение может быть разным. Теперь еще несколько небольших сюжетов о куполах.

Римские строители большое внимание уделяли облегчению различных конструкций, особенно куполов. Известно, что для этого в массив купола Пантеона закладывались пустые глиняные амфоры и пемза. Иногда в толщу купола закладывали целые, следующие одно за другим, кольца из специальных глиняных пустотелых сосудов, вкладываемых один в другой. Можно, наверное, до бесконечности перечислять оригинальные римские сооружения и восхищаться четкой строительной техникой их создателей. Но, к счастью, мы с вами не ставили задачу изучить все римское зодчество. Наша задача гораздо скромнее. Нас интересуют только антисейсмические приемы, которые можно продемонстрировать на ограниченном числе примеров. Поэтому мы не будем анализировать дальше многочисленные мавзолеи, акведуки, мосты, виллы, базилики, думается, что из уже сказанного понятен высокий профессиональный уровень римских строителей, видна хорошая организация

проводимых ими работ и не вызывает сомнений высококачественность их сооружений, а также то, что сейсмической опасности римский строитель уделял достаточно внимания. Прежде чем расстаться с римской эпохой, давайте разберем в заключение несколько примеров.

Рассмотрим термы, которые в общественной жизни того времени играли важную роль. В начале III в. (212-216 гг.) в Риме при императорах династии Северов были построены колоссальные общественные сооружения многоцелевого назначения—термы Каракаллы. Главный корпус имел размер в плане 214x110 м (рис. 62) и состоял из симметрично расположенных помещений разной высоты, площади и перекрытых различными конструктивными элементами. Короче говоря, это здание, хоть и имело одну плоскость симметрии, было чрезвычайно неоднородной и нерегулярной структуры. Вообще-то это нарушение принципов сейсмостойкого строительства, согласно которым так строить нельзя. Посмотрим, к чему привело это нарушение, для этого рассмотрим конструкцию терм детальнее. Как видно из плана терм, все сооружение группировалось и примыкало к круглому залу с бассейнами, перекрытому литым, как у Пантеона, куполом диаметром 35 м (1). Центральное место в термах занимал огромный зал размером 20,0x54,0 м, перекрытый тремя крестовыми цилиндрическими сводами из литого бетона, опиравшимися на восемь столбов с приставными колоннами (2). Это были две самые высокие части терм. Их окружали многочисленные более низкие сводчатые помещения, которые и воспринимали распор от вышележащих частей. Получилось, что передаваемыми и воспринимаемыми распорными усилиями части здания были связаны между собой, поддерживая друг друга. Антисейсмических швов, которые разделяли бы это гигантское сооружение на отдельные независимо деформирующиеся во время землетрясения части, устроено не было. Это опять нарушение принципов сейсмостойкости. К другим недостаткам этого сооружения с точки зрения

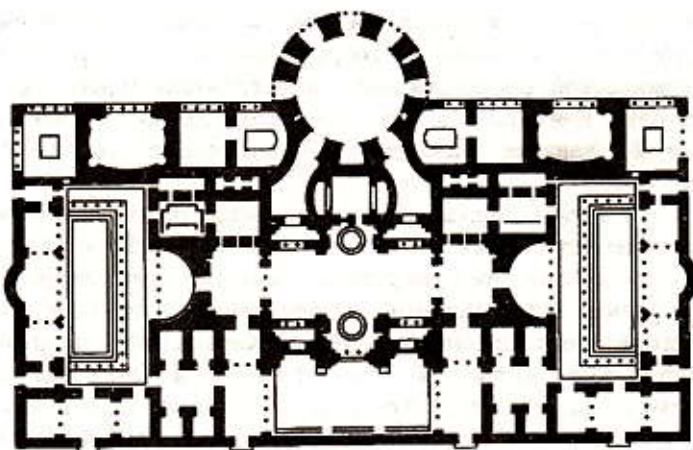


Рис. 62. Симметричная нерегулярность терм Каракаллы

сейсмостойкости можно отнести то, что оно расположено на склоне холма, и, следовательно, ко всем прочим неоднородностям добавляется неоднородность грунтового основания. А в остальном, если говорить о материале конструкции и прочности несущих элементов, все это отвечало требованиям сейсмостойкости. У Башкирова А.С. есть любопытное, даже спорное рассуждение по поводу сейсмостойкости конструкций терм Каракаллы. Он считал, что разнообразием конструкций древний строитель заменял гармоничные движения дисгармоничными хаотическими движениями, гася этим как бы колебания здания, возникающие при землетрясении. Под сказанным он подразумевал, по-видимому, синхронные и несинхронные колебания элементов конструкции. Действительно, за счет неоднородности конструкции происходит некоторое гашение колебаний, но в каком-то месте может произойти и их наложение, поэтому в сейсмоопасном районе лучше иметь дело с конструкцией однородной структуры, в которой напряжения будут распределяться равномерно, чем с нерегулярной структурой здания, в котором где-то будут недогрузки, а где-то перегрузки. Во

всяком случае, термы Каракаллы дошли до нас в руинном состоянии, и основной причиной их разрушения следует считать подземные толчки, а потом уже свое черное дело сделали люди.

В противоположность термам Каракаллы, которые имели исключительно нерегулярную общую структуру, базилика Константина была идеально регулярным сооружением (рис. 63). Эта базилика является одним из последних шедевров римского строительного искусства. Она была построена на Римском форуме в 307-312 гг. Центральный неф базилики имеет такое же конструктивное решение, как и главный зал терм Каракаллы, только еще больше по размерам. Он перекрыт тремя прямоугольными в плане крестовыми сводами, выполненными в римской технике литого бетона и усиленными кирпичными ребрами. Размеры нефа в плане 80x25 м, высота 35 м. Размеры же всей базилики в плане 100x75 м.

Создается впечатление (рис. 63), что вся конструкция базилики Константина представляет собой хорошо продуманную регулярную структуру. Три крестовых свода центрального нефа образуют единый монолитный жесткий диск. Его вес, правда, великоват—7000 т. Получилось это в результате того, что крестовые своды — это не просто тонкие оболочки, а достаточно толстый массив бетона, имеющий снизу поверхность в виде пересекающихся цилиндрических поверхностей, а сверху образующий двускатную кровлю. Система крестовых сводов опирается на толстые столбы, поддерживаемые, как видно на плане базилики, поперечными стенами-контрфорсами. Эти же стены-контрфорсы, расположенные в боковых нефках и связанные между собой цилиндрическими сводами, надежно держат распор от крестовых сводов. Все своды армированы расположенными друг над другом двойными кирпичными арками общим сечением 1,20x0,60 м. Материал конструкции—кирпич хорошего качества и прочный литой римский бетон. Высокие прочностные свойства материал базилики сохранил до нашего времени. Казалось бы, и все сооружение, так

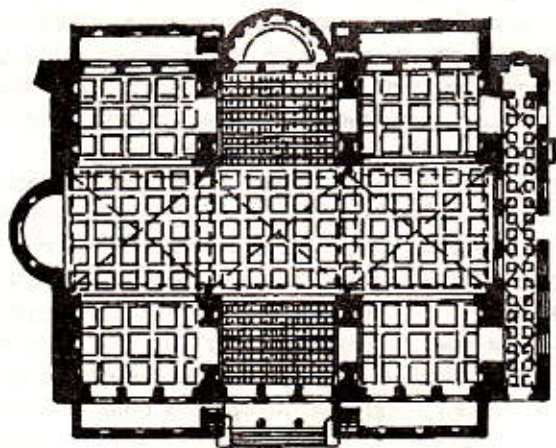
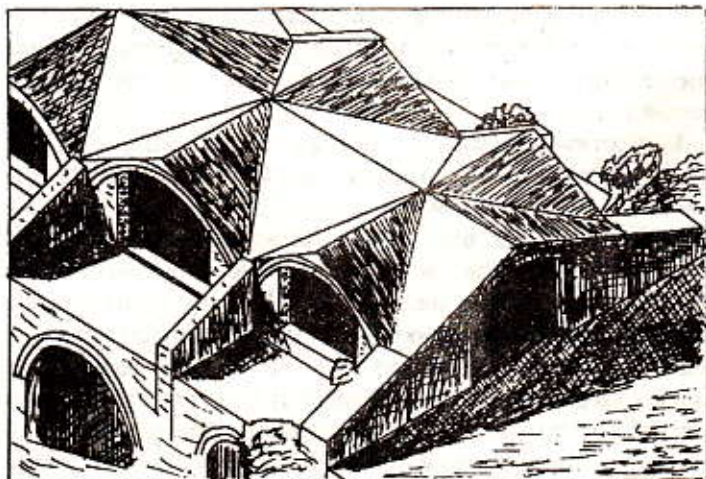


Рис. 63. Крестовые перекрытия базилики Константина

разумно построенное, должно было сохраниться до наших дней. Но, к сожалению, и в этом шедевре поздней римской архитектуры были ошибки, которые привели к его разрушению во время землетрясения.

Основной конструктивный недостаток базилики Константина заключался в том, что она имела неоднородное основание. Практически по диагонали сооружения проходило ребро туфовой скалы, на которое непосредственно была поставлена базилика. По другой диагонали в основании сооружения были заложены слоистые бетонные субструкции. Под одним углом их толщина была 6,0-8,0 м, под другим углом 5,0-6,0 м. Перед началом бетонирования фундамента хотя бы часть скалы необходимо было снять, но это не было сделано. В результате деформативные свойства основания сооружения получились различными: скала жесткая, слоистые фундаменты податливые. К тому же пяты крестовых сводов были вынесены к центру нефа и только частично опирались на массивные столбы. Естественно, что при землетрясении произошли неравномерные осадки фундаментов и крестовые своды переломились. Отрицательную роль здесь также сыграли большие веса и пролеты сводов.

Итак, последний пример из истории римской архитектуры. Известен совершенно уникальный случай изготовления монолитного многотонного купола из цельного камня. Это купол на гробнице Теодориха в Равенне. Теодорих, король остготов, успешно противостоявший византийской империи, умер в 526 году. Купол был целиком вырублен в Истрии и доставлен на буксире между двумя кораблями до отмели, откуда и был уже подтянут к близкому месту установки (рис. 64). Когда я вспоминаю этот случай, меня мучают вопросы. Для чего это было сделано? Хотели создать восьмое чудо света, или строить сооружения как можно монолитнее и однороднее было принципом римских строителей? А может, это каприз заказчика толкнул строителей на этот невообразимый труд?

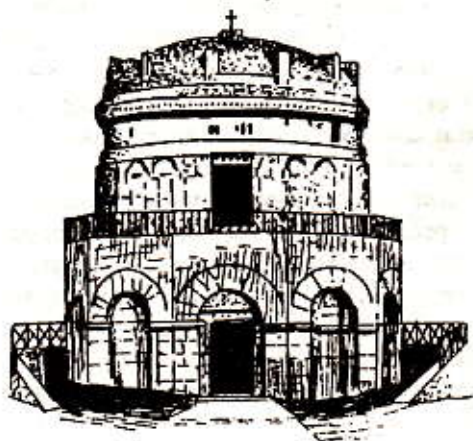


Рис. 64. Монолит купола гробницы Теодориха

На этом мы кончаем беглое знакомство с сейсмостойкостью римских сооружений [21-23]. Надеюсь, уроки древних строителей пригодятся и современным. Отправимся дальше вслед за римским императором Константином.

Кирпич и камень Византии

Кризис рабовладельческого хозяйства на Западе Римской империи вызвал к жизни новую империю на Востоке—Византийскую с зачатками феодальных отношений. Этот же кризис изъяс из арсенала строителей трамбованный бетон, который при новом общественно-экономическом укладе стал малоподходящим. К тому же пуццолановые месторождения оказались теперь на территории остготов и стали недоступными для византийских строителей. Любопытен такой факт, что стены Константинополя, возведенные вскоре после его основания (330 г.) в римской технике литого бетона, уже при императоре Юстиниане (527-565 гг.) вызывали только удивление, как чудо. Техника литого бетона была забыта

так основательно, что жителей поражало, как это стены были вырублены из цельного камня. Хотя некое подобие литому бетону—бутовая кладка—применялось. Она выполнялась на известковом растворе путем послойной укладки в опалубку щебня и раствора без трамбования. В бутовой кладке достигалась значительная экономия ручного труда по сравнению с производством литого бетона, но и прочность такой кладки была намного меньше, что, естественно, ограничивало высоту сооружений, в которых применялась бутовая кладка.

Из строительных материалов Древнего Рима Византийская империя унаследовала камень и кирпич. Сначала они для строительства новых сооружений добывались из старинных римских. Потом было налажено производство своего кирпича. Но если римский кирпич изготавливался из чистой хорошо промешанной глины при сильном и равномерном обжиге, что позволяло делать его размером до 70x70x8 см, то византийский кирпич делался из хуже перемешанной глины с примесями камня размером 35x35x5 см, что, естественно, снижало его качество. В целом византийская достаточно самобытная строительная техника со многими элементами нового по своему качественному уровню была, конечно, ниже римской высококачественной, точно организованной строительной техники. Отсюда и разрушения византийских сооружений при землетрясениях происходили чаще, чем римских. Здесь чаще падали купола, даже у такого уникального сооружения, как София Константинопольская, известны случаи обрушения купола при землетрясениях. Но давайте все по порядку.

При рассмотрении сейсмостойкости византийских сооружений давайте поступим так, как мы делали с вами и раньше. Не будем подробно рассматривать строительные приемы того времени, не станем разбираться и в деталях истории архитектуры, а выделим только то новое, что появилось в конструкции византийских сооружений, проанализируем это новое с точки зрения сейсмостойкости на примере сохранившегося сооружения, а потом

рассмотрим какие-то специфические элементы сейсмостойкости конструкций того времени.

Выше уже обсуждалось, что существует две строительные системы: балочно-стоечная и купольная, как правило центрическая. В Византии стала применяться еще третья система—синтезированная из двух первых. Это уже продукт христианской эпохи, когда потребовались для исполнения религиозных служб большие помещения, над которыми господствовал купол, освященный новой религией как символ неба. Синтезированные системы представляли собой большие продольные помещения, выполненные в балочно-стоечных конструкциях, над центром которых возвышался купол, опирающийся на специальные пилоны или стены. Такие конструкции появились примерно в V в., в них гармонично сочетались продольные и центричные системы, традиции Запада и Востока. Кстати, зарождение христианства было отмечено землетрясением. Согласно Библии, воскрешение Христа началось с того, что землетрясением был отвален камень, закрывавший вход в склеп, где он был похоронен. И тогда только спустился ангел и пришли женщины. Христианство предъявило новые требования к строительству монументальных культовых сооружений. Если раньше в храм имели доступ только избранные лица, жрецы, а все действие проходило снаружи, то теперь молящиеся собирались внутри и надо было обеспечить всем им место. В то же время надо было в нужном направлении воздействовать на них всем внутренним оформлением церкви.

Изучать строительное искусство Византийской империи начнем, естественно, с выдающегося времен Юстиниана памятника мировой архитектуры—Софийского собора в Константинополе (532-537 гг.). Геометрическая форма этого сооружения довольно проста (рис. 65). Она состоит из трех постепенно переходящих друг в друга фигур: нижний прямоугольник основного очертания плана, промежуточный овал полукуполов и окружность купола. Все вместе образует нечто среднее между продольной

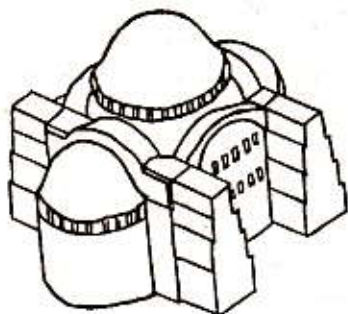


Рис. 65. Геометрическая форма Софийского собора

базиликой и центрическим зданием. Собор перекрыт большим легким куполом диаметром 33 м. Оригинально выполнено опирание купола. С двух сторон он опирается на арки, выполненные из кирпича, добытого из старых римских построек. К этим аркам примыкают боковые полукупола, несущие распор от главного купола в продольном направлении. С остальных двух сторон купол опирается на стены, усиленные арками и от распора купола подпираемые пилонами—контрфорсами.

Основным строительным материалом Софийского собора является кирпич на цементном растворе (известь, толченый кирпич, песок, вода). В качестве антисейсмических поясов в кладку закладывались прокладки из тесаного камня. Четыре подкупольных опорных столба выложены из блоков крепкого известняка. Для обеспечения равномерного распределения нагрузки в каменной кладке в швы между каменными блоками закладывались пластинки из свинца.

Любопытно, что свинцовые пластинки, обладающие высокими пластическими свойствами и соответственно предохраняющие каменную кладку от концентраций напряжений, в то же время служат изоляторами колебаний, распространяющихся в этой кладке. Византийские зодчие широко применяли свинец в своих конструкциях. Например, укладывались свинцовые пластины на колонны

и под колонны, что обеспечивало равномерную загрузку колонны и предохраняло ее от внецентренного сжатия даже в случае неравномерных осадок всей конструкции. Чтобы свинец при загрузке колонны не выдавливался, его обжимали металлическими обручами.

Софийский собор стоит до сих пор и, надо надеяться, простоят еще долго, но все-таки той простоты и гармонии, которая требуется для сейсмостойкого сооружения и какую мы наблюдали в Пантеоне, в нем нет. Обсудим некоторые недостатки Софийского собора с точки зрения сейсмостойкости, их довольно много.

Прежде всего общая компоновка. Если взглянуть на наш схематический рисунок, то видны тяжелые четыре контрфорса, слабо связанные между собой арками. Ясно, что эти контрфорсы во время землетрясения, с одной стороны, будут вроде бы поддерживать все сооружение и воспринимать распор от купола, а с другой стороны, они будут колебаться, независимо создавая дополнительную нагрузку на стены собора, стараясь от них оторваться. Если к этому добавить, что стоящие друг против друга контрфорсы были расположены не по одной оси, а со значительным смещением, то понятно, что они будут провоцировать во время землетрясения закручивание всего сооружения. Далее, эти же пилоны-контрфорсы не обладали достаточно прочными фундаментами. Они покосились уже при возведении подпружных арок, а после окончания строительства разошлись на 65 см. Скорее всего это произошло из-за неоднородности грунтового основания. Получается, в сооружении были разрушения еще до всяких землетрясений, что недопустимо для сейсмостойкого здания. Для укрепления слабого грунтового основания пришлось под всем собором устроить систему сводов, поддерживающих однородную бетонную плиту. Уже на эту плиту ставились фундаменты всего сооружения. Для византийского зодчества эта обширная сводчатая подземная конструкция очень характерна. Она называлась цистерна. Эти цистерны служили не только как субструкции под фундаменты

сооружений, они могли выполнять роль различных промышленных помещений, в том числе и для хранения воды. Далее еще разберем пример такой цистерны.

Обсудим теперь главную архитектурную и конструктивную деталь Софии, ее купол. Первоначальный ее купол имел очень небольшую стрелу подъема, всего около 8,2 м, что составляет четверть диаметра купола. Такой купол имеет очень большой распор, это с точки зрения сейсмостойкости недопустимо, и зодчий Анфимий скорее всего знал о сирийских возвышенных куполах с малым распором, но увлекся своим художественным замыслом. Результат: купол рухнул на 32 году царствования Юстиниана при землетрясении. Новый купол Исидора Младшего (563 г.) возведен уже в виде полусферы, он на 6,3 м выше старого. Это облегченный ребристой конструкции купол, сорок его ребер опирается на сорок оконных простенков, которые имеют толщину 2,4 м и играют роль контрфорсов.

Далее, четыре подпружные арки, на которые опирается купол, имеют различную жесткость, так как они связаны с различными конструкциями, две связаны с полусферами, а две со стенами. Естественно, что во время землетрясения в куполе за счет опор различной жесткости возникнут и неравномерные напряжения. Все это привело к тому, что купол несколько раз падал и восстанавливался с усовершенствованиями в византийское время. Было, например, введено такое усовершенствование. Металлические затяжки в основании купола, которые раньше применялись как монтажные и после окончания строительства спиливались, теперь стали оставлять, заметив, что, воспринимая часть распора от купола, они повышают его сейсмостойкость. При солидной реставрации собора уже в XV в. при султанах Абдула Меджиде купол был укреплен металлическим кольцом. Одновременно пришлось выровнять многие покосившиеся колонны.

Все строительные конструкции можно разделить на два больших класса по их способности к деформациям: гибкие и жесткие. Так вот Софийский собор по своей

конструктивной схеме и по своим материалам относится к жестким. Но жесткость его, по-видимому, обеспечена недостаточно, его части имеют возможность двигаться одна относительно другой, разрушая связи, в этом заключается основное несовершенство данной конструкции.

Естественно, византийскими зодчими продолжались поиски новых, более совершенных конструктивных схем в соответствии с требованиями синтезированных систем, о которых говорилось выше. И такая конструкция была найдена. Это крестово-купольная архитектурная система, которая считается основным достижением византийских мастеров. Хотя этот вопрос спорный и некоторые авторы утверждают, что крестово-купольная система была впервые применена в Армении. Истина, как всегда, наверное, лежит где-то посередине, но не это для нас суть важно, для нас главное, что такие системы были изобретены, и необходимо выяснить, чем они хороши и плохи для строительства в сейсмически опасных районах.

Если отбросить архитектурно-художественные и конструктивные детали, присущие конкретному сооружению, то крестово-купольная система по своему замыслу представляет следующее. Это квадратная в плане площадь, огороженная четырьмя стенами. В центре этого квадрата имеются симметрично расположенные четыре достаточно мощные опоры, которые поддерживают купол, являющийся художественным и конструктивным центром всей конструкции. Центральный купол перекрывает центральную ячейку сооружения. Остальные восемь ячеек, образованные четырьмя центральными опорами, перекрываются, как правило, цилиндрическими сводами. Как видите, изначально с точки зрения сейсмостойкости вся конструкция является симметричной с достаточно равномерно распределенными массами. Единственное, что может нарушать общую гармонию,— это центральный купол, поднятый на высоту с помощью цилиндрического или многоугольного барабана. Соответственно надо обеспечить ему крепление. Исходя из

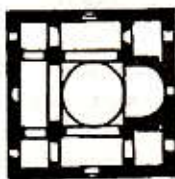
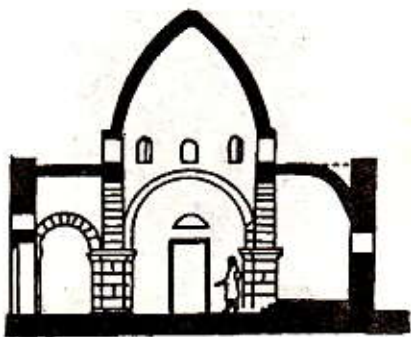


Рис. 66. Крестово-купольная система

принципа каркасности, необходимо также обеспечить связь центральных опор со стенами. Короче говоря, крестово-купольная система удовлетворяет в принципе требованиям сейсмостойкости, но окончательное заключение о сейсмостойкости конкретного сооружения можно дать только исходя из анализа его детального воплощения. Приведем пример, чтобы посмотреть на конкретную схему крестово-купольного сооружения.

Можно сказать, классическую идеальную схему крестово-купольного сооружения дает церковь в Иль-Андерин в Сирии VI в. (рис. 66). Глядя на этот рисунок, видим, что массы и жесткости в этом сооружении распределены довольно равномерно и симметрично относительно плоскостей симметрии. Но самое, пожалуй, главное в том, что куполу обеспечено надежное вертикальное и горизонтальное опирание. В вертикальном направлении держат четыре мощных пилон, а жесткость заделки ку-



Рис. 67. Сверхнадежная арка и армирование каменной стены кирпичными прокладками

пола в перекрытие обеспечивают примыкающие к нему цилиндрические своды, образующие жесткий крест. Кроме того, в крестово-купольной системе выполняется еще один принцип сейсмостойкости, который был выше назван принципом каркасности и под которым подразумевается обеспечение замкнутости вертикальных и горизонтальных контуров конструкции. Подробнее детали показанного на рис. 66 сооружения разбирать не будем, так как нам придется ими заниматься, когда мы уже в следующей главе доберемся до крестово-купольных систем Армении.

Интересный момент для нас в строительной технике Византийской империи—это устройство поясов из камня в кирпичной кладке, как показано на рис. 67. На этом же рисунке фрагмента сухопутной стены видна мощная арка, выполненная из четырех рядов кирпича, уложенного плашмя, и перекрывающая ворота. Иногда делалось и наоборот—в каменной кладке прослойки кирпича. Применялись также толстые слои раствора, равные толщине кирпича. Все это было направлено на то, чтобы придать кладке пластичность, упругость и связанность.

Еще один тип замечательных сооружений существовал в Константинополе и его окрестностях, некоторые из них сохранились до сих пор, что говорит об их сейсмостойкости.

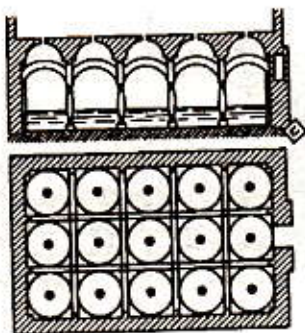


Рис. 68. Регулярная конструкция цистерны в Константинополе

Это так называемые цистерны. Одна из них уже упоминалась. Она образовывала обширную платформу, служившую основанием под Софийский собор. Все цистерны однородны по конструкции и отличаются только занимаемой ими площадью, всегда простым прямоугольником, и количеством этажей, достигающих иногда трех. Громадные помещения перекрывались с помощью сводов небольшого пролета, которые поддерживали многочисленные колонны. В Константинополе было сооружение особенно гигантское, имевшее размер в плане 72x65 м и называвшееся Бин-Бир-Дирек, что означало тысяча и одна колонна (рис. 68). Вот эти цистерны, о которых мы с вами говорим, являлись в общем-то типовыми сооружениями, но какими надо было быть виртуозами кирпичного дела, чтобы точно выложить многочисленные арки, перекинутые во всех направлениях с колонны на колонну, а эти арки объединить в единое целое со сводчатым перекрытием, для которого арки являются ребрами жесткости. Весь жесткий диск сводчатого перекрытия связывался с массивным четырехугольником толстых стен, назначение которых—удержать все целиком перекрытие от горизонтального смещения в случае сейсмического толчка, так как колонны воспринимают практически только вертикальную нагрузку. Для этого



Рис. 69. Разгрузочная система моста

сооружения описания фундаментов я нигде не мог найти. Этот важный фактор с точки зрения сейсмостойкости примем за неизвестное.

Рассмотрим еще один интересный конструкторский прием, известный в Византии. На рис. 67 показано обычное арочное перекрытие, такое же, как его могли сделать римляне, но в некоторых случаях византийцы применяли совсем другую конструкцию свода, которую римляне никогда бы не применили. При строительстве протяженных сооружений типа акведуков и мостов римские строители перекрывали пролеты между опорами с помощью арок. Возникавший при этом распор от полуциркульных арок уравнивался через опоры распором от соседних арок, получалась связанная цепочка. В результате разрушение любой опоры или арки могло вызвать цепную реакцию разрушений и соседних арок, находящихся теперь в неравновешенном состоянии. В некоторых византийских подобных сооружениях такая ситуация не могла случиться, так как в них применялось совсем другое конструктивное решение. При этом решении каждая полуарка является как бы консолью переменной жесткости, а сама арка в замке разрезана. В результате полуарки в замке только соприкасаются без всякого взаимного нагружения. Каждая опора, несущая пару полуарок-консольей, представляет собой уравновешенную систему, и разрушение одного пролета не влияет

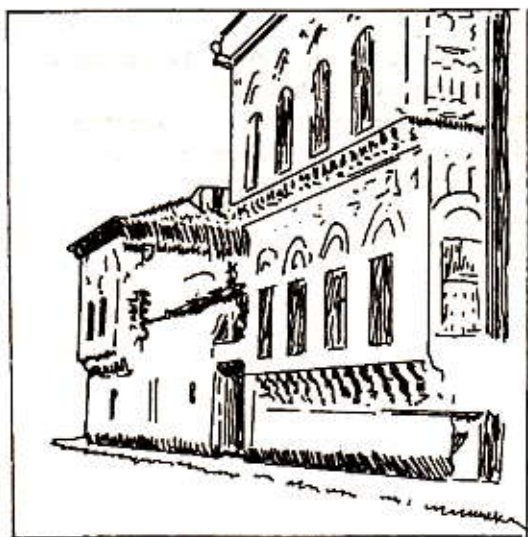


Рис. 70. Ступенчатость стен византийских жилых зданий

на прочность всего сооружения. Кстати, такая конструкция применялась и сейчас применяется для сооружения мостов в горной местности на Востоке, например в Индии, на Кавказе, в Дагестане. В этом случае делаются береговые и промежуточные устои в виде балок переменного сечения (рис. 69), соединенные укороченным настилом моста, чем, разумеется, значительно снижается пролетный изгибающий момент. Конструкция такого моста получается сейсмостойкой, независимые подвижки гибко связанных устоев ей не страшны.

Еще стоит упомянуть один неудачный строительный прием, который стал традиционным в жилом строительстве Константинополя. В VI в. в Византию широко стали проникать традиции Востока. Одновременно в черте города стало не хватать земли для застройки. Тогда-то и возникла традиция строить балконы и значительно выдвигать стены вторых этажей в сторону улицы (рис. 70). Стены первых этажей получались загруженными вне-

Кавказ от Черного моря до Каспийского

Сейсмостойкость Армянских и Грузинских храмов

Вот и добрались мы до Кавказа, места, где можно найти следы всех древних цивилизаций. Здесь издавна существовали государства со своей самобытной культурой и с обширными международными связями. Предлагаю начать наше путешествие по Кавказу с Армении. Будем рассматривать сооружения, которые были построены здесь уже в новую эру, т.е. после Рождества Христова.

Рассмотрим удивительнейшее сооружение I века — античный храм Гарни, чудом уцелевший от уничтожения после принятия христианства в Армении Традатов III в самом начале IV в. Этот храм не являлся исключением, можно предположить, что таких храмов тогда было много, но после принятия христианства в Армении как государственной религии языческие сооружения разрушались и на их месте ставили кресты, позднее на этих местах возникли христианские храмы. Так, выдающийся памятник армянского зодчества, Эчмиадзинский храм, был возведен на месте креста, посвященного Григорию Просветителю, который в свою очередь был поставлен на месте разрушенного языческого капища.

Рассматривать все остальные античные сооружения Гарнийской крепости, которая находится всего в 27 км от Еревана, мы не будем, хотя здесь можно найти много интересного среди остатков оборонительных соору-

жений, бань и храмов. Здесь можно даже увидеть кое-что из времен ранней бронзы, то есть остатки сооружений III тысячелетия до н.э. Но думаю, что нам достаточно будет рассмотреть только один Гарнийский храм, чтобы иметь представление о неправдоподобно высокой строительной технике того времени и чрезвычайно квалифицированной продуманности его антисейсмических мероприятий.

Самый первый взгляд на античный храм Гарни вызывает некоторое недоумение. Каким ветром сюда занесло этот греческий храм? Перед вами вроде бы самый настоящий греческий периптер с завитками ионических колонн (рис. 71). Но это только на первый взгляд. На самом деле в нем гармонично сочетаются греческие формы и строительные приемы армянских мастеров. Хотя бы такой момент—весь храм составлен из деталей, вырубленных из базальта. Греческие мастера работали в мраморе и известняке и обрабатывать базальтовые твердые глыбы они бы не смогли. Но, как всегда, начнем по порядку, с фундамента.

Храм стоит близко к краю обрыва на наклонном участке скалы, поэтому с помощью известкового бутобетона и песка скала была выровнена таким образом, что была создана горизонтальная площадка. При этом ближе к обрыву толщина бутобетона достигала 2,5-3,0 м, с противоположной стороны она была практически равной нулю. Из того же бутобетона чисто по-восточному выполнена платформа, на которой стоит все сооружение, так называемый подиум храма. Стены, же, как и положено в греческом храме, выложены всухую, без раствора. Камни стен в горизонтальном и вертикальном направлениях соединены между собой железными штырями и скобами, залитыми свинцом, при этом стены сложены из одинарных камней, так что ширина стены равняется ширине камня. Любопытно, что барабаны колонн между собой, с плитой пола и с перекрытием соединяются двумя и тремя бронзовыми стержнями, а греки в таком случае ставили один центральный штырь.

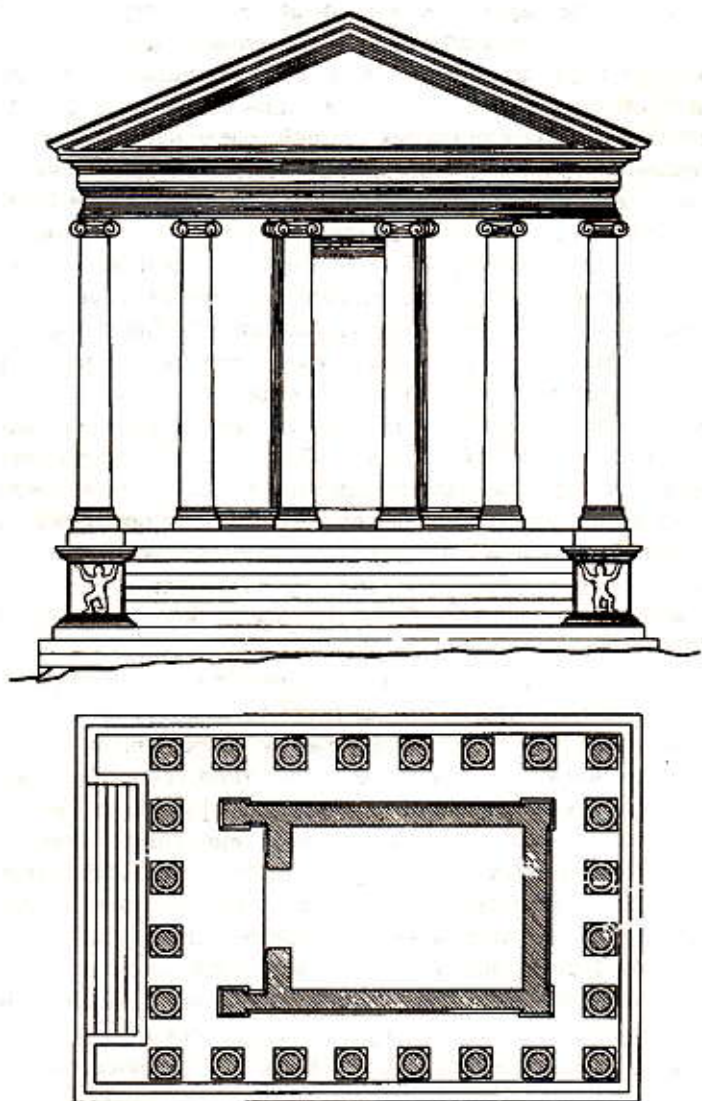


Рис. 71. Храм Гарни—греческая форма, армянская строительная техника

Части перекрытия также соединяются стержнями и скобами. Имеются довольно убедительные доказательства, что храм Гарни имел над своей центральной частью, целлой, перекрытие в виде цилиндрического свода пролетом 5,5 м из клинчатых камней, соединенных известковым раствором одновременно с металлическими связями. Такую конструкцию свода мы уже встречали в Причерноморских греческих колониях. Греки, как вы помните, сводов в перекрытиях храмов не применяли, они устраивали более легкие деревянные стропильные перекрытия. Этот же храм целиком каменный. Пространство между сводами целлы и плоским перекрытием из плит над боковыми колоннадами и кровлей было залито известковым раствором с легким заполнителем из вулканических камней. Таким образом, двускатная поверхность кровли была образована массой облегченного бутобетона, который залит от нижних плит покрытия до черепицы кровли. Такую конструкцию покрытия из массивного литого бетона мы уже встречали в базилике Константина, которая была построена более чем через 200 лет после храма Гарни.

Если проанализировать конструктивную схему кратко описанного храма, то мы получим расчетную модель сооружения, до этого нигде нами не встреченную. Ранее мы рассмотрели податливые схемы типа греческих храмов или жесткие монолиты римских сооружений. Теперь мы встретились как бы с комбинированной схемой, которая выглядит следующим образом. Две абсолютно жесткие пластинки: нижняя—это платформа из тяжелого бутобетона и верхняя—это перекрытие из камня и легкого бутобетона, а между ними податливая опорная связь из колонн и стен, образованная каменными блоками, поставленными насухо и соединенными упруго-пластическими связями. В этой модели сооружения все жесткости и массы расположены симметрично относительно продольной плоскости симметрии. Размеры сооружения в плане весьма умеренные, порядка 11x15 м, что соответствует требованиям сейсмостойкости. При опи-

санной расчетной схеме сооружения податливые колонны и стены будут работать во время землетрясения как сейсмоизоляторы. Движения нижней жесткой плиты не будут полностью передаваться на верхнюю плиту за счет смягчающего действия податливо работающих стен и колонн. Соответственно будет снижаться и сейсмическая нагрузка в таком сооружении. Как видите, конструктивная схема этого сооружения очень четкая, жесткий тип фундаментной опорной плиты соответствует жесткому недеформируемому перекрытию.

Короче говоря, весь комплекс антисейсмических мероприятий, таких, как сейсмоизоляция, симметрия, снижение веса за счет применения легких заполнителей бетона, упругопластическая связь между элементами, прочность, разгрузочные системы, все это вместе взятое обеспечило сейсмостойкость храму в течение шестнадцати веков. Он рухнул при землетрясении 1679 года, в результате того, что окрестные жители с изобретением огнестрельного оружия стали добывать свинец из его связей, чем сильно снизили его сейсмостойкость. В неповрежденном состоянии он, может быть, простоял бы до нашего времени. Пожалуй, основным недостатком с точки зрения сейсмостойкости этого сооружения было то, что он имел тяжелую кровлю, унаследованную от греческих традиций. Не очень давно храм Гарни был восстановлен с расчетом на девятибальное землетрясение.

Мы рассмотрели замечательное сооружение, выполненное армянскими зодчими во времена античности, и видим их высокий уровень и виртуозность строительных приемов, которые существовали две тысячи лет тому назад. Двинемся дальше по реке времени и посмотрим, как обстояли дела с сейсмостойким строительством во времена раннего средневековья. В качестве примера, может быть, надо было взять известный всему миру Кафедральный собор, ныне существующий Эчмиадзинский храм, который начал формироваться на рубеже III-IV веков, но я предлагаю рассмотреть более центричную—

так выразиться считаю верным, если немного подумать, то можно даже ввести меру центричности,—церковь Багаран, также относящуюся к крестово-купольным сооружениям. Сразу предупреждаю, что этой церкви в настоящее время уже не существует, хотя в начале века она была в довольно хорошем состоянии, рухнул только купол. Находясь на территории Армении, которая в 1920 г. отошла к Турции, памятник был полностью снесен в середине нашего столетия.

Церковь Багаран была построена в 624–631 годах. На рис. 72 показаны центричный план этой церкви и ее общий вид, из которого понятно, что это трехъярусное центричное сооружение. Начнем анализ этого сооружения с плана. Из приведенного рисунка видно, что сооружение имеет две плоскости симметрии. Это обеспечивает ему равномерное распределение масс и жесткостей. Обращает на себя внимание то, что четыре пилон, поддерживающие купол, широко расставлены и приближены к стенам. Это сделано для того, чтобы увеличить подкупольное пространство, но вызывало определенные конструктивные сложности. Арки большого пролета, перекинутые между этими пилонами и поддерживающие барабан достаточно тяжелого купола, будут иметь большой распор. Чтобы его воспринять, пилоны связаны со стенами, устойчивость которых в свою очередь обеспечена выступающими контрфорсами-пятигранниками. Вот такая последовательность взаимосвязанных элементов обеспечила прочность, жесткость и совместность работы сводчатых перекрытий первого и второго уровней, что и требуется для сейсмостойкого сооружения.

На рис. 72 видно, как крест из цилиндрических оболочек, перекрытых двускатной кровлей, поднят на второй уровень. Этот крест сопрягается с куполом через подкупольный барабан. Такая система обеспечивает купольной конструкции надежную опору на пилоны и стены сооружения. Вся конструкция церкви представляет единую жесткую систему. Сейсмостойкость всего

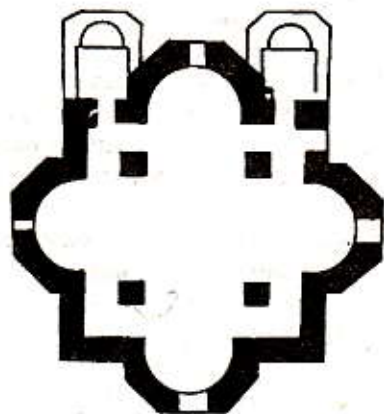
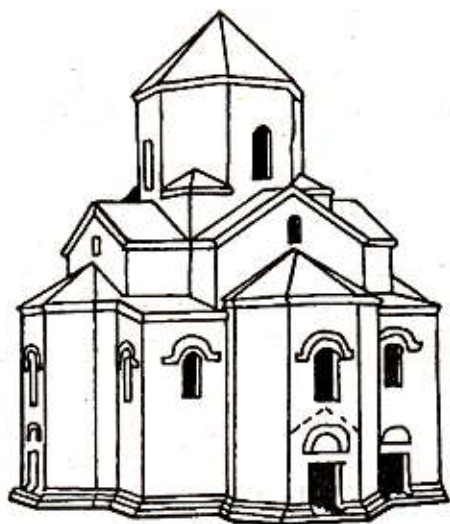


Рис. 72. Центризм крестово-купольной системы храма Багаран, общий вид, план

сооружения определяется прочностью его стен и перекрытий, поэтому давайте детальнее поговорим о конструкции стен и куполов, которые применялись в Армении вообще, а не только рассмотренного нами памятника.

Основной строительный материал, которым располагали армянские зодчие,—это камень. Менялись времена, менялись люди, менялись и способы возведения стен из камня. К сожалению, эти изменения шли не всегда в лучшую сторону, как нам бы этого хотелось. На примере античного храма Гарни мы видели, что тогда в I веке применялась кладка насухо из крупных притесанных камней, соединенных железными и бронзовыми штырями и скобами, залитыми свинцом. Это было всего 2000 лет тому назад! А какая кладка была еще раньше? В дохристианские времена кладка шла из гигантских довольно точно пригнанных разноразмерных камней, ее мы называем циклопической кладкой. Представьте себе, сколько нужно было мастерства, а главное трудолюбия и ответственности за свое дело, чтобы вырубать, отесывать, перетаскивать и пригонять базальтовые многотонные глыбы.

В первых же церковных сооружениях уже не применялась сплошная кладка насухо из пригнанных друг к другу блоков, а стали применять трехслойную неоднородную кладку, состоящую из двух параллельных рядов камней, пространство между которыми заполнено камнями с известковым раствором. При этом в первых постройках внутреннее заполненное бетоном пространство незначительно, соответственно вся нагрузка приходится на камень. 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 будут работать совместно. Тогда стали применять более совершенную конструкцию стен. Камень теперь служит только облицовкой, а во время строительства вдобавок еще и опалубкой, в которую забрасывают

крупный плоский щебень, заливаемый известковым раствором. Притеска и пригонка на место облицовочных плит производятся настолько тщательно, что раствор не просачивается наружу. При этой конструкции стен нагрузку воспринимает сердечник из бетона, и если даже облицовка отвалится, то стена не потеряет несущую способность. Сейсмостойкость таких монолитных стен, ограниченных с двух сторон облицовочными плитами, подтвердили многочисленные жесткие удары подземной стихии, на протяжении многих веков обрушивавшейся на древние сооружения Армении. Эти сооружения, как правило, выстаивали, а уж если падали, то падали солидно, сохраняя целые крупные фрагменты.

Дальнейшее усовершенствование каменной кладки проводилось в следующем направлении. Стали еще больше экономить камень, известь и трудозатраты, а, следовательно, стену сделали тоньше, и 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 толщину стены. Такие стены тоже хорошо работают в условиях сейсмических воздействий.

Наконец, в наш бурный XX век наступает заключительная стадия совершенствования—очень хочется это слово поставить в кавычки—древней трехслойной кладки, а теперь ее называют кладка “мидис”. После революции и гражданской войны, среди всеобщей разрухи, восстанавливается город Ленинакан. Для возведения стен широко применяется каменная кладка “мидис”, которая вроде бы является продолжательницей той древней прочной кладки, имевшей однородное ядро из довольно пластичного материала и являвшейся сейсмостойкой. Современная кладка ни по своим идеям, ни по своему воплощению, к сожалению, ничего не имела общего с той, древней. Идея трехслойной кладки была доведена в современной кладке до абсурда. Толщина ее была 30-40 см. Она состояла из двух параллельных ря-

дов камней, между которыми как их связующее имелся небольшой слой цемента. В редких случаях устанавливались перевязочные камни. Вся эта конструкция была ненадежной, хрупкой, с низкой прочностью. Соответственно вела себя кладка "мидис" при землетрясении 1926 года в Ленинакане. Стены из нее рассыпались на отдельные камни, являясь очень хрупкими, не способными противостоять динамическим воздействиям. После проведенного обследования последствий этого землетрясения применение такой кладки было запрещено. Но очень быстро забылись печальные уроки землетрясения 1926 года в Ленинакане, и опять стали применять кладку "мидис", хотя многие знали, что этого делать нельзя. Как массово падали каменные стены при землетрясении 1988 г. в Ленинакане и Спитаке и к каким это привело жертвам, рассказано и показано много. Почему не был использован опыт древних мастеров? Почему не пошел впрок урок землетрясения 1926 года? Это все вопросы к социологам и правительственным учреждениям.

Каменистую землю Армении слишком часто сотрясали подземные бури, чтобы ее зодчие оставили этот факт без внимания. Ими разработано много всяких приемов, направленных на обеспечение сейсмостойкости древних сооружений. Рассмотрим некоторые из них.

Как в Кносском дворце и как в Риме, в армянском строительстве применялось армирование деревянными брусками, выполняющими роль антисейсмических поясов каменных стен и оснований сводов для придания им упругих свойств. Антисейсмические пояса, назначение которых такое же, как и у обручей на бочке,—стянуть сооружение в единое целое и не дать ему развалиться, в некоторых армянских памятниках выполняются в виде камней с зацепами, идущими по всему периметру сооружения.

Как и во всех древних сооружениях, в армянской архитектуре широко применялись разгрузочные системы над дверными и оконными проемами. Можно даже смело сказать, что армянские системы отличались повышен-

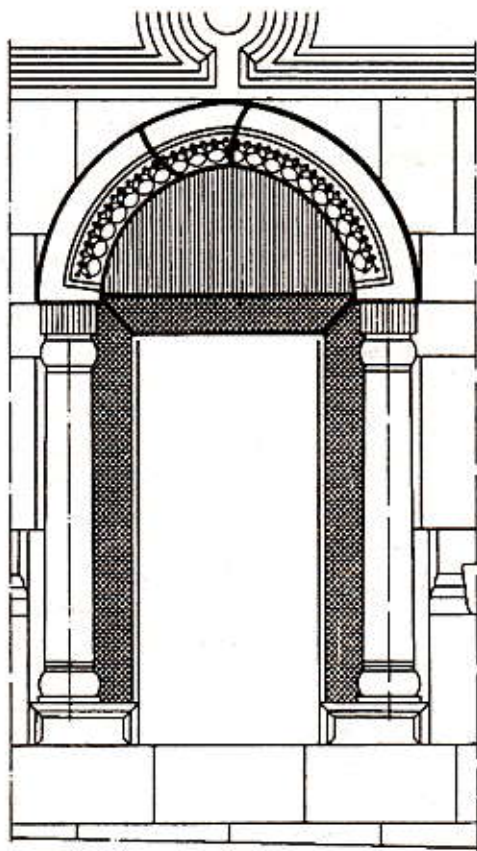


Рис. 73. Разгрузочная система армянского портала

ной надежностью. Их было создано великое множество, и что ни дверной проем, то свое оригинальное исполнение, хотя в общем-то принцип у них практически один. На рис. 73 показан портал Малой церкви Богородицы в монастыре Макараванк, построенной в XII столетии. Как видно из рисунка, разгрузочная система состоит из двух элементов. Это прежде всего плита с полукруглым или со стрельчатым очертанием. Опять сделано квалифицированно, как и в Львиных воротах, там где самый

большой изгибающий момент в середине пролета, там и самое большое сечение. Сверху наддверная плита от вышележащей нагрузки прикрывалась аркой. Конструкция арок в Армении имела свои любопытные особенности. Хотя эти арки были циркульными, они не делались из набора одинаковых клинчатых камней, строители стремились сократить число элементов, составляющих арку, выполняя ее всего из нескольких криволинейных брусьев. Это, конечно, повышало надежность работы арки в условиях сейсмического воздействия, уменьшая ее шансы рассыпаться. Более того, составляющие арку камни снабжались зубом, что предотвращало их выпадение при подвижках конструкции. В результате сейчас можно увидеть, как над развалинами древних сооружений на фоне голубого неба выделяются контуры арок, уцелевших после всех подземных бурь.

Теперь несколько слов о форме знаменитых островерхих ребристых армянских куполов. Первые христианские церкви имели деревянные покрытия, что с точки зрения сейсмостойкости хорошо. На смену деревянным покрытиям в V-VI вв. пришли каменные своды. Кровля в этих сводчатых перекрытиях устраивалась из черепицы, уложенной по раствору. К X веку, когда возобновилось церковное строительство, прерванное арабским владычеством, черепица была вытеснена тонкими каменными плитами. Если черепицей удобно было покрывать лобье, в том числе и криволинейные поверхности, то с появлением каменной кровли стали возводить купола конической формы с прямолинейной образующей (рис. 74). Вес этих куполов был значительно больше, и строителям пришлось позаботиться о снижении веса за счет облегчения забутовки купола. В забутовку замуровывали глиняные сосуды, ставя их поочередно вдоль свода дном вверх и дном вниз, так же как это делали римские строители. Ребристость куполу придавали для того, чтобы облегчить его, но в то же время эта ребристость обеспечивала куполу прочность и жесткость.



Рис. 74. Ребристый армянский купол

Для того чтобы еще раз напомнить о том, как важно для сейсмостойкости сооружений подбирать соответствующие им грунтовые условия, приведу примеры о поведении церквей во время Армянского землетрясения 1988 г. Наверное, в XIX в. секрет выбора площадки для строительства монументального сооружения был утерян. Группа церквей, построенная в Ленинакане в прошлом столетии, была расположена в центре города вокруг площади Майского восстания. Эта низменная часть города была сложена мягкими грунтовыми слоями, которые при замачивании практически совершенно теряли несущую способность. В результате землетрясения из-за неудачного выбора района застройки самое грандиозное сооружение—храм Спаса—рухнуло. Причиной ослабления конструкции храма явилось то, что уже в наше время вблизи него был устроен канализационный туннель. Потери воды из этого туннеля замочили грунты под храмом, вызвав его неравномерные осадки и повреждения. С профессиональной точки зрения любопытно было рассматривать руины этого храма.

Задняя стена с частью большого центрального массивного купола уцелела. На срезе этого купола была видна забутовка на прочном известковом растворе. Для облегчения купола в качестве заполнителя использовался легкий туф. Центральная часть сооружения, где было

самое сильное замачивание грунтов, рухнула. Над этими развалинами возвышалась, чудом уцелевшая узкая полоска стены с входной дверью. Почему уцелела именно эта часть наружных стен, загадка, хотя и известно, что армянские строители придавали большое значение сохранности дверных и оконных проемов в случае землетрясения. Еще одна любопытная деталь. Небольшие боковые купола упали на землю с высоты крыши и не раскололись, такова была прочность известкового раствора.

Другая церковь Аствацацин, стоящая на более высоком месте, чем храм Спаса, практически вся уцелела. У этой церкви переломились в основании и рухнули на землю четыре боковых небольших купола. Есть предположение, очень похожее на истину, что эти четыре купола выполнили роль сейсмозащитных устройств. Все здание церкви с четырьмя достаточно массивными боковыми куполами, приподнятыми на тонких цилиндрах над крышей церкви, имело период собственных колебаний, по-видимому, близкий к собственному периоду колебаний сейсмического воздействия. В процессе землетрясения, из-за близости собственных периодов колебания воздействия и здания произошло сильное резонансное раскачивание церкви. Куполки отломились, произошла перестройка конструкции здания, оно сразу стало жестким. Эффект взаимодействия грунта и здания во время землетрясения снизился. В результате церковь уцелела.

Как грунтовое основание, так и фундаменты играют большую роль в повышении сейсмостойкости всего сооружения. Каких-то специальных антисейсмических приемов в фундаментах армянских монументальных сооружений, по-видимому, не применялось. Они были обыкновенными добротными и прочными, хотя храм Гарни построен на жесткой платформе. Существует также легенда, что Эчмиадзинский храм построен на песчаной подушке, и это обеспечивает ему сейсмостойкость, но достоверных сведений мне получить не удалось.



Рис. 75. Арочный каркас для поддержки купола

В древнем зодчестве Армении кроме крестово-купольной системы с опорой на пилоны в XII-XIV вв. была применена оригинальная система бесстолпных перекрытий. Конструктивную основу такого перекрытия составляют пары взаимно перекрещивающихся арок, образующих каркас, поддерживающий купол (рис. 75). Такая конструкция позволяет перекрывать значительные по площади помещения. Обратите внимание, что все упомянутые уже знаменитые купола выполнялись в комплексе с каркасными системами. Все они показали себя достаточно сейсмостойкими. Замечательным примером армянской архитектуры является собор Гандзасар в Нагорном Карабахе, в котором сконцентрировано все, что накоплено народом-творцом за несколько столетий. Мне посчастливилось побывать в этом храме, и первое, что меня поразило,—это детали конструкции. Как точно были пригнаны каменные плиты облицовки, как плотно прилегают друг к другу криволинейные блоки, из которых собраны две пары пересекающихся мощных арок, несущих свод в церкви, как точно входят друг в друга замки каменных плит кровли. Было такое впечатление, что если ухитриться разобрать все сооружение по камешку, то не составит никакого труда собрать все

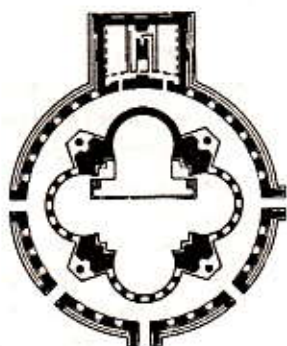
заново при такой точности пригонки камней—каждый камень может быть поставлен только на свое место. Такое высокое качество работ обеспечило этому храму то, что он простоял больше семисот лет без реставрации, так, во всяком случае, сказали местные армяне. Я же могу засвидетельствовать, что он не производит впечатления древнего замшелого сооружения с треснутыми стенами и расползающимися перекрытиями.

Несколько слов о конструкции этого храма. Строительство церкви Ионна Крестителя было начато в 1216 году и закончено в 1238 г. К этой церкви, с западной стороны, был пристроен притвор, законченный в 1266 году. Оба этих здания объединены в одно сооружение, поставленное на пятиступенчатую платформу-стилобат из бутобетона на известковом растворе. При этом церковь перекрыта крестово-купольной системой, опирающейся на четыре пилон, связанные со стенами, что обеспечивает всей системе хорошую устойчивость. Арки, перекинутые между пилонами, имеют стрельчатую форму. Притвор же, как построенный чуть позже, перекрыт по другой системе. Его свод поддерживают две пары перекрещивающихся арок. Здесь видны муки сомнения зодчего, создавшего это перекрытие. Он дополнительно ближе к краю подпер продольные арки каждую одной колонной и добавил здесь же еще одну поперечную арку. С точки зрения сеймики, конечно, нехорошо делать арку неоднородной жесткости, нехорошо также то, что здания церкви и притвора не разделены между собой антисейсмическим швом, но, по-видимому, все остальное так хорошо, что Гандзасар выстоял более семисот лет без разрушений.

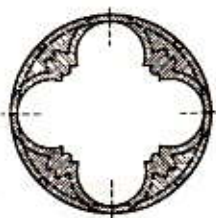
Заканчивая этюды по сейсмостойкости многочисленных древних памятников Армении, трудно удержаться и не рассказать еще об одном армянском храме, чуде архитектуры не то Востока, не то Запада, который может пригрезиться только в потустороннем райском сне. Это Звартноц, храм Бдящих Сил, строительство которого было начато в 643 г. на собранные народом деньги.



(a)



(б)



(в)

Рис. 76. Храм Звартноц: (а) общий вид; (б) план нижнего яруса; (в) опорное кольцо храма

Общий вид храма показан на рис. 76,а, а план нижнего яруса на рис. 76,б.

Таких центрических зданий, имевших осевую симметрию, в Армении и Грузии кроме Звартноца существовало несколько: Ишхани, храм Гагика в Ани, собор в Бана. Все эти сооружения разрушились и не сохранились до нашего времени. Звартноц простоял более 300 лет и рухнул в конце X века от землетрясения. Самым совершенным в конструктивном отношении оказался собор в Бана. Он был разрушен во время войны только в XIX в.

Попытаемся разобраться в достаточно нетрадиционной и оригинальной конструкции Звартноца. Он представляет собой, как видно из рисунка, центрическое сооружение, состоящее из трех цилиндров, поставленных один на другой. Диаметр нижнего почти 36,0 м, среднего порядка 26,0 м, общая высота около 45,0 м. В конструкции храма тщательно продумано, куда и через что передаются и как распределяются нагрузки. Первый нижний самый большой и самый высокий барабан был образован круговой стеной (рис. 76,а). Вторым барабан меньшего диаметра опирался на кольцо, созданное из каменно-известкового раствора. План этого кольца показан на рис. 76,в. Это очень интересный элемент всей конструкции. Кольцо имеет длину 82 м по внешнему кругу, толщину 1,5 м, ширина его колеблется от 2,75 до 6,5 м. Известковый раствор такой прочности, что трескается камень, а раствор кольца остается целым. Само кольцо опирается на четыре главных пилон, которые проходят через него и поддерживают самый верхний малый цилиндр с коническим куполом, и оно же кроме пилонов опирается на все колонны и стены первого этажа и связывает их между собой. Вот это прочное кольцо является узловым моментом всей конструкции. Во-первых, это опора второму ярусу; во-вторых, это антисейсмический пояс, связывающий в единую замкнутую пространственную систему пилоны, колонны и стены первого яруса. Вся конструкция Звартноца получилась

легкой и изящной, тем более что строители старались как можно больше облегчить вес сооружения, применяя в качестве заполнителя бетона туф и пемзу и закладывая в стены карасы—пустотелые горшки.

Интересны отдельные детали этого храма. Например, колонны изготавливались из трех элементов: база, ствол и капитель, каждый из них выполнялся из целого камня, а соединялись они с помощью металлических скоб, залитых свинцом. Это традиционно античный прием, благодаря которому колонны получались с пластическими шарнирами, работающими только на сжатие.

Можно отметить и недостатки конструкции. Нет полной равномерности распределения жесткостей в уровне первого яруса. Как видно на рис. 76,б, к барабану этого яруса без шва пристроена на всю его высоту как бы башня, в которой находилась лестница для подъема на верхнюю галерею. Она, конечно, как-то нарушала равномерность распределения масс и жесткости. Есть еще один опасный момент в конструкции храма. Описанное выше монолитное кольцо опирается на пилоны и колонны через восемь большепролетных сводов, арки которых, образуя круг, имеют двойную кривизну, буквально как в Пантеоне, выступая из своей плоскости более чем на метр. Ясно, что такая форма сводов будет вызывать их закручивание, что не очень-то хорошо для такого хрупкого материала, как камень. Однако, если бы такая конструкция была ненадежной, она бы рухнула уже при строительстве, но храм простоял 350 лет. Некоторые исследователи ищут причины, почему же Звартноц все-таки рухнул, в чем были ошибки, может быть, качество было плохим, может быть, пилоны в 22,0 м длинноваты, может, колонны слабоваты, может быть, что-то еще. Я согласен с Марутян Т.А., который высказывает мысль, что не было никаких ошибок, все было тщательнейшим образом продумано. Единственное, что повлияло на храм,—это трехвековое владычество арабов, которое привело к его обветшанию. За это время в нем был пожар, может быть, из него была устроена каменоломня,

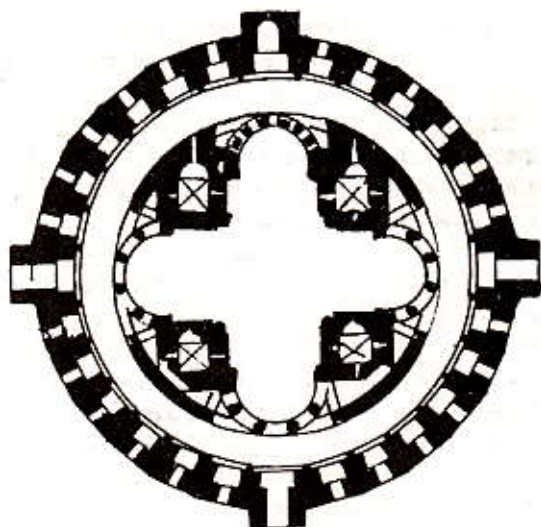


Рис. 77. План храма в Бана, однотипного с Звартноцем

и вообще вся эта бесхозяйственность привела к обрушению Звартноца.

У очень похожего на Звартноц храма в Бана соотношения размеров другие. У него диаметр нижнего цилиндра 38 м, т.е. чуть больше, чем у Звартноца, при этом высота значительно меньше, всего 30 м. План храма в Бана показан на рис. 77. Если сравнить этот план с аналогичным планом Звартноца, показанным на рис. 76,б, то бросаются в глаза два существенных отличия между ними. Прежде всего круговая внешняя стена в Бана значительно прочнее, так как она состоит из набора контрфорсов. Прочнее здесь также четыре подкупольных устоя, которые превратились в опорные башни. Совместная работа центральных устоев и внешних стен обеспечила надежную основу всему сооружению. Купол здесь также умеренных размеров, всего 8 м.

Мы познакомились с архитектурой Древней Армении с точки зрения применения в ней специальных анти-

сейсмических мероприятий. В архитектуре Грузии, которая развивалась в тех же условиях, что и Армянская, принципиальный подход к сейсмостойкому строительству был тот же. Поэтому не буду подробно рассматривать отдельные памятники архитектуры Грузии, а сделаю только небольшие замечания.

В VI-V вв. до н.э. еще применяется циклопическая кладка, которая ведется из огромных камней, но без той тщательной пригонки, которую мы видели в Микенах. В VI в. до н.э. уже распространяется более качественная с точки зрения сейсмостойкости кладка из правильных каменных квадров, уложенных насухо и скрепленных деревянными пиронами типа "ласточкина хвоста" или железными скобами, залитыми свинцом. Из такой квадратной кладки возводятся стены и башни целиком или только фундаменты, а стены складываются из саманного сырцового кирпича, армированного деревом. С последних веков до н.э. начинает применяться известковый раствор и получают распространение трехслойные стены.

Первым архитектурным памятником Грузии, завершившим период исканий по решению задач, поставленных христианской религией, был храм Джвари в древней столице Грузии Мцхета. В этом храме была решена задача по созданию обширного внутреннего пространства. Храм был сооружен в 586-604 гг. Его центральное пространство было перекрыто куполом, поднятым на восьмигранном барабане. Опираемость купола через барабан осуществлялось непосредственно на стены. Вскоре между 626 и 634 гг. сооружается другой храм в Црими, у которого подкупольное пространство значительно расширено за счет того, что купол опирается на свободно стоящие четыре столба. Строительство храма в Црими знаменует собой начало применения в архитектуре Грузии крестово-купольных систем. Сооружения, выполненные в этой системе, являются конструктивно более сложными и, следовательно, менее сейсмостойкими по сравнению с конструкциями, когда опирание купола проводилось непосредственно на стены.

Уже тогда возникла идея создания антисейсмических поясов. Конструктивно они выполнялись в виде сцепленных между собой квадров с помощью специально устроенных в них зубцов. Как и положено, ряды таких квадров располагались в верхней части зданий, где действовал наибольший распор от сводов [3, 27-29].

Продолжая наше путешествие по Кавказу, предлагаю посетить его северные районы. Здесь мне хочется познакомить вас с некоторыми народными традициями. Если Армянские и Грузинские значительные храмы строили зодчие, высокообразованные и опытные, то, например, боевые и хозяйственные башни в селениях строили мастера, знакомые чаще всего с традициями только этого района. Здесь тоже много интересного, традиционного.

Башни в горах

Строительство башен издавно было распространено на Кавказе. Назначение у них было самое разнообразное, это боевые и жилые башни, это часовни и мавзолеи. Основным строительным материалом служил камень, в качестве связующего использовались известь и глина. Среди всех построек горных селений башни, особенно боевые, являлись сооружениями уникальными. Их строили лучшие мастера из крупных, хорошо подобранных каменных блоков. Не зря существовала поговорка, что из камней башни можно построить селение, а из камней всего селения нельзя построить одной башни. Здесь проводилась тщательная подборка материала, выветренные, трещиноватые камни отбраковывались. Стоили башни дорого, и они были доступны обеспеченным семьям, хотя и строились из местных строительных материалов местными мастерами. По форме башни были преимущественно прямоугольными, редко круглыми, хотя удобство круглых башен с точки зрения обороны неоспоримо, это же хорошо и с точки зрения сейсмостойкого строительства. Естественно, что сельские мастера не применяли каких-либо особых антисейсмических мероприятий, они делали из того, что есть под

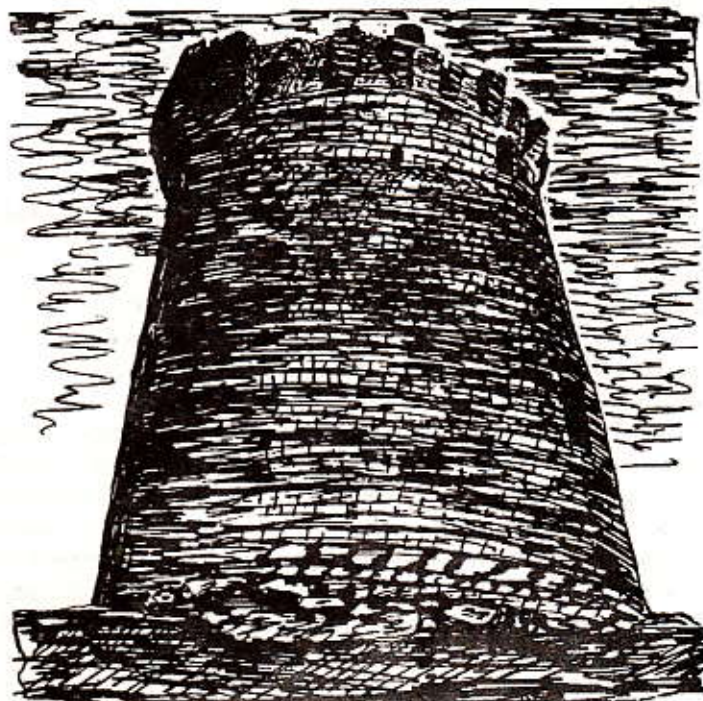


Рис. 78. Коническая башня в Дагестане

рукой, добиваясь прочности и устойчивости своих творений, применяя конструкции исторически выработанной традиционной формы. Мне всегда почему-то были симпатичны эти разнообразные башни, особенно похожие на воинов в шлемах, овеянные романтикой кровной мести, стройные, боевые. При всей их простоте форм это все-таки настоящая архитектура. Рассмотрим несколько примеров.

В Дагестане в селе Ицари стоит редкая для этих мест оборонительная башня в виде усеченного конуса (рис. 78). Она была построена в XV веке местными жителями, когда их князь перенес свою резиденцию из их села в другое место, и жителям села приходилось при обороне рассчитывать только на свои силы. Форма баш-

ни и способ укладки каменных материалов говорят о том, что ее строители хорошо владели каменным делом, разбирались в фортификации и даже представляли себе статику работы сооружения. Коническая форма башни обеспечивает ей общую устойчивость. В ней идеально равномерно распределены массы и жесткости. В нижней части башни кладка выполнена из крупных каменных блоков, уложенных плашмя. В средней части башни кладка идет поочередно рядами камней, уложенных плашмя и стоя, что обеспечивает однородность свойств каменной кладки. Стены по высоте постепенно сужаются кверху. Далее давайте рассмотрим еще одну сейсмостойкую башню, но уже традиционную.

На рис. 79 показаны общий вид и разрез вайнахской боевой башни классического типа. Высота таких башен была 20-25 м, сторона плана 5-5,5 м. Число этажей от пяти до семи. Очень сложно у этих башен были выложены стены, они утоньшались кверху и одновременно имели наклон внутрь, в результате силуэт башен имел четко выраженное сужение. Получается, что строители башен боролись, неважно по каким причинам, не только за симметрию, но и за снижение веса конструкции и за понижение положения ее центра тяжести, а в конечном счете, и за сейсмостойкость.

Кладка стен велась на известковом растворе, иногда очень прочном. Кстати, в Дагестане применялся глиняный раствор, что значительно снижало прочность кладки и не позволяло выполнять стены этих башен с наклоном внутрь. В самых совершенных вайнахских башнях Большого Кавказа устраивались ступенчато-пирамидальные перекрытия, что венчало их архитектурный облик и предохраняло от атмосферных осадков. Междуэтажные перекрытия выполнялись также в виде сомкнутого четырехстороннего ложного свода путем постепенного надвига камней, что создало жесткие диски по высоте башни. Эти диски играли роль антисейсмических поясов. Получилось, что в вайнахских боевых башнях воплощены почти все принципы сейсмостойкого строи-

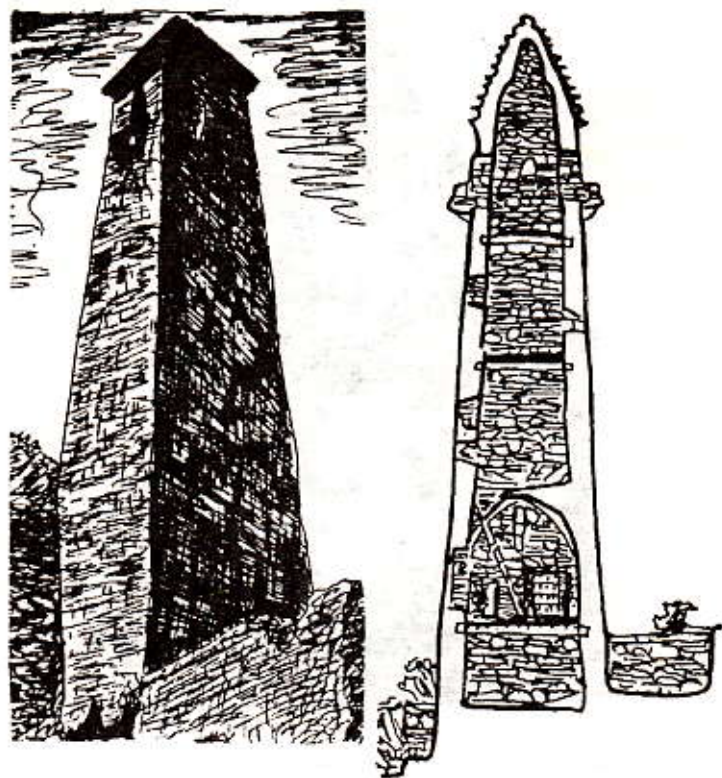


Рис. 79. Общий вид и разрез вайнахской боевой башни

тельства. Оригинально проверялось качество кладки башни. В нее пускали мышку, и если она убежала, строители не получали премию—50 коров. Скала в основании башни не должна быть трещиноватой. Это также проверялось очень просто. Наливалась лужа молока, и если молоко уходило в грунт, а не просто высыхало, то считалось, что место для строительства башни не подходит. Кстати, замечено, что под фундаментными блоками боевых башен находятся прослойки песка.



Рис. 80. Пирамидальная гробница Осетии

В хозяйственных башнях применялись деревянные перекрытия, и они уже не были столь совершенны с точки зрения сейсмостойкости по самым разнообразным причинам: слабый раствор, тяжелые стены, неоднородная кладка, отсутствие дисков жесткости и ненадежность глинобитной кровли.

Замечательны по своему виду и довольно совершенны по своей конструкции традиционные гробницы, раскинувшиеся группами или поодиночке по горам Осетии (рис. 80). Это небольшие квадратные в плане сооружения стены с легким наклоном внутрь, плавно переходящие в высокое сводчатое перекрытие. В швы между камнями сводчатого перекрытия закладывались выступающие

наружу каменные плитки, что придает осетинским гробницам необычный вид, чем-то напоминая многоярусные пагоды Индокитая. Вообще в традиционном народном строительстве можно найти почти все зачатки конструктивных приемов, которые потом в более совершенном виде применяются в монументальном строительстве дворцов и храмов, обеспечивая им прочность и долговечность. Это устройство прочных стен и фундаментов, применение различных разгрузочных систем, возведение сводов и многое другое, так что и народное, и монументальное строительство имеют одни и те же корни. Продолжим наше путешествие, теперь мы отправимся на равнины Закавказья [30, 31].

Зодчество Азербайджана

Сейсмические бури, возникающие в недрах Кавказских гор, сотрясают и эту огромную равнину, представляющую центральную часть Азербайджана. С трех сторон эту равнину окружают горные хребты, а с восточной, четвертой стороны равнина упирается в Каспийское море, далеко врезааясь в него Апшеронским полуостровом. Разнообразие природных богатств, в горах много камня, на равнине глина, свои исторические традиции, другая вера—все это породило другие архитектурно-строительные задачи и их решения для этих мест. Есть, разумеется, связь с другими народами Кавказа, но прослеживается и довольно тесная связь с народами Средней Азии. На землях этой плодородной равнины люди селились очень давно, найдены поселения оседлых скотоводов, относящиеся к VI-IV тысячелетиям до н.э. Эти селения были застроены круглыми хижинами перекрытыми сводами из сырцового кирпича. С тех пор и началось накопление строительного опыта. Но не будем так глубоко забираться во тьму веков. Не будем даже заниматься мидийскими племенами, которые в IX в. до н.э. заселяли территорию теперешнего Азербайджана, создав позднее государство, боровшееся с войсками Александра Македонского. Мидия была одним

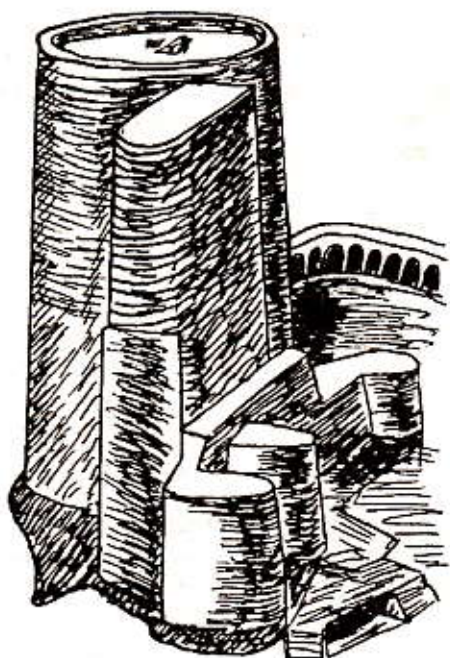


Рис. 81. Несимметрия башенного храма огнепоклонников

из центров распространения религии огнепоклонников и имела связи с Ассирией, Вавилоном и Урарту, здесь и находятся архитектурные корни тех сооружений, которые мы будем рассматривать дальше, вырывая из истории архитектуры отдельные памятники и рассматривая их с позиций сейсмостойкости.

Начнем с Девичьей башни, которой до сих пор можно полюбоваться в Баку. Ее общий вид и разрез даны на рис. 81. Башня резко отличается от других оборонительных и культовых сооружений Азербайджана. Все в ней загадочно. С одной стороны, это вроде бы башенный храм огнепоклонников, с другой стороны, оборонительная башня. Девичьей она называется потому, что враг ни разу не овладел ею. Время ее сооружения неопределенно. В одних источниках говорится, что она построена в

VIII в. до н.э., в других—в XII в. н.э. Совершенно непонятно назначение контрфорса, который абсолютно несимметрично упирается в бок круглой башни. Список непонятного можно было бы продолжить, но давайте займемся конструкцией Девичьей башни.

Эта башня представляет собой восьмиэтажное сооружение в виде усеченного конуса, стоящее на наклонном участке скалы. С одной стороны ее высота вместе с парапетом равна 32,0 м, а с другой стороны 35,0 м. Как видно из рисунка, с той стороны, куда башня могла бы сползти по наклонной скале, к башне примыкает мощный контрфорс, который в свою очередь подпирает стена с небольшими контрфорсами. Из этого сразу видно, что древний строитель сумел позаботиться об устойчивом основании башни. Стены башни невероятной толщины от 5,0 м в нижней части и до 4,0 м в верхней части, и сложены они из блоков известняка на прочном известковом растворе. С помощью плоских каменных куполов внутреннее пространство башни разделено на восемь ярусов. Своеобразная ребристая внешняя поверхность башни образована чередованием выступающих и утопленных рядов кладки.

Из приведенного краткого описания конструкции башни ясно, что она представляет собой чрезвычайно жесткий, очень тяжелый массив с равномерно распределенными массами и жесткостями. Ее симметрию нарушает упирающийся в нее контрфорс, который должен создавать крутящий момент, но у башни такие толстые стенки и такой большой момент сопротивления кручению, что опасности для прочности башни эта антисимметрия не представляет. Своей чудовищной тяжестью эта башня напоминает египетские сооружения. Во всяком случае, и эта тяжесть, и продуманное основание, и прочная кладка, и форма обеспечили башне высокую сейсмостойкость.

Теперь давайте рассмотрим какую-нибудь обыкновенную оборонительную башню, каких было много на Апшеронском полуострове.

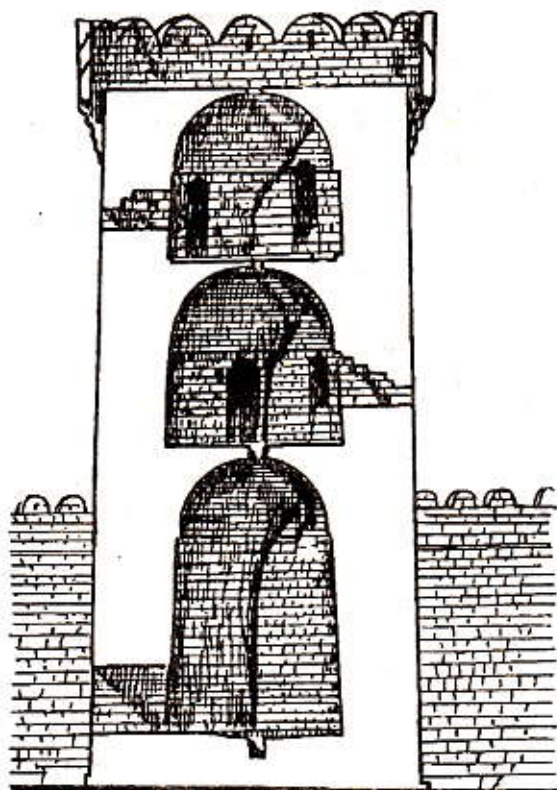


Рис. 82. Конструкция массивной каменной оборонительной башни

В селении Мардакян сохранилась недавно реставрированная круглая, в виде усеченного конуса башня высотой 16,0 м и диаметром в основании 7,6 м, ее разрез показан на рис. 82. Башня сложена из местного известняка на высокопрочном известковом растворе. Как видно из рисунка, ее внутреннее пространство расчленено сферическими куполами из того же камня на три яруса. Время сооружения этой башни 1232 г. Сейсмостойкость этой жесткой, чрезвычайно пропорционально сложенной конструкции объяснять не приходится.



Рис. 83. Еще оборонительная башня

Позднее башни в замках стали строить прямоугольной формы. В том же селении Мардакян сохранился замок XIV в. прямоугольной формы, усиленный в углах круглыми колоннами (рис. 83). Здесь также применена каменная кладка на известковом растворе, но внутренние перекрытия выполнены балочными из дерева. В названных оборонительных сооружениях сейсмостойкость их обеспечена достаточно скромными размерами, симметрией распределения масс и жесткостей, прочностью кладки, при этом ни о каких снижениях веса, а тем более о сейсмоизоляции, речи нет. Теперь давайте рассмотрим несколько мемориальных сооружений, которые имеют

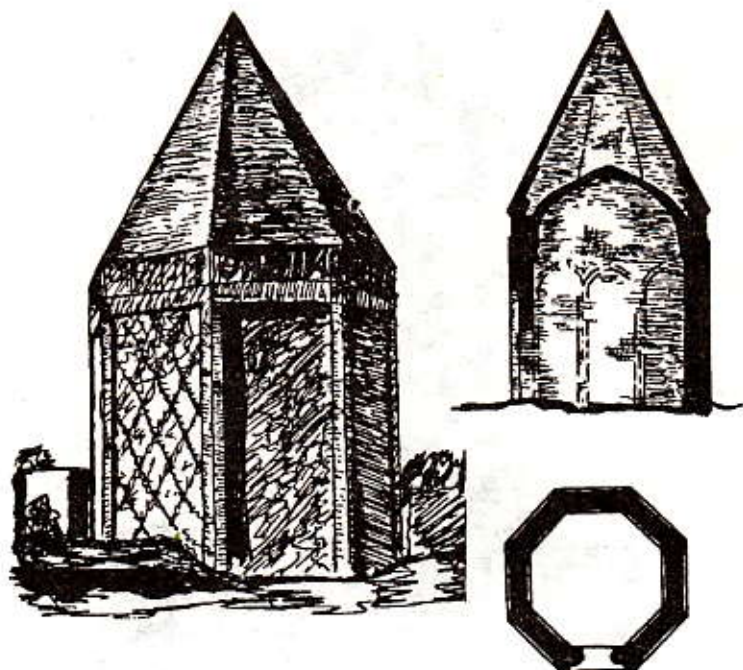


Рис. 84. Усыпальница Юсуфа: общий вид, план, разрез

более сложные конструктивные решения в соответствии с более сложными архитектурными формами.

В 1162 г. было закончено строительство усыпальницы ходжи, главы шейхов, Юсуфа. На рис. 84 даны общий вид, разрез и план этой усыпальницы. Перед вами довольно обычное сооружение того времени, но как оно совершенно по своему замыслу и по исполнению. У мавзолея прекрасные пропорции в архитектурном смысле и в смысле обеспечения сейсмостойкости. Выполнен он из обожженного кирпича на прочном растворе. Обратите внимание на восьмигранный план мавзолея, это почти идеальная форма с точки зрения сейсмостойкости. Стены умеренной толщины ужесточены снаружи утолщениями в виде ребер, образующих как бы

наружный каркас, имеется и внутренний каркас, перекрытый стрельчатыми арками. Над этими арками стена утолщена, образуя опорное кольцо для двух, наружного восьмигранного и внутреннего стрельчатого, куполов. Восьмигранные стены плавно переходят в восьмигранный купол. Обобщающий принцип сейсмостойкого строительства, гласящий, что строить надо так, чтобы при землетрясении нигде не возникало концентраций напряжений, здесь выполнен. Весь объем мавзолея представляет собой, разумеется, жесткую конструкцию.

Хотелось бы еще раз обратить ваше внимание на то, как у древних мастеров гармонично сочетались знание, использование накопленных до них традиций и творческий подход к тому, что они создают. Вот любопытный пример. Около селения Джиджимли стоит совершенно фантастический, ни на что не похожий мавзолей XII века, по форме напоминающий глинобитные хижины времен раннебронзового века, выполненный в строительной технике уже своего времени. Разрез и план этого мавзолея показаны на рис. 85. Мавзолей сложен из грубооколотого камня и облицован крупными чистоотесанными плитами на прочном растворе. У мавзолея стены плавно наклоняются внутрь, и весь он венчается куполом параболического очертания. Тут уж поистине такие кругом плавные очертания, что ни о каких неравномерных распределениях масс и жесткостей говорить не приходится. Жесткая, прочная и достаточно легкая скорлупа этого мавзолея обеспечила ему сейсмостойкость.

Для дальнейшего нашего путешествия выбираем еще более сложное сооружение с соответствующим конструктивным воплощением. Уникальные сооружения Азербайджана выполнялись, как сказали бы сейчас, на уровне мировых стандартов, явно находясь в курсе передовой строительной мысли того времени. Я уже как-то говорил, что, копаясь в древней истории, не перестаешь удивляться той информативности, которую имели, казалось бы, самые отдаленные народы, особенно в области строительной техники. Рассмотрим следующий пример.

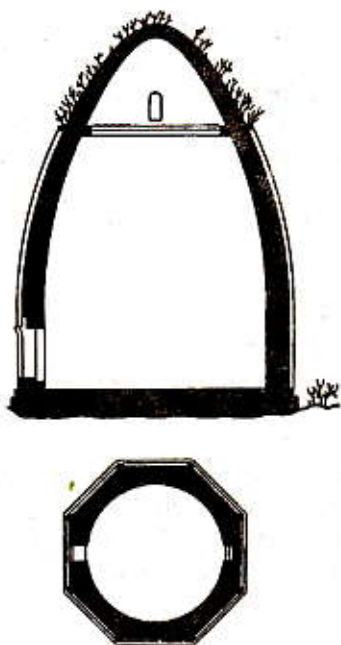


Рис. 85. Скорлупа мавзолея Мелик Аджара

В Иране в Султании сохранился памятник азербайджанского зодчества—мавзолей Ольджайту Ходабенде (1307-1313 гг.). Это совершенно самобытный выдающийся памятник архитектуры, и в то же время это сооружение вобрало в себя много лучшего, что было создано к этому времени в строительстве. На рис. 86 показан разрез мавзолея, выполненного из кирпича. Первое, что привлекает внимание на рисунке,—это высоко вытянутый вверх стреловидный, состоящий из двух оболочек купол. Диаметр купола 23,3 м, высота 20 м, общая высота зала мавзолея от пола до замка купола 51 м, то есть это довольно гигантское сооружение. Стреловидная форма купола и его двойная оболочка, соединенная ребрами, образующими каркасную систему, напоминают и купол Флорентийского собора, и купол

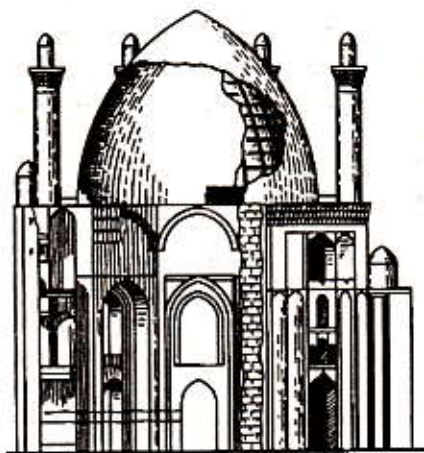


Рис. 86. Сейсмостойкий купол мавзолея Ольджайту

собора Св. Петра, о которых мы говорили. Делались эти стреловидные купола, чтобы снизить распор от купола. С этой же целью оболочка купола делалась двойной, что снижало вес купола при сохранении им прочности и жесткости. При этом любопытно, что мавзолей в Султани, построенный намного раньше Флорентийского собора, имеет более совершенный купол. В соборе оболочки купола не равнозначны, внутренняя несущая, а внешняя защитная, в мавзолее же обе оболочки равнозначны в своей совместной работе, как в соборе Петра, что является, разумеется, большим достижением строителя этого мавзолея. Следующий важный момент, связанный с сейсмостойкостью купольного перекрытия, — это плавность сопряжения купола со стенами. В мавзолее этот вопрос решен до гениальности просто — перекрываемая громада зала является правильным восьмигранником, сопрячь который с кольцом не представляет труда. Далее, куда передать распор от купола. Эта задача также решена блестяще на высоком техническом уровне с большим запасом прочности. Во-первых, в

нижней части купола имеется противораспорное монолитное кольцо, армированное тремя металлическими обручами. Во-вторых, возможный распор держали своды галереи, опоясывавшей основание купола. Вдобавок углы мавзолея были догружены минаретами, что является также противораспорным мероприятием. Сводчатые галереи в основании купола—это уже прием, который широко применялся в сооружениях Средней Азии, например в мавзолее султана Санджара в Старом Мерве.

Получается, что в рассматриваемом нами мавзолее использован весь возможный набор мероприятий, направленных на погашение распора от достаточно большого купола: стреловидная форма, двойной, усиленный каркасом, облегченный купол, армированное опорное кольцо, плавное сопряжение купола со стенами, сводчатая обходная галерея, пригрузка минаретами. Даже в наше время мы не смогли бы сделать большего, разве что соорудили бы недолговечный надувной купол, а купол мавзолея в Султании стоит до сих пор.

По конструкции рассматриваемого мавзолея можно добавить еще следующее. Купол опирается на стены, в которых заложены из кирпича арки, как в Пантеоне, только теперь уже стреловидной формы. Как и в Пантеоне, стены облегчены глубокими нишами, перекрытыми также стреловидными кирпичными арками. Вот пример высокого строительного искусства, достигнутого много столетий назад зодчими Закавказья. Теперь, как всегда, еще несколько небольших заметок, и отправимся дальше на Восток, в глубины Средней Азии.

В бассейне реки Аракса в XIII-XIV веках была построена группа мавзолеев, в которых для облегчения веса купольных перекрытий закладывались глиняные кувшины, как это делалось в Риме, Византии, Армении.

Можно назвать и другие антисейсмические мероприятия того времени. Применялось армирование кирпичной кладки деревянными брусьями, закладывались также деревянные брусья над входными проемами. Для чего все это делалось, мы уже говорили. Далее. Наряду с из-

вестковыми растворами применялись гяжевые. Известковые растворы более твердые и хрупкие, чем гяжевые, которые более пластичны и прочны. Кстати, цементные растворы еще более твердые и хрупкие, чем известковые. Естественно, что, если хотели кирпичной и каменной кладке придать пластические свойства, применялись гяжевые растворы. При этом значительно увеличивали толщину постельных швов между кирпичами. Это чисто антисейсмический прием, который широко использовался в зодчестве Средней Азии. Применялись также кирпичные пояса в каменной кладке, как это делалось в Византии. Почти все сооружения Азербайджана обладали свойством центричности. В Нахичевани были построены подземные склепы оригинальной, редко встречающейся конструкции, которая обеспечивала им сохранность при любых потрясениях. Основу этой конструкции представлял центральный мощный столб, на который опирались концы арок перекрытия. Таким образом, все перекрытие состояло из набора арок. Разрушение одной из них не влекло за собой разрушения всего перекрытия [2, 4].

Получив некоторое представление об антисейсмизме древнего Азербайджана, отправимся дальше в Среднюю Азию, с которой у него прослеживаются тесные связи. Например, в XIV-XV веках при Тимуре и тимуридах в Средней Азии появились пышные мавзолеи, украшенные тяжелыми порталами, что разрушило центризм этих сооружений и соответственно ухудшило их сейсмостойкость. Тогда же мавзолеи с пристроенными порталами появились в Азербайджане.

Сейсмостойкость памятников архитектуры Средней Азии

Там, в глубине тысячелетий

Добрались до еще одного региона этого подлунного мира, обширного своими пространствами, сложного своей историей, разнообразного по традициям. В Средней Азии уже в V-IV тысячелетиях до н.э. складывается оседлая культура земледелия, в оазисах возникают небольшие поселки, выплавляется медь, налаживается связь с Шумерами. В III-II тысячелетиях до н.э. на юге Средней Азии складывается сообщество, культура которого получила условное название Алтын-депе. Из монументальной архитектуры того времени известен большой культовый комплекс, посвященный богу Луны, включавший четырехступенчатую башню, имевшую 12,0 м в высоту и 28,0 м в длину, очень похожую на зиккураты Месопотамии. В VI в. до н.э. складывается первое государство — Бактрийское, вскоре присоединенное, как и все остальные оазисы Средней Азии, к персидской державе Ахеманидов.

Здесь в Бактрии есть смысл остановиться и познакомиться с кольцеобразным сооружением, какого раньше мы не встречали. Это храм-крепость Кутлугтепе, относящийся к V в. до н.э. (рис. 87,а). Внутренний диаметр кольца 22 м. Стены толстые 2,5-3,0 м, сложены из кирпича на глиняном растворе. Высота двухэтажного сооружения 6-7 м. Внутри имелся обходной коридор шириной порядка 3,5 м. Перекрытие было плоским и

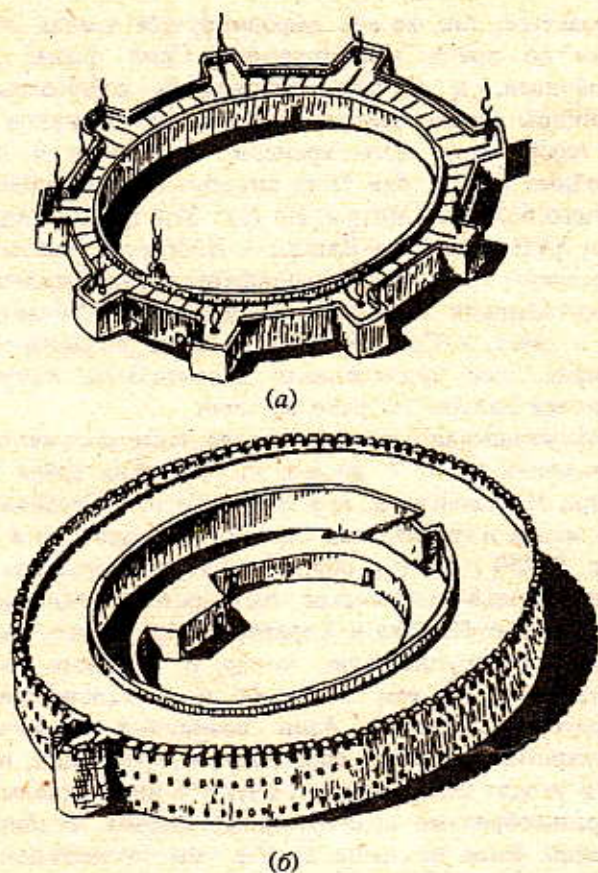


Рис. 87. Кольцеобразные сооружения: (а) храм-крепость Кутлуг-тепе, V в. до н.э.; (б) храм Дашлы-3, XVII в. до н.э.

поддерживалось деревянными балками, уложенными на кольцевые стены. Из этого описания ясно, что храм Кутлуг-тепе можно представить в противоположность ранее рассмотренному жесткому кольцу Колизея как кольцо податливое, имеющее пластические свойства. Это кольцо, по-видимому, может без разрушения дефор-

мироваться, так же как деформируется земная поверхность во время землетрясения. Сама форма храма устойчивая, и в нем практически соблюдены все принципы сейсмостойкости. Это не единственное круглое сооружение того времени. Строились и другие подобные храмы, они были связаны с почитанием солнечного божества Митры. На рис. 87,б показан круглый храм XVII в. до н.э.—Дашлы-3. Кирпичные стены этого кольцевого храма очень квалифицированно усилены дополнительными выступами-контрфорсами. Убедившись, что и здесь, в Средней Азии, в те труднообразимые времена уже существовало строительное искусство, двинемся дальше по реке времени.

Ахеманидская держава рухнула после поражения при Гавгамелах в 331 г. до н.э. от греческих войск Александра Македонского. А в 305 г. до н.э. Средняя Азия уже вошла в государство Селевкидов с центром в Вавилоне. В 250 г. до н.э. образуется самостоятельное загадочное Греко-Бактрийское государство, независимость приобретают Парфия и Хорезм, а в I в. до н.э. они уже входят в крупнейшую империю древнего мира—Кушанскую. В том же духе и в дальнейшем на территории Средней Азии возникают и исчезают государства, меняются общественные формации, приходят и уходят целые народы, вместе с ними складываются разнообразные архитектурные формы. Разбираться во всем этом не наша задача, мы продолжаем рассматривать только свою узкую проблему, выясняем, какие антисейсмические мероприятия применяли зодчие древности. Для этого выхватываем из истории какие-то интересные для нас факты и анализируем их с современных позиций сейсмостойкости. Как и на Кавказе, перенесемся сразу в новую эру.

Отправимся в городище Топрак-кала, расположенное в низовьях Амударьи. Этот археологический комплекс содержит: хорошо укрепленный город, дворец на высокой платформе, еще один дворцовый массив, крепость и загадочное обширное ровное пространство, обнесенное

валом. Это остатки столицы царей Хорезма. Самый первый активный период существования этой столицы приходится на III-I вв. до н.э. Из всех многочисленных сооружений этого города рассмотрим только Высокий дворец, расположенный на гигантской платформе. Этого нам будет достаточно, чтобы представить строительную технику того времени.

Когда мы изучаем строительные конструкции Высокого дворца, то создается впечатление, что мы перенеслись в долины Месопотамии, где основным строительным материалом являлся сырцовый кирпич из лессовой глины, где сооружения ставились на специальные платформы и где начали применять сводчатые конструкции. Здесь в Топрак-кала тоже, как, впрочем, и в других памятниках Хорезма того времени, основным строительным материалом является сырцовый кирпич из лессовой глины. Из этого кирпича изготавливались все несущие конструкции. При этом существовало два типа кирпича. Первый, самый распространенный—обычный кирпич квадратной формы размером в среднем 40x40x10 см, который превосходит весом современный примерно в 8 раз и весит около 38 кг. Этот кирпич употреблялся в кладке платформ, стен и над балками перекрытий. Как правило, он составлял в кладке 57% общего объема, остальное глиняно-песчаный раствор. Из описания ясно, что такая кладка обладала свойствами пластичности. Второй тип кирпича имеет трапециевидную форму, он применяется при возведении арочных и сводчатых конструкций. Этот кирпич отличается от первого типа не только формой, но и составом, что влияло на его механические свойства. В глину при производстве кирпича второго типа добавляли рубленую солому, уменьшая количество песка, что снижало объемный вес кирпича и делало его более пластичным. Короче говоря, в наиболее ответственных элементах конструкции применялся более качественный кирпич. После такого краткого вступления можно заняться конструкцией Высокого дворца.

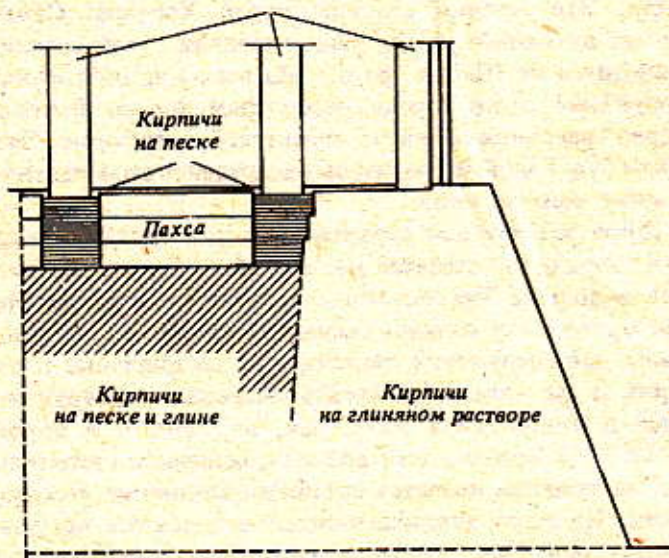


Рис. 88. Разрез платформы Топрак-кала

Этот дворец был поднят на огромной, высотой 14,3 м, платформе, которая имеет вид правильной четырехугольной усеченной пирамиды. Размер нижнего основания 92,5x92,5 м, верхнего 82,5x83,1 м. Для представления о масштабности платформы могу сообщить, что на ее строительство ушло около 6 млн. штук гигантских кирпичей. Назначение платформы многоцелевое. Это прежде всего оборона, далее защита от наводнений, возвеличивание царского дома и, наконец, главное для нас, защита сооружений, поставленных на эту платформу, от сейсмических волн. Данная платформа, выполненная из сырцового кирпича, относится по выше данной классификации к мягким. Кстати, сооружения Нижнего дворца также поставлены на платформы, правда уже не на такие гигантские.

Теперь об элементах сейсмозащиты конструкций дворца, поставленного на платформу. Разрез стен двор-

ца, фундаментов под ними и платформы показан на рис. 88. Форма опорной платформы под дворец в виде усеченной пирамиды способствует ее устойчивости при землетрясении. Кроме того, платформа по всему периметру схвачена мощной прочной стеной из кирпича на глиняном растворе. Центральная же часть платформы представляет собой слоистые субструкции из кирпича на песке и глине (вспомните слоистые субструкции Колизея). Далее. Под внутренними стенами устроены податливые подушки из кирпича на песке, что предохраняет стены от неравномерных осадок и от сейсмических ударов. Внешняя стена для обеспечения ее устойчивости во время землетрясения снабжена через каждые 1,8 м парными выступами. Теперь о перекрытиях дворца. Во дворце встречаются два вида перекрытий: плоское по деревянным балкам и сводчатое из специально приготовленного кирпича. Любопытно, что для сооружений Хорезма того времени характерны своды в виде эллипсов или близкие к ним. Для повышения надежности сводов они выкладывались в несколько рядов, что позволило некоторым сводам уцелеть до нашего времени. Обожженный кирпич уже тогда применялся как облицовочный материал.

Если подольше побродить по развалинам залов Высокого дворца, то мы, наверное, встретим еще что-нибудь интересное для нас. Вот, посмотрите, обнажился слой сырцовых кирпичей, и на каждом из них виден след человеческой руки. По грани изготовленного уже кирпича мастер пальцами пропахал борозды. Для чего он это делал, совершенно ясно—для улучшения сцепления между кирпичами. Это примерно то же, что делали греки, создавая шероховатые поверхности между блоками. Но давайте не будем увлекаться, а обратим внимание только на одну последнюю деталь. Уже было сказано, что во дворце применялись плоские перекрытия. В случае небольших пролетов деревянные балки перекидывались со стены на стену, на них накат из жердей, далее слой камыша, промазанный глиной с соломой. На них уже слой или два кирпичей на глине. Вот и готово

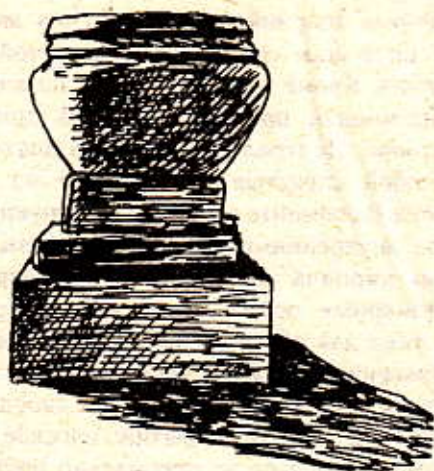


Рис. 89. Каменная база деревянной колонны

перекрытие. А как быть, когда пролеты были большие. Древние строители прекрасно ориентировались и в этом случае. Устраивались промежуточные опоры, колонны с каменными базами. В этих каменных базах (рис. 89) имелось отверстие, куда и вставлялся нижний конец деревянной колонны. Соскочить при землетрясении такая колонна со своей базы не могла. Шарнир, образованный в нижней части колонны, обеспечивал ее надежную работу, так как изгибающие моменты в колонне возникнуть не могли и она работала только на сжатие. Ранее не упоминалось, но такого же типа каменные базы под деревянные колонны встречаются на Кавказе, они же еще встретятся нам дальше в Средней Азии.

Еще один пример из времен античности Средней Азии. Чтобы у вас не было представления, что древние храмы здесь имели только кольцеобразную форму, побываем в Согдиане и рассмотрим другой тип храма, квадратный в плане, ступенчатый (рис. 90). Этот тип был более распространен. Он встречается среди бактрийских,

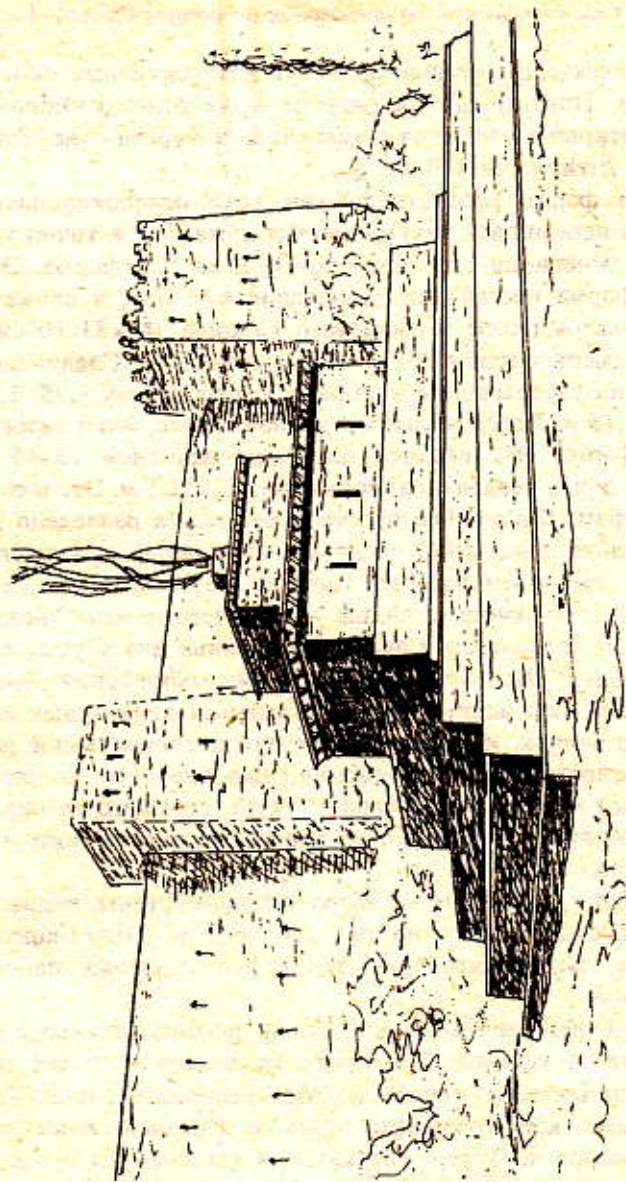


Рис. 90. Пирамидообразный храм огчепоклонников

парфянских и сасанидо-иранских архитектурных памятников. Показанный на рисунке храм огнепоклонников был открыт к северу от Самарканда в Курган-тепе. Этот храм датируется I-II вв. н.э.

По форме рассматриваемый храм огнепоклонников очень напоминает зиккураты Месопотамии, и точно так же в основании его лежит однородная платформа. Эта платформа поставлена на материковый лесс и сложена из пластов пахсы и сырцового кирпича (45x23x10 см). Ее размеры в плане 25x25 м, и высота 0,7 м. Следующие ступени уменьшаются в плане и имеют высоту 1,75; 1,0; 0,5; 1,15 м. Материал этих ступеней тот же, что и нижней платформы. На верхней площадке размером 15x15 м стоит почти квадратное сооружение 12x11,5 м. Это и есть сам храм. Внутреннее пространство храма разделено на несколько помещений продольными и поперечными стенами, выполненными из того же кирпича сырца. На гранях этого кирпича видны уже известные нам борозды — следы человеческой руки, проведенные для улучшения сцепления. Перекрытие внутренних помещений было плоским, основанным на параллельных деревянных несущих балках. Я думаю, что не нужно говорить еще раз о сейсмостойкости сооружения, выполненного из пластичного материала с легкой кровлей, стоящего на пирамидообразном основании из такого же пластичного материала.

Кстати, взгляните на оборонительные стены, видющиеся сзади храма на рис. 90. Видны башни-контрфорсы, поддерживающие эти стены в случае землетрясения.

Не будем терять время среди древнейших построек из сырцового кирпича и отправимся дальше к более совершенным сооружениям из обожженного кирпича. Каменными конструкциями здесь в Средней Азии мы заниматься не будем, так как они встречаются чрезвычайно редко [32-34].

Типовые секреты сейсмостойкости древних сооружений Средней Азии

Уже на нашей с вами памяти земля Средней Азии много раз содрогалась от ударов сейсмической стихии, а за свою беспокойную историю эта земля перенесла множество катастрофических землетрясений, о чем свидетельствуют мгновенно разрушенные города, погребенные под песком до сих пор. Естественно, что древние мастера с присущей им настойчивостью искали способы предохранить свои сооружения от землетрясений и нашли, а также разработали целый типовой набор приемов по обеспечению сейсмостойкости своих конструкций. Эти приемы по принятой тогда традиции передавались из поколения в поколение. Зодчие Средней Азии пришли к тому же выводу, что и все остальные их современники и предшественники: только эластичные прочные материалы в конструкции способны противостоять землетрясениям. При этом должны соблюдаться определенные правила компоновки сооружения. Как мы увидим дальше, эти правила совпадают с теми принципами сейсмостойкого строительства, что были сформулированы выше. Вспомните строителей Кносского дворца, которые своим жестким каменным конструкциям придавали упругость за счет армирования их деревянными брусьями. Идеи у зодчих Средней Азии по вопросам сейсмостойкого строительства были такие же, как у всех, а вот конструктивные воплощения свои, очень оригинальные. Не рассматривая пока конкретные сооружения, попробую перечислить типовой набор антисейсмических мероприятий, которые применяли зодчие Средней Азии.

Начнем с растворов. Основными вяжущими растворами были ганч и глина. Хотя зодчим Средней Азии был известен известковый раствор, они предпочитали ганч из-за его прочности и пластичности. Изготавливался ганч из местного алебастра путем обжига, последующего измельчения и просеивания. Умелые мастера предпочита-

ли ганч крупного помола, который схватывался не так быстро, как ганч мелкого помола, и набирал наивысшую прочность для этого материала через год. Как раствор для кладки в чистом виде ганч почти никогда не применялся, обычно он смешивался с какими-то другими компонентами еще в сухом виде: с лессом, с песком, с древесным углем и еще 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 лесс замедлял процесс схватывания и повышал вяжущие свойства раствора. Зола добавлялась для повышения водостойкости раствора. Глина и древесный уголь смешивались с ганчем для придания связующему повышенных пластических свойств. В одном и том же сооружении требуются растворы с различными качествами. Это прекрасно понимали зодчие древности. Меняя состав добавок в ганч, древние строители придавали нужные свойства растворам. В мавзолее XII в. султана Санджара в Старом Мерве нижние ряды кирпича уложены на ганче с золой и древесным углем, в средней части—с кирпичной мукой, а верхняя часть—ганч с песком. Древние мастера постоянно находились в поиске, совершенствуя раствор, который, казалось бы, уже обладает самыми совершенными свойствами. В конце концов был получен "шереш", порошок из высушенных и размолотых корней растений, небольшая щепотка которого на обычный замес ганча в 10-12 кг придавала ему водостойкость и значительно замедляла скорость твердения. Вот на этом прочном ганчевом растворе, обладающем повышенными по сравнению с известковым упругопластическими свойствами, и возведено большинство сооружений Средней Азии.

Возведение этих сооружений начиналось с рытья котлованов, дно которых на глубину в 60-80 см заполнялось плотной массой сырой гончарной глины без примесей. Такую пластичную глиняную подушку можно наблюдать почти под всеми памятниками архитекту-

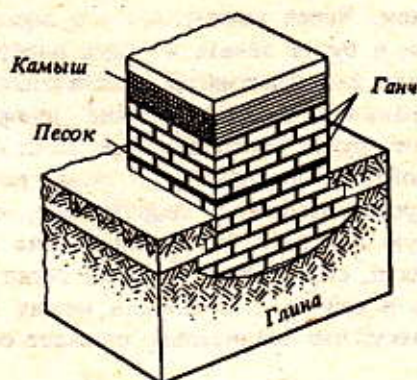


Рис. 91. Типовой набор антисейсмических мероприятий Средней Азии

ры с X до XVII столетия. Иногда дно котлована перед укладкой глины утрамбовывалось копытами лошадей. На таком образом подготовленном основании возводился фундамент из обожженного кирпича, как правило, на глиняном растворе (рис. 91). Подошве фундамента придавалась слегка закругленная форма. Это описание конструкции первого заслона против землетрясений. Глиняная подушка с пластическими свойствами смягчала удар от сейсмической волны. Закругленный фундамент легче входил в пластичную массу. Кстати, чтобы глиняная подушка не высыхала, применялись также специальные меры, всякие засыпки и вымостки. В наше время вместо таких упругопластических подушек устанавливаются различные слоистые резинометаллические сейсмоамортизаторы.

После выкладки фундамента из кирпича на глине, толстые слои которой также играют роль упругих прокладок, на уровне поверхности земли укладывался ряд кирпича на тощем лессовом 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 пластмассы. Назначение скользящих поясов—ограничивать сейсмические движения, передающиеся от грунта на сооружение. Если сейсмическая сила превзойдет силу трения по этому поясу, то произойдет проскальзывание сооружения, что снижает сейсмическую нагрузку. Чем сила трения меньше, тем лучше. Кстати, скользящие пояса из песка применяются в Китае и сейчас, а в Японии между пластинками делают смазку, что значительно снижает сейсмическую силу.

Кладка цоколя закончена. Прежде чем начать возводить стены, поверхность цоколя тщательно выравнивается слоем раствора, на который укладывается камышовый пояс. Камышовый пояс представляет собой камыш, уложенный ровным слоем толщиной 8-10 см. Он укладывается перпендикулярно плоскости стены тщательно, камышинка к камышинке, так чтобы уложенные на него кирпичи вышележащей стены не раздавили его. Иногда таких поясов укладывали два, иногда, разумеется, их вообще не делали. Назначение их такое же, как и скользящих поясов и упругих прокладок—ограничивать движение, передаваемое во время землетрясения от основания на сооружение. Основание сооружения во время землетрясения движется, а на само здание это движение почти не передается, так как за счет камышового пояса связь между ними податливая. Я подумал, какой бы предложить вам современный аналог камышовым поясам. Первой мыслью было назвать чугунные шары, которые обеспечивают трение качения между зданием и фундаментом, но понял, что это не подойдет. Вот если бы сделать эти шары из прочной резины, то было бы похоже.

На камышовом поясе уже возводились стены. Конструкция стен была такова, что они сами являлись антисейсмическим мероприятием. В качестве раствора для стен могла быть использована глина.

В мавзолее Фахр-ад-дин Рази XII века стены выложены на глине, а купол на ганче, и мавзолеей стоит до сих пор. Но чаще все-таки стены выкладывались на ганче. Любопытно, как шла выкладка стен. В нижней части стены толщина раствора равнялась толщине кирпича (5 см), выше толщина раствора уменьшалась и достигала в верхней части 10-12 мм. Получилось, что объем ганча в общем объеме стены доходил до 30%, что обеспечивало стене из кирпича упругоэластические свойства, как и требуют условия сейсмостойкости. На ганче выкладывались все элементы сопряжения стен с куполом и сам купол. Таким замечательным набором антисейсмических мероприятий пользовались зодчие Средней Азии для обеспечения сейсмостойкости своих сооружений. Кстати, и здесь широко применялось армирование деревом кирпичной кладки. Теперь давайте познакомимся с конкретными сооружениями и посмотрим, как в них воплощались принципы сейсмостойкого строительства [35].

Мавзолеи, мечети, минареты

Если кому-то из вас крупно повезет и вы попадете в Среднюю Азию и посетите древние памятники, взгляните внимательно в узор их кирпичной кладки, и вы увидите перед собой восьмое чудо света. Меня всегда поражают кирпичные орнаменты, вытканые на вонзенных в небо минаретах. Форма минарета—это постепенно сужающийся кверху конус, на котором широкими полосами из цветного кирпича выложены какие-то повторяющиеся рисунки. Кажется, что где-то по высоте эти рисунки не совпадут, нарушится гармония рисунка. Но нет, равномерно все выше и выше, кольцо за кольцом, вырисовываются лаконичные орнаменты. Чтобы убедиться в этом, приходится несколько раз обойти минарет, и вы видите, что сбоев нигде нет. А посмотрите, как равномерно и плавно сопрягаются стены с арками и куполами, при этом часто все замысловатое сооружение делается чудесным образом из кирпича

одного размера. Мечеть XI века сложной конфигурации Талхатан-баба недалеко от города Мары построена вся из кирпича одного типоразмера, 25x25x5 см. Известный исследователь древней архитектуры Средней Азии Прибыткова говорит, что обожженный кирпич здесь начал применяться с VIII века и что его форма была выбрана исходя из антисейсмических задач—обеспечения однородности и монолитности кладки. Я бы сказал еще больше, что расположение кирпича в кладке, его узоры, определяется не только эстетикой, но и теми свойствами, которые нужно придать данному участку стены или купола. И еще о кирпиче. Существует предание, что древние обжигали кирпич так, чтобы он звенел при ударе по нему, и не просто звенел, а воспроизводил звук "ля". У меня дома хранится такой кирпич со следами рук мастера, и он, действительно, звенит, не могу сказать точно, какой звук он воспроизводит, но прочностные свойства у него явно превосходные.

Давайте начнем наше путешествие в страну кирпича и солнца с Самарканда, города, над которым пронесли все бури Средней Азии и в древних памятниках которого запечатлелась вся история строительного искусства той эпохи.

Для того чтобы представить, как менялись со временем архитектурные композиции и объемно-планировочные решения древних сооружений и как это влияло на их сейсмостойкость, наверное, было бы достаточно рассмотреть комплекс культовых сооружений, который начал формироваться на юге Самарканда в XI веке возле мнимой могилы Кусам ибн Аббаса (Шах-и Зинда—живой царь) и продолжал достраиваться в XV веке. Кусам ибн Аббас—личность вполне реальная и значительная, он был двоюродный брат пророка Мухаммеда, явился с первыми войсками арабов в Самарканд в VII веке и тут погиб. Так вот, если вернуться к интересующей нас истории строительства, то, анализируя ансамбль древних архитектурных памятников в Шах-и

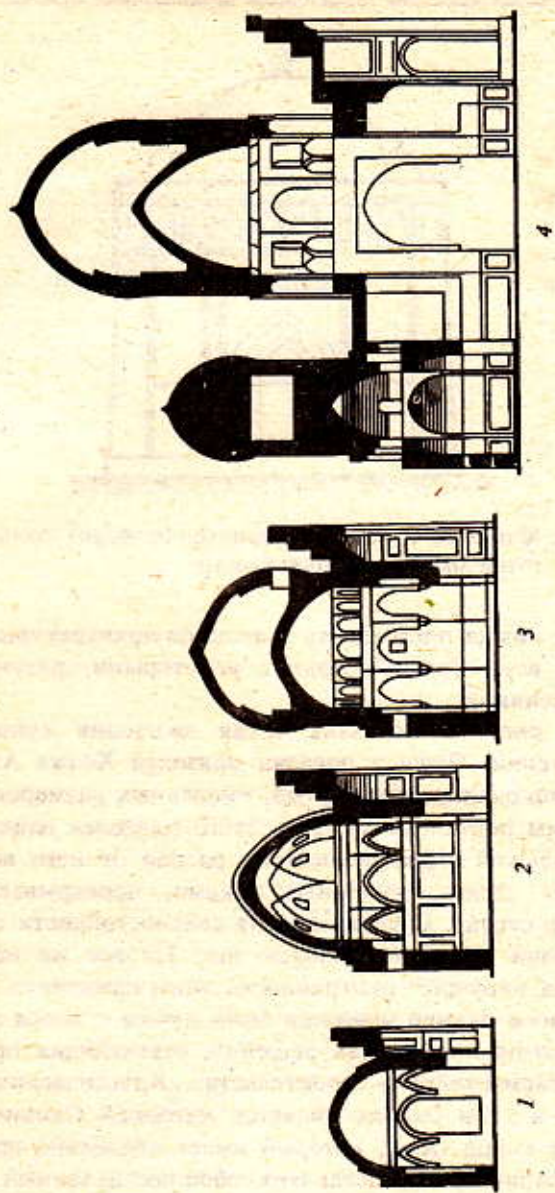


Рис. 92. Эволюция купольных конструкций мавзолеев Средней Азии

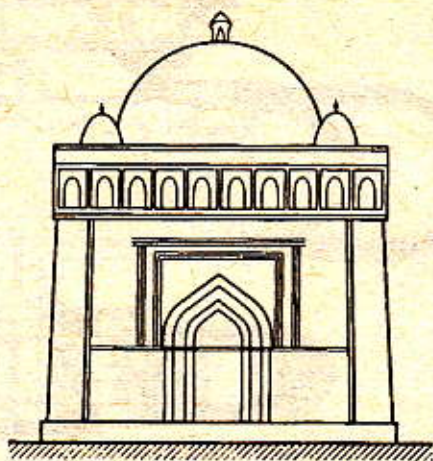


Рис. 93. Мавзолей Саманидов, идеально пропорциональный с точки зрения сейсмостойкости

Зинда, можно представить эволюцию архитектуры вообще во всей Средней Азии с некоторыми, разумеется, отклонениями.

На рис. 92 показана такая эволюция купольных сооружений. Первым показан мавзолей Ходжа Ахмада, пропорционально сложенный, умеренных размеров с небольшим порталом. Купол у этого мавзолея одинарный с небольшой стреловидностью, распор от него воспринимают стены, усиленные арками, перекрывающими ниши в стенах. С точки зрения сейсмостойкости особых претензий к этому мавзолею нет. Но все же наличие портала нарушает центричность этого памятника. Кстати, совсем ранние мавзолеи были лучше с точки зрения объемно-планировочных решений, отвечающих принципам сейсмостойкого строительства. Классическим примером в этом смысле является мавзолей Саманидов в Бухаре конца IX в., который имеет предельно простую композицию. Он представляет собой поставленный на небольшую кирпичную платформу приземистый куб размером в плане 10,8x10,8 м и высотой 9,0 м (рис. 93).

Стены толщиной 1,8 м, как и все сооружение, выполнены из 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 жесткой конструкции. Это подтвердила тысячелетняя история существования этого памятника.

Надо сказать, что древних сооружений идеальных пропорций в Средней Азии много. Об их геометрической гармонии подробно рассказано в фундаментальном труде Булатова М.С. Мне же хочется назвать еще один замечательно пропорциональный безпортальный мавзолей, аналога которому нигде в Средней Азии нет. Это мавзолей Фахраддина Рази в Куня-Ургенче XII века (рис. 94), уцелевший после разгрома Ургенча монголами. Мавзолей поставлен на расширяющийся книзу фундамент, имеет внешние размеры в плане 6,5х6,65 м, размеры внутреннего квадратного помещения 3,63х3,63 м. Высота слегка сужающегося кверху куба примерно 6,7 м. 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. Контур этого купола показан на рисунке пунктиром. Внешний и внутренний купола вместе с барабаном образуют единый замкнутый контур, что соответствует одному из принципов сейсмостойкого строительства. Как я уже говорил, стены этого мавзолея выполнены на глине, а купол на ганче. Получается, что жесткая скорлупа куполов опирается на массивное упругопластическое тело, которое служит изолятором от колебаний грунта, возбуждаемых сейсмическими волнами. Конструктивная схема очень похожа на ту, что мы имели в Галикарнасском мавзолее.

После небольшого логического отступления вернемся к рис. 92, на котором показана эволюция купольных

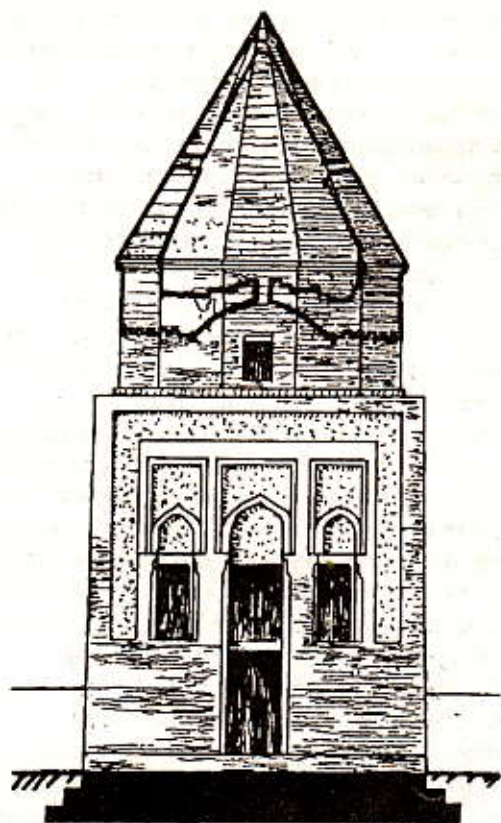


Рис. 94. Плавная геометрия мавзолея Фахраддина Рази

мавзолеев. Эта эволюция началась с древних центральных мавзолеев, далее перешла от равных между собой фасадов к выделению главного и оформлению его в виде пышного, очень массивного портала. Появились портално-купольные сооружения, которые теперь уже не являлись центрическими с равномерным распределением масс и жесткостей, чего требуют принципы сейсмостойкости. Под вторым номером на рис. 92 показан представитель нового поколения мавзолеев—мавзолей Шади-Мульк-ака

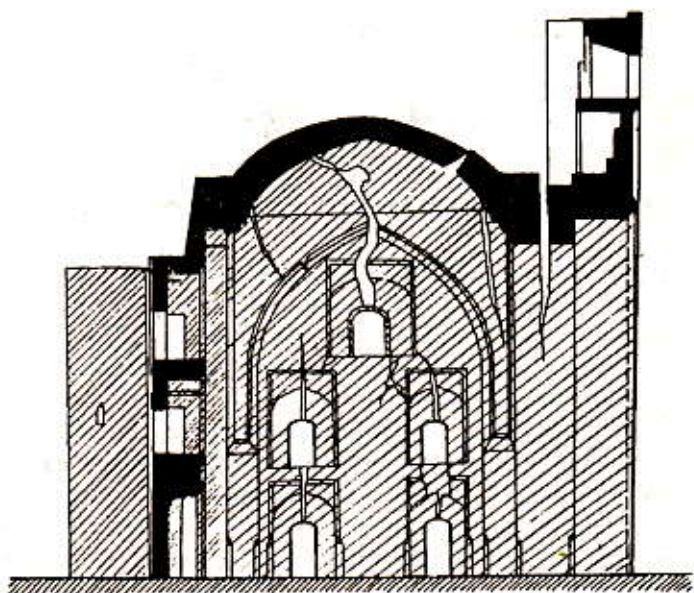


Рис. 95. Предпоследняя стадия разрушения мечети в Анау

XIV в. Увеличился пролет купола, и его уже подпирают ребра жесткости, образующие подкупольный каркас. Давления на грунт под фундаментом и под порталом получаются различными, под порталом оно, как правило, больше. Это понимают древние строители и увеличивают глубину заложения фундамента под порталом. Здесь явное нарушение принципов сейсмостойкости, так как не соблюдается равномерность распределения масс в сооружении. При таком нарушении получается перегруженным место соединения основной массы мавзолея с порталом, и с этого места начинается разрушение всего сооружения. Пример тому—так называемая “мечеть в Анау”, на самом деле мавзолей шейха Джемал-уль-Хак-Уаддина, построенный в середине XV в. (рис. 95). Этот мавзолей, расположенный на невысокой возвышенности близ Ашхабада, построен из прямоугольного обожжен-

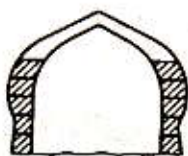


Рис. 96. Безраспорный самоуравновешивающийся купол

ного кирпича очень хорошего качества на ганчевом растворе. Но это не помогло, и разрушение памятника началось с отслоения портала и трещин в куполе и закончилось полным обрушением при Ашхабадском землетрясении 1948 г.

Следующий этап развития купольных сооружений представлен мавзолеем Ширин-бек-ака, его разрез показан на рис. 92 под третьим номером. Здесь уже применяется двойной купол: внешний и внутренний. При этом форма внешнего купола такова, что он не передает распор на стены. Вот тут-то задаешься поневоле вопросом. Откуда такая форма мусульманских куполов, связано ли это с религией, или выбрано совершенное конструктивное решение? Я думаю, что здесь и то и другое. На рис. 96 показан разрез купола в Индии, где видно, что это своего рода равновесная система. Здесь, по крайней мере, в средней части купола, каждый камень уложен так, что надвиг его внутрь уравнивается утолщением его снаружи. Рационализм древних римских построек уже обсуждался, но это относится ко всему древнему зодчеству. Древний строитель старался создавать прочные, надежные и экономичные сооружения, но чтобы это была архитектура и чтобы это было на века, иначе еще он не мог. Вспомните стрельчатые мусульманские арки, с художественной точки зрения это красиво, а с конструктивной—надежно. При землетрясении образование шарниров в замке или в опорах стреловидной арки не ведет к ее обрушению, а вот круглая арка разрушится скорее (рис. 97). Двойные купола, показанные на рис. 92, образуют замкнутый

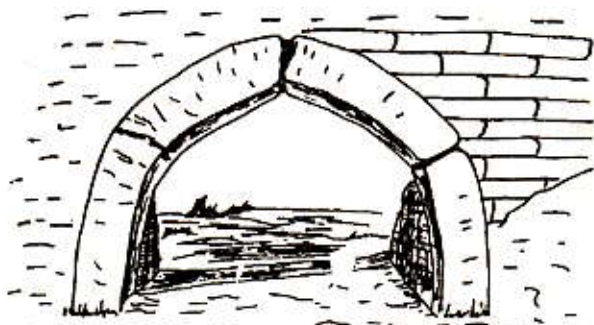


Рис. 97. Сейсмостойкость стрельчатой арки

однородный контур, что, конечно, хорошо с точки зрения сеймики.

На грани XIV-XV вв. в архитектуре культовых и мемориальных сооружений появляются новые существенные изменения. Это связано с появлением мировой империи Тимура со столицей Самарканд, где сосредотачиваются огромные богатства, куда доставляются лучшие мастера со всех концов империи, где создаются огромные армии чернорабочих. Все это создает исторические предпосылки, когда эволюция купольных сооружений достигает своей высшей точки. От приземистых кубических построек до украшенных богатыми порталами сооружений и к великолепным стройным мавзолеям с высоко вознесенными на барабанах бирюзовыми куполами, которые появляются в эпоху Тимура. Растут размеры сооружений, архитекторы заболевают гигантоманией, башни минаретов устремляются в стратосферу. Сложные задачи по возведению огромных сооружений требуют развития строительной техники. Увеличение размеров мавзолеев, невероятная стройность и высота минаретов, большие пролеты куполов, вознесенных на огромную высоту—все это вступает в противоречие с принципами сейсмостойкого строительства. Это прекрасно представляли зодчие древности, ко-

торые начинают бороться за сейсмостойкость своих гигантских сооружений. Фундаменты значительно углубляются, нормой считается фундамент, заложенный на глубину 4-5 м из камня на специальном водоустойчивом "кыровом" растворе (известь с золой), что обеспечивает надежное основание для мощных порталов и высоких минаретов. Кладка стен из обожженного кирпича на ганче удовлетворяет новым повышенным требованиям, она монолитна, прочна и упруга. Самые большие проблемы возникают с возрастанием пролетов сводов и куполов. Все купола теперь делаются двойные, для равномерного распределения нагрузки от большепролетного купола создается специальная система кирпичных ребер, передающая нагрузку на стены и внутренний купол. Самым значительным является то, что разрабатывается система подпружных арок, поддерживающих свод и барабан купола, которая позволяет создавать обширные внутренние помещения без значительного увеличения диаметра купола. За счет применения этой системы арок снижается вес всего сооружения. Кстати, подпружные арки Средней Азии напоминают двойные пересекающиеся арки Армении, тоже поддерживающие своды, но здесь система гораздо сложнее. Заметно активное стремление значительно понизить вес конструкций: тяжелые своды и купола, раньше выполнявшиеся из кирпича, теперь переводятся в тонкостенные конструкции из ганча.

В XV в. значительно усложняется композиция сооружений. Наряду с вознесенными высоко в небо куполами, чем нарушается один из принципов сейсмостойкости, стали строить двухкупольные мавзолеи, в которых проводятся захоронения и есть специальное помещение для выполнения обрядов. На четвертой схеме рис. 92 приведен пример двухкупольного мавзолея XV в., ранее приписываемого Казызаде Руми. Как вы видите из рисунка, принцип равномерного распределения масс и жесткостей здесь не соблюдается совершенно. Разное заглубление фундаментов, разные купола, поднятые на

разную высоту, портал, разная толщина стен, но даже в таком случае можно обеспечить сейсмостойкость сооружения конструктивными мероприятиями. Названный мавзолеем стоит до сих пор.

Из уже сказанного понятно, что древние строители прекрасно понимали, какую опасность с точки зрения сейсмостойкости представляет гигантомания в архитектуре. Рост размеров сооружения, повышение центра тяжести всего сооружения за счет вознесения куполов, увеличение пролетов арок и куполов, а тут еще и несоблюдение симметрии в многокупольных мавзолеях— все это нарушает принципы сейсмостойкости и снижает сейсмостойкость строительных конструкций. Было уже рассказано, какие применялись конструктивные приемы, чтобы предохранить великолепные мавзолеи нового поколения от землетрясений. Рассмотрим еще один мавзолеем того времени.

После своих блистательных побед над Золотой Ордой Тимур, руководствуясь политическими и религиозными мотивами, повелел построить на месте старой усыпальницы XII в. шейха Ахмеда Ясави новую усыпальницу невиданной пышности и размеров в городе Ясы, теперь Туркестан. В обсуждении размеров сооружения и его компоновки участвовал непосредственно сам Тимур. Строительство началось в 1397 г. и велось очень быстрыми темпами, но, отправившись в поход в Китай, в 1505 г. Тимур внезапно умер, и строительство прекратилось и не закончено до наших дней.

Комплекс содержит не только усыпальницу Ахмеда Ясави, но и мечеть и медресе с библиотекой и халимхана, где раздавалась еда странникам два раза в неделю, и так далее. Мавзолеем-мечеть Ахмеда Ясави представляет собой огромное с одной плоскостью симметрии портално-купольное сооружение. На рис. 98 показаны общий вид, продольный разрез и план этого сооружения. Его размеры в плане 46,5х65,5 м, ширина портала 50 м, порталная арка имеет пролет 18,2 м, диаметр самого большого кирпичного купола из сохранившихся в

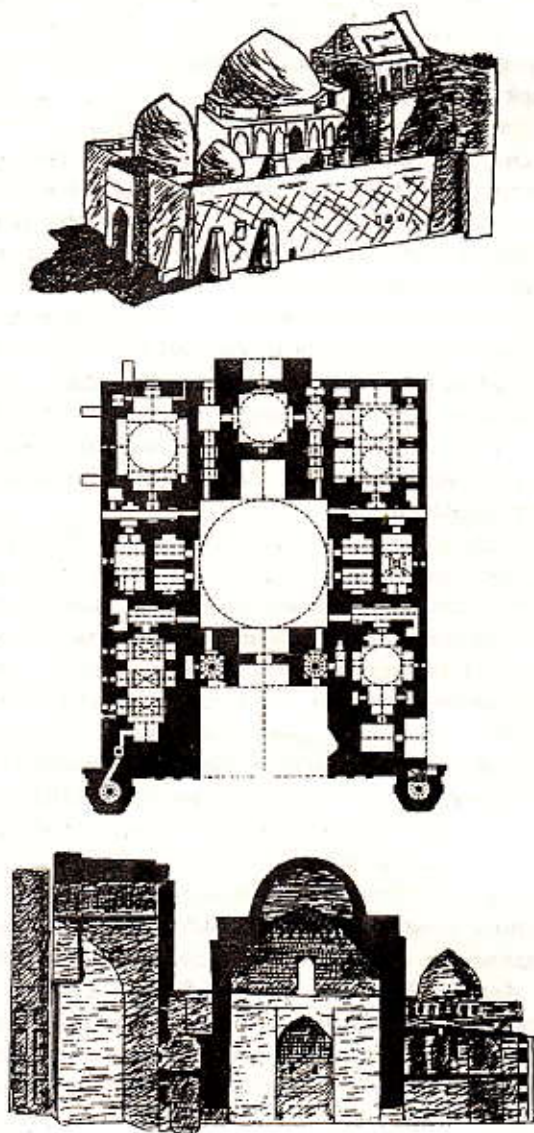


Рис. 98. Общий вид, план и разрез мавзолея Ахмеда Ясави

Средней Азии тоже 18,2 м. Толщина наружных кирпичных стен до 2,0 м, толщина внутренних стен, на которые опирается центральный купол, до 3,0 м. Не будем углубляться в бурную историю этого выдающегося памятника архитектуры, прошедшего путь от разграбления его ордами Золотой Орды хана Тохтамыша до сталинских лагерей нашего времени. Займемся его сейсмостойкостью.

Начнем с фундамента. Сначала кажется загадкой, почему талантливые строители этого замечательного сооружения очень легкомысленно отнеслись к его фундаменту. Обычно фундаменты эпохи Тимура поражают своей излишней прочностью, они складывались из крупных камней на известковом растворе с золой, что придавало им водоустойчивость и прочность. Здесь же под зданием мавзолея не было возведено солидного фундамента. Под его стены, на глубину всего 25-30 см, было лишь положено несколько рядов небрежной кирпичной кладки, а в котлован под тяжелый портал насыпали крупной гальки с землей. Так что причина, из-за которой ансамбль Ахмеда Ясави возведен на слабых фундаментах, очень проста, и нам должна быть весьма понятной. Владетельный Тимур отправился в путешествие навстречу своей невесте Гукель-Ханым, а тут надо было ехать в сторону закладывать мавзолей, не до этого, настроение плохое, все делается в спешке. Верноподданные стараются угодить, показать товар лицом, здесь уж не до фундамента, скорее надо складывать стены пред светлым ликом начальства. Короче говоря, схалтурил древний строитель, все знал, но обстоятельства оказались сильнее его. К счастью, сильные землетрясения пока не очень беспокоят этот памятник, и все-таки плохой фундамент служит основной причиной его разрушения от неравномерных осадок. Большой вред основанию мавзолея нанесли в 1846 г. кокандские войска, которые для того, чтобы захватить правителя Туркестана Канат-шаха, засевшего в мавзолее, с помощью системы плотин затопили его, и основание мавзолея долгое время стояло затопленным.

Но самый главный секрет, обеспечивший сохранность мавзолея Ахмеда Ясави при плохих фундаментах в условиях повышенной сейсмичности и в прошлом сильных увлажнений лессовых просадочных грунтов, заключается в том, что он разрезан на восемь независимых пространственных блоков. Конструктивно антисейсмические швы оформлены в виде четырех сквозных двухэтажных коридоров (рис. 98), которые позволяют отдельным частям сооружения двигаться во время землетрясения или при неравномерных осадках независимо, не вызывая дополнительных перегрузок в большемразмерном сооружении. На разрезе мавзолея видно, что главный купол опирается на внутренние стены, обеспечивающие ему самостоятельную опору. Вот такой разрезкой на отдельные блоки боролись древние строители с гигантоманией.

Несмотря на то, что вокруг мавзолея-мечети всегда жили шейхи, наблюдавшие за порядком в нем и справлявшие обряды, строительство его так и осталось незавершенным до сих пор. Например, главный портал так и не имеет двух минаретов, которые предполагал поставить Тимур, не имеет он также облицовки. Правда, властитель Бухары Абдулла-хан пытался достроить мавзолей в конце XVI в., он свел главную арку портала и сделал кое-что еще. Жаль, что он также не приказал возвести минареты, которые должны были пригрузить портал и облегчить ему надежное восприятие распора от главной арки.

Весь разговор о мавзолее Ахмеда Ясави был затеян для того, чтобы рассказать о разрезке больших сооружений на отдельные блоки, о которой догадывались зодчие древности. Прежде чем расстаться с этим комплексом, хочется рассказать о нем еще одну очень любопытную вещь. В нем была обнаружена арка из обожженного кирпича на неведомом смолообразном растворе с очень высокими упругими свойствами. Раствор этот представляет собой смесь какой-то загадочной смолы с песком и лессом. Нанесенный на кирпич в подогретом состоянии

раствор схватывается с ним необычайно прочно, придавая конструкции из такой кладки высокую прочность и повышенные упругопластические свойства. Совершенно ясно, что один только такой раствор, примененный при кладке стен в таких ответственных конструкциях, как арки и купола, придает им исключительную долговечность и сейсмостойкость. Нет сомнений, что этот невиданный смолообразный раствор был получен в результате глубоких творческих поисков. При этом была четко поставлена задача.

Признайся читатель, если вы занимаетесь сейсмостойким строительством, подозревали ли вы о замечательных антисейсмических приемах древних мастеров, пока эта книга случайно не попала в руки? А знать это надо, как вы сами в этом убедились, у древних много интересного и разумного. Еще пару примеров о творческих поисках древних строителей.

Над древней Бухарой возвышается минарет Калян, которому скоро исполнится девятьсот лет. Минареты— это самые замечательные творения Средней Азии, они выделяются своими стройными силуэтами на фоне поднебесной синевы. Трудно поверить, что они выполнены из хрупкого кирпича. Более того, они часто стоят в одиночку без положенной возле них мечети. Мечети, более жесткие, основательные и, казалось бы, более прочные, давно разрушили землетрясения, а вот эти очень хрупкие на вид, изящные и гибкие сооружения стоят до сих пор. Два раза возводились минареты у соборной мечети в Бухаре, и каждый раз они обрушивались, наконец, третья попытка увенчалась успехом. В 1127-1129 гг. был возведен минарет Калян (рис. 99) на чрезвычайно прочном и глубоком фундаменте, заложенном на глубину до 10,0 м по одним источникам, а по другим источникам шурф глубиной в 13,0 м так и не дошел до грунтового основания. Сложен минарет из обожженного кирпича на ганчевом растворе. Современная его высота 46,0 м, есть предположение, что над фонарем, который в настоящее время венчает минарет,



Рис. 99. Минарет Калаян после 900 лет естественного отбора

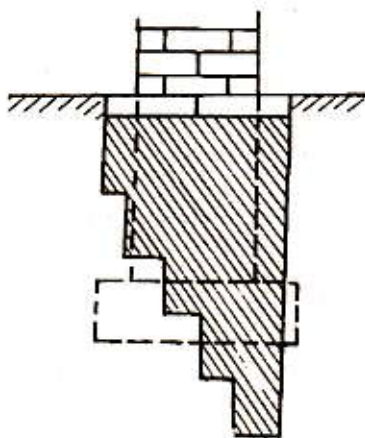


Рис. 100. Необычный сужающийся вниз фундамент

было второе звено, упавшее при землетрясении. Диаметр минарета у восьмигранного высокого цоколя 9,0 м. Замысловатое перекрытие над фонарем поддерживают шестнадцать стрельчатых арок, образующих столько же проемов, через которые в былые времена одновременно шестнадцать муэдзинов призывали мусульман на молитву. Минарет Калян в современном виде не назовешь излишне стройным, его довольно быстро сужающаяся кверху коническая форма приземиста. Естественный отбор показал, что форма минарета Каляна сейсмостойка, он стоит, тогда как множество существовавших минаретов рухнуло, остались единицы. Все единицы сохранившихся архитектурных памятников для нас и важны, они дают информацию о требуемой глубине заложения фундаментов, о формах сооружений, желательных для сейсмостойкого района, наконец, их динамические характеристики—это те, которые желательны для сооружений, строящихся в данной сейсмоопасной зоне. Более того, старые рубцы на их боках дают нам сведения о бывших землетрясениях в данном месте.

Теперь о необычном фундаменте знаменитого мавзолея султана Санджара в Старом Мерве. Фундамент этого мавзолея не расширяется книзу, как обычно, а, наоборот, ступенчато сужается (рис. 100). Традиционная форма фундамента показана на рисунке пунктиром. Весь ступенчатый фундамент помещен в массив из пластичной глины. Что это—ошибка или гениальная находка? Думаю, что второе. Представьте себе, что корабли стали бы строить корабли с плоскими тупыми носами. Легко ли было бы таким тупорылым кораблям рассекать морские волны, и какие бы они испытывали удары со стороны этих волн? Так и наши расширяющиеся книзу фундаменты получают прямые жесткие удары со стороны сейсмических волн. Сужающиеся книзу ступенчатые фундаменты, да еще помещенные в огромный котлован из пластичной глины, как у мавзолея Санджара, наверняка должны рассекать, отражать и рассеивать сейсмические волны.

Еще раз повторяю, что древние строители никогда не ставили свои сооружения прямо на скальный грунт. Уже ранние монументальные сооружения Хорезма, построенные в III-VIII веках, стояли непосредственно на песчаных подушках. Эти подушки образовывались в результате засыпки и выравнивания песком неоднородных скалистых грунтов. Мавзолей, построенный на крутом склоне горы Тахт-и-Сулейман около города Ош, поставлен в выбитый в скале котлован, предварительно засыпанный песком. Также конструктивно решен мавзолей Чупан-Ата под Самаркандом. В скалистом грунте выбит котлован и заполнен лессовым суглинком. На эту подушку уже поставлен мавзолей. Как видите, сейсмозащита начиналась с подготовки грунтового основания.

Давайте остановимся еще на одном важном для сейсмостойкости вопросе—на сопряжении стен и куполов,—который решался в Средней Азии, как правило, блестяще. Круглые сооружения в средние века здесь не строились, поэтому приходилось сопрягать квадрат с кругом. В Средней Азии применялся типовой подход. На

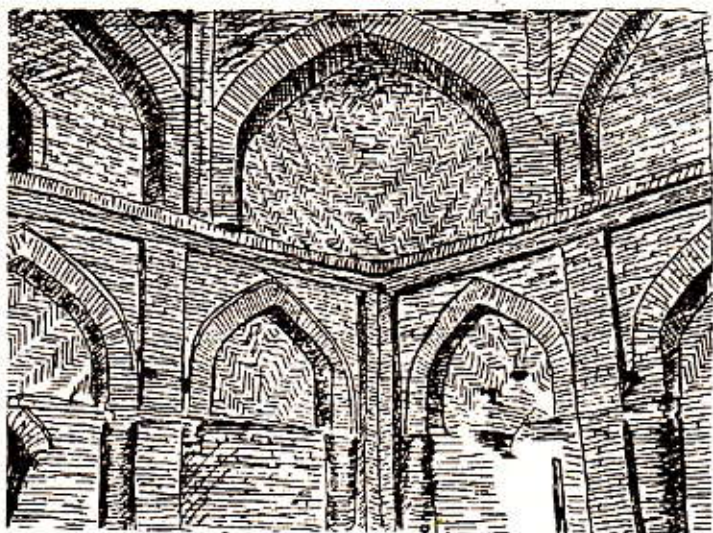


Рис. 101. Плавное сопряжение купола со зданием

квадрат с помощью перекрытия углов арочными тромпами ставился восьмигранник, а он уже сопрягался с куполом. На рис. 101 показано такое сопряжение на примере одного из мавзолеев XI в. Вы видите, как облегчены стены нишами, перекрытыми стрельчатыми арками. В простенках между арками заложены ребра жесткости в виде колонн, утопленных в стену. Выше расположена новая система из арок, образующих восьмигранник. Далее идет сам купол, который постоянно на протяжении веков совершенствовался, облегчался и упрочнялся.

Вот еще любопытный момент. Обратите внимание, как широко использовались в древнем мире различные криволинейные конструкции: арки, своды, купола. Все эти конструкции, хорошо построенные, показали свою долговечность, надежность и в то же время украсили монументальные сооружения. Теперь обратите внимание, как редко эти же конструкции используются в настоящее время, все до предела упрощено, и наши сооружения

примитивно гладкие и плоские. Теперь поговорим о дереве как о строительном материале, хорошо отвечающем требованиям сейсмостойкости [35-43].

Сейсмостойкость конструкций из дерева

Из традиционных строительных материалов дерево с его легкостью, прочностью и упругостью лучше всего отвечает требованиям сейсмостойкости. В настоящее время у дерева появились новые достойные соперники. Это пластмассы, еще более легкие и прочные, способные принимать любую форму, а также пневматические конструкции, основу которых составляет обыкновенный воздух. И все-таки о древних деревянных конструкциях.

Одна из древнейших конструкций, основу которой составляло дерево и которая широко применялась и продолжает применяться главным образом в жилом строительстве Египта, Индии, на Кавказе, в Китае, это здания с деревянным каркасом и заполнением из глины, смешанной с соломой или шерстью животных. При хорошо выполненном каркасе и легкой кровле такие здания отвечают всем требованиям сейсмостойкости и хорошо выдерживают сильнейшие землетрясения. Вообще древние строители понимали толк в дереве, не зря много раз уже упоминалось армирование деревом кирпичных и каменных конструкций.

Вы, может быть, обратили внимание, что, описывая архитектурные памятники Средней Азии, я нигде пока не упоминал каменные колонны. В чем здесь дело, давайте разберемся подробно. Каменных колонн в сохранившихся сооружениях не осталось, хотя известно, что были попытки их применить. В соборной мечети Тимура, называвшейся Биби-Ханым и имевшей гигантские размеры 83x62 м, было использовано 400 мраморных колонн высотой более 4,0 м. Эту мечеть постигла печальная участь, при землетрясении она рухнула. Были, по-видимому, и другие неудачные примеры использования каменных колонн, во всяком случае, зодчие явно

относились к ним с большим недоверием. Учитывая сейсмическую опасность района, они не могли обеспечить им гибкость, как это требовалось согласно их принципам. Кирпичные столбы как промежуточные опоры применялись, так как известными способами с помощью раствора им можно было придать эластичность. Кирпичные столбы устраивались значительной толщины, порядка 80 см, при этом кладка велась на толстых слоях скрепляющего ганчевого раствора. Особенно они широко применялись на ранних объектах в XI в. Позднее и от них отказались. Подобный кирпичный столб уже упоминался в Месопотамии, он показан на рис. 17.

Зато в Средней Азии применялась, применяется и будет применяться традиционная легкая деревянная колонна, обладающая совершеннейшими конструктивными качествами (рис. 102). Устроена она, как вы видите на рисунке, следующим образом. Прежде всего у нее есть красивая резная расширяющаяся книзу каменная база. В верхней части каменной базы имеется отверстие, куда вставляется нижний шип легкой деревянной колонны, постепенно сужающейся вверх. Верхняя часть колонны также снабжена шипом, вставляемым в подбалку. Подбалка сама на концах снабжена шипами, на которые надеваются балки перекрытия. Смотрите, что получилось. Колонна с обеих концов снабжена шарнирами, следовательно, она будет работать только на сжатие без изгиба и ее материал будет загружен равномерно. Далее, применение подбалки снижает величину пролета между колоннами, и этим значительно снижается максимальный изгибающий момент в несущих балках. Ко всему прочему, наличие шипов не позволит всей конструкции разползтись, а элементам соскочить один с другого при той тряске, которая возникнет во время землетрясения. Наконец, самое главное, через двухшарнирные колонны не будут передаваться на перекрытие те движения грунтового основания, которые возникнут при землетрясении. На перекрытие будут передаваться горизонтальные движения только через стены, которые сами и

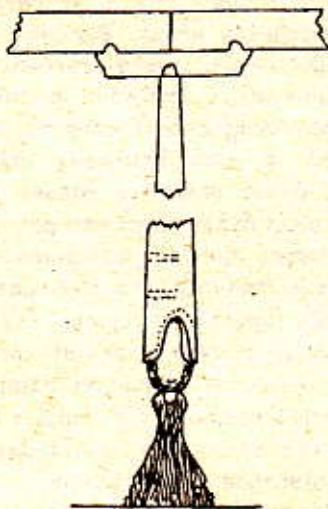
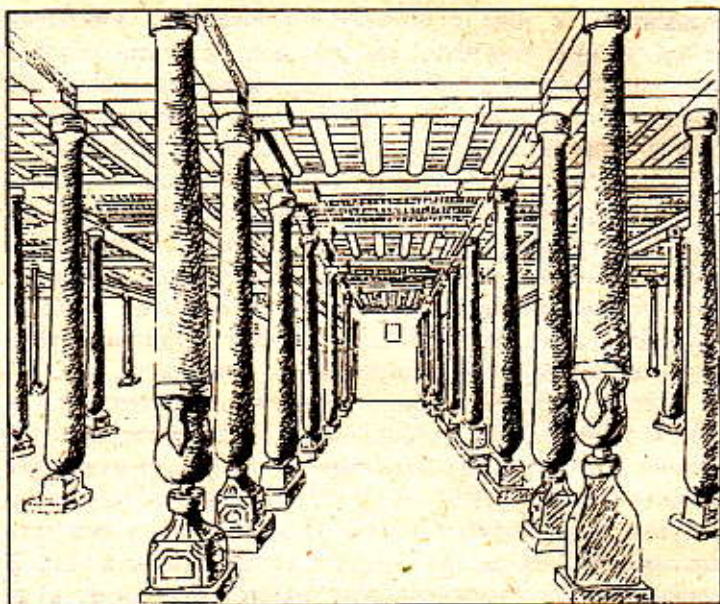


Рис. 102. Джума-мечеть на многошарнирных колоннах и конструкция одной из таких колонн

должны воспринимать эту горизонтальную нагрузку. Рассматриваемая замечательная колонна широко применяется в среднеазиатском строительстве. Она служит для поддержания легких деревянных перекрытий над широко распространенными традиционными открытыми террасами, айванами. Но эта же колонна использовалась в монументальном строительстве. Знаменитая Джума-мечеть в Хиве (рис. 102) была заложена в X в., размер ее в плане 55x46 м, и высота до 5 м, в нее вмещалось все мужское население города при пятничных богослужениях. Плоское балочное перекрытие Джума-мечети поддерживают 212 колонны указанной конструкции, из них четыре древние колонны отличаются резьбой особой красоты и относятся еще к X-XI вв. Как видите, Джума-мечеть своим тысячелетним существованием подтвердила сейсмостойкость выбранной конструктивной схемы. А схема эта проста до гениальности. У нее совершенно нет жестких узлов, легкое гибкое деревянное перекрытие, все соединения шарнирные, небольшие сейсмические горизонтальные нагрузки передаются на стены, расположенные по периметру.

Теперь давайте перенесемся на несколько столетий вперед в то время, когда в Среднюю Азию пришли русские, большие специалисты в области строительства из дерева. Начнем с самого простого и самого распространенного элемента деревянного зодчества, с русской избы. С освоением русскими Сибири и Дальнего Востока русская изба появилась в Забайкалье, на Алтае, в Казахстане, в районах повышенной сейсмической активности, где показала себя при землетрясениях с самой хорошей стороны, хотя изначально ее конструкцию никто к этому не приспособлял, как, например, японскую пагоду.

Вспомните, как устроена обыкновенная русская изба. Основу всякой русской избы составляет так называемый сруб, который собирается из горизонтально расположенных отдельных тщательно пригнанных друг к другу бревен. При этом перед установкой в каждом бревне снизу

вырубается по всей длине паз, а сверху ребро. Более того, на концах каждого бревна там, где примыкают поперечные стены, вырубается поперечные пазы. В результате при установке каждого бревна в сруб оно сцепляется с нижележащим бревном и с бревнами поперечных стен, образуется единая неразъемная система, из которой нельзя выбить ни одно бревно, не сломав всей стены. Такой сруб может деформироваться в любом направлении за счет сдвигов одного бревна относительно другого по пазам. Такая система обладает хорошим затуханием, материал ее легок, прочен и упруг. Конструкция обладает свойством симметрии. То, что рубленые русские избы обладают высокой сейсмостойкостью, подтвердили многие землетрясения. При Иркутском землетрясении 7 ноября 1958 г. интенсивностью 8-9 баллов рубленые дома пострадали меньше всех, только в отдельных домах появились щели в углах. При Верненском землетрясении 1910 г., интенсивность которого была больше 9 баллов, рубленые дома с хорошим каменным фундаментом под всем домом не пострадали вообще. К этому землетрясению мы еще вернемся.

Теперь представьте себе такую фантастическую ситуацию. Устроен всемирный конкурс на самую сейсмостойкую конструкцию всех времен и народов. Каждому предлагается представить на этот конкурс любой проект сейсмостойкого здания прошлого, настоящего или будущего. Я бы, не долго думая, представил на такой конкурс русскую избу и при этом надеялся бы получить первый приз. Ну в крайнем случае второй, если бы победила японская пагода. При этом я бы предложил немного усовершенствовать русскую избу. Чтобы бревна избы не выскочили из пазов при очень сильных толчках, я бы в нескольких местах, в том числе и в углах, через все бревна сруба пропустил бы металлические стержни, закрепив их внизу и сверху. Вот о такой, но значительно более сложной, чем русская изба, конструкции из дерева, армированной металлом, я и хочу теперь вам рассказать.

Речь пойдет о Софийском Кафедральном соборе, построенном в городе Верном, ныне Алма-Ата. Собор был заложен в 1904 г. и уже в 1907 г. освящен. Это замечательное сооружение, стоящее в центре Алма-Аты, является малоизученным и плохо освещенным в литературе архитектурным памятником. Узнал я об этом соборе из книги Ю. Домбровского "Хранитель древностей", в настоящее время широко публикуемого. В этом художественном произведении Ю. Домбровский подробно описывает свой приезд в Алма-Ату в 30-е годы, встречу с Кафедральным собором и разговор со сторожем этого собора старым казаком, который рассказывает ему о русском военном инженере А.П. Зенкове, как будто построившем этот собор без единого гвоздя из тьяншаньской ели и восстановившем город Верный после сильнейшего землетрясения 1887 года. Ю. Домбровский попал в Алма-Ату в ссылку и как раз работал в самом Кафедральном соборе, где тогда был размещен краеведческий музей. В своей книге "Хранитель древностей" Ю. Домбровский попутно рассказывает о сейсмостойкости собора и других деревянных зданий, построенных А.П. Зенковым. Многие в этих рассказах заинтересовало меня, а кое-что вызвало сомнения. Например, нет упоминаний о большом русском ученом Мушкетове И.В., который как раз и занимался землетрясением 1887 г. и участвовал в написании "Мер, указанных Техническо-строительным комитетом, которые необходимо применять в городских поселениях Семиреченской области". Это был один из первых нормативных документов, созданных в России с рекомендациями по строительству сейсмостойких зданий. Заинтересовавшись всей этой историей с Кафедральным собором, я попытался кое-что выяснить, о чем хочу дальше вам рассказать.

Резолюция царя Николая I о создании укрепления, названного Верным, в Семиречье была подписана в феврале 1854 года. В 1855 году здесь уже было построено временное укрепление и город начал бурно расти. Наверное, для того чтобы предупредить будущих строи-

телей и жителей этого города о грозящих ему катастрофах, ему было ниспослано два сильнейших землетрясения уже в начале его истории.

Первое сильное землетрясение в г. Верном произошло в 1887 г. Кроме предварительных незначительных толчков, которые заставили жителей покинуть помещения, произошло еще два сильных удара с интервалом в 10 мин. Сильнее всего пострадали здания из различных видов кладки, особенно из сырцового кирпича, рухнула кирпичная церковь, короче говоря, разрушилось 1,8 тысяч таких зданий. Зато 800 деревянных зданий, оказавшихся в городе, уцелело, в них разрушились только кирпичные трубы и печи. Тут уж нетрудно было сделать вывод, что деревянные здания являются более сейсмостойкими, чем каменные. В 1889 г. были изданы названные выше "Меры ...", в которых рекомендовалось строить, как правило, деревянные сооружения на каменном фундаменте с устройством подвала под всем зданием и усилением углов вертикальными брусками. Вспомните о вертикальных связях, которые нужно устроить в русской избе, чтобы она стала самым сейсмостойким зданием в мире. После этого землетрясения город был восстановлен в деревянном варианте.

Следующее землетрясение в 1910 г. было еще более сильным. Смещения почвы в Пулково под Петербургом достигали 4 мм. При этом землетрясении ни одна деревянная постройка не была разрушена, в том числе и построенный к этому времени наш громадный Кафедральный собор. Опять разрушались только кирпичные печи. Люди и скот погибали только в горах на пастбищах под обвалами. Город уцелел, и это не могло быть заслугой одного человека, даже такого выдающегося, как А.П. Зенков. Как мы теперь научились понимать, все в таких случаях зависит от системы. В Армении с ее традиционным сейсмостойким строительством много прекрасных строителей, а город Ленинакан и Спитак в 1988 г. превратились в развалины. Здесь же, в Верном, трудилась, как и в других городах Средней

Азии и Сибири, целая плеяда прекрасных военных инженеров. Они-то и занимались строительством и восстановлением города.

Мне удалось лично познакомиться с Кафедральным собором осенью 1989 года, когда из него вместо музея сделали концертный зал. Войдя в парк, за деревьями я увидел яркое, играющее всеми цветами радуги, пестрое, многоглавое сооружение в псевдорусском стиле, который был в моде в конце прошлого столетия. Когда я вошел внутрь собора, передо мной открылось огромное внутреннее пространство, которое было равномерно и ярко освещено через широкие окна подкупольных барабанов. Снизу хорошо были видны загадочно узкие простенки между этими окнами. Мелькнула мысль, какой конструкции эти узкие простенки, они же должны быть довольно прочными, чтобы удерживать массу купола во время землетрясения. О конструкции собора я спросил у молодой и симпатичной женщины, явно сотрудницы данного учреждения. В ответ на мой вопрос она вылила на меня буквально то же самое, что более пятидесяти лет тому назад обрушил на Ю. Домбровского старик сторож. Она стандартно повторила много лет существующую легенду, что собор построен А.П. Зенковым без единого гвоздя, что он стоит на бетонной плите и песчаной подушке. Живучи же легенды! Весь рассказ этой женщины я выслушал с большим вниманием и искренней благодарностью, хотя уже знал, что в этом деревянном соборе имеются не то что гвозди, а целые рельсы. Благодарен я ей за то, что, во-первых, она мне не рассказала другую менее известную легенду. Как при землетрясении 1910 года на поверхности земли образовалась солидная трещина, куда мог спуститься человек. Эта трещина шла точно на храм, обогнула его и пошла дальше в том же направлении. Сколько это явление вызвало тогда разговоров о святости места! А причина была одна. Фундамент храма был сделан прочным и представлял собой, действительно, единую монолитную плиту. Во-вторых, эта женщина-экскурсовод направила

меня на путь истины. Если я хочу чего-то добиться, в частности узнать о конструкции собора, надо зайти с заднего крыльца. Я так и сделал. Здесь я напал на след, а потом и познакомился с очень любопытным человеком Проскуриным В.Н. От него я узнал много интересного о соборе, городе Верном и о Зенкове А.П. Коротко сообщая вам о результатах проведенных мною изысканий.

Первое, что меня поразило в историческом плане,— это то, что Зенковых было два—отец и сын. Наш А.П. Зенков был сыном, и родился он в 1863 году. При землетрясении 1887 г. он находился в Петербурге и пытался поступить в Военную академию, куда был принят в 1889 г. Следовательно, совершенно ясно, что никаких указаний по восстановлению города Верного после землетрясения 1887 г. он писать не мог. А вот отец П.М. Зенков, образованный человек, опытный архитектор, который принимал участие в разработке генплана г. Верного, в 1877 г. был выбран первым Верненским городским головой. Он-то наверняка и участвовал в разработке указаний. Его же сын А.П. Зенков прибыл в город только в 1899 г. и начальником строительного отделения стал в 1900 г. Ясно, что к этому времени город был восстановлен, но продолжал расстраиваться с учетом сейсмической опасности, в этом активное участие теперь принимает А.П. Зенков. Под его руководством создается ряд замечательных деревянных сооружений, в том числе и Кафедральный собор. В ранее выполненный проект собора А.П. Зенков как талантливый инженер, учитывающий сейсмоопасность района, мог вносить свои коррективы. Решение возводить вместо рухнувшей в 1887 году кирпичной церкви деревянный собор было принято раньше. Теперь настало время поговорить о конструкции собора. Расскажу о том, что удалось выяснить и о чем можно догадаться.

По поводу высоты Кафедрального собора. В литературе существуют самые фантастические цифры. Называют и 56 м, и 54 м, где-то я видел даже 59 м. Передо мной чертеж разреза собора. Явственно читается, самая выс-



Рис. 103. Многоглавый деревянный собор

шая отметка на верхнем конце креста на главном куполе 39,63 м, то же самое на верхушке колокольни—44,2 м, отметка верха каменной плиты основания—0,55 м. Как видите, даже до 50 м далеко, но 40 м для деревянного сооружения тоже неплохо (рис. 103).

Двускатную стропильную крышу собора украшают пять куполов с луковками и крестами, приподнятыми на восьмигранных приземистых барабанах с широкими прямоугольными оконными проемами. Диаметр центрального большого купола около 13,0 м, четырех маленьких угловых куполов около 6,5 м. По оси собора над главным входом имеется еще колокольня прямоугольной формы в плане. 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 и замкнутые каркасы здания, стропила крыши—все выполнено из тьянь-шаньской ели.

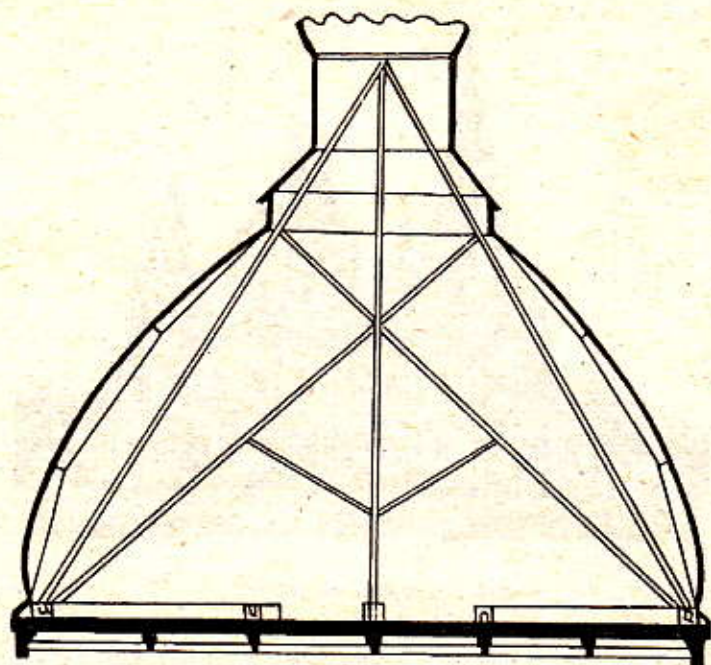


Рис. 104. Безраспорный деревянный купол

Теперь поговорим о конструкции отдельных элементов собора.

Сферические легкие деревянные купола с внутренним каркасом сделаны практически безраспорными (рис. 104), 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 легкий объем опирается на барабан и связан через простенки с крышей. Как устроены узкие простенки купольных барабанов, я не смог выяснить, попробуем раз-

гадать это через известную конструкцию колокольни. Строил-то их один строитель.

Основу колокольни представляет сруб из уложенных горизонтально венцами бревен, буквально как в русских избах. Сруб получился довольно высоким, при землетрясении в высокой колокольне появятся изгибающие моменты, и плохо работающий на растяжение сруб не сможет удержать шатер колокольни. Далее все ясно, нужно вводить дополнительные вертикальные связи. Строитель собора так и сделал, он ввел даже три вида вертикальных связей. Прежде всего к бревнам прибили снаружи облицовку из толстой доски. Далее, так как стены были ослаблены двенадцатью оконными проемами, они были усилены шестнадцатью парами толстых брусьев, проходящими на всю высоту колокольни; в углах и простенках. Это второй вид вертикальных связей. Но здесь был введен и третий, необычный, пожалуй самый главный, вид связей. Сруб был прошит восьмью сквозными вертикальными болтами. Они захватывают весь сруб колокольни, включая высокую пирамидальную крышу, и связывают их с верхними венцами и каркасом всего здания. Вот это те усовершенствования, которых не хватало русской избе, чтобы стать самым сейсмостойким зданием всех времен и народов. При названных вертикальных связях колокольню уже нельзя разорвать на куски или оторвать от всей замкнутой структуры здания даже при очень сильном сейсмическом воздействии, что и показало землетрясение 1910 г. Сомневаться, я думаю, особенно не приходится, что конструкция подкупольных фонарей должна быть точно такой же. Купольные объемы металлическими стержнями пришиты к корпусу самого здания. Во всяком случае, во время того же землетрясения 1910 г. купола сильно колебались, об этом говорят согнутые тогда на куполах кресты, но разрушений не было. Разумно было бы точно так же прошить стены здания и его каркас, но было ли это сделано, мне выяснить не удалось.

Теперь о фундаменте. Здание собора стоит на плите из бута на известковом растворе. Плита облицована гранитом, из гранита сделан цоколь здания. Конструктивно получается точно так же, как у японских пагод: деревянная конструкция стоит на каменной плите, но здесь есть 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 также окружен канавой в качестве мероприятия против землетрясений и что это, действительно, было эффективное устройство, так как его дом колебался меньше других при землетрясении. Точно такое же антисейсмическое мероприятие было применено по отношению к собору. Откуда оно взялось? Думаю, его придумал не Зенков, а его истоки лежат где-то в среднеазиатских традициях. Как аналог из памяти напрашивается пример совсем из другого времени, с другого далекого континента. Древнейший и самый большой город майя Тикаль (VI в. до н.э.—VI в. н.э.) на полуострове Юкатан в Северной Америке, который знаменит своей высокой сейсмической активностью. Для нас здесь любопытен тот факт, что раскопанная центральная часть города состоит из девяти больших групп зданий, расположенных на искусственных возвышенностях, разделенных глубокими впадинами. Для чего устроены эти впадины? Из стратегических соображений—вряд ли, а может, это антисейсмическое мероприятие. При землетрясении самым активным образом колеблется верхний слой грунтовой толщи, а дальше в глубину эти колебания довольно быстро уменьшаются. Когда же на пути распространяющихся поверхностных волн встречаются рвы и канавы, от их стенок волны отражаются и получается, что сооружение, окруженное рвом, находится как бы в зоне затишья. Короче говоря, галерея вокруг фундамента собора—это тоже антисейсмическое мероприятие. Весь названный набор антисейсмических мероприятий и обеспечил Кафедральному собору в г. Вер-

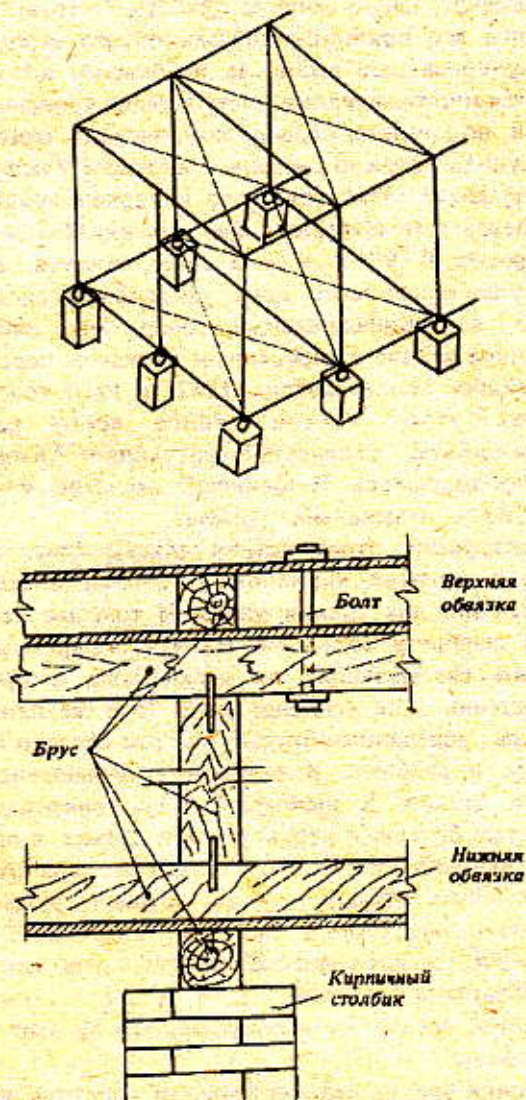


Рис. 105. Сейсмоизолированное кирпичное здание XIX столетия

ном замечательную сейсмостойкость. В этом соборе воплощены все принципы сейсмостойкого строительства, сформулированные выше, за небольшим исключением. Имеются многочисленные выступающие купольные конструкции, но приняты меры по компенсации этого нарушения: купола надежно связаны с каркасом самого здания.

В доказательство тому, что в Верном трудилась целая плеяда замечательных военных инженеров, приведу еще пример. В 1991 г., к сожалению, кажется, закончило свое существование не менее уникальное сейсмостойкое здание, чем Кафедральный собор. Это одноэтажное кирпичное здание с деревянным каркасом пережило оба сильнейших землетрясения 1887 и 1910 годов. Автор проекта этого здания скорее всего начальник Семиреченской инженерной дистанции Антонов М.А. Здесь размещалось Пушкинское женское училище, а потом была музыкальная школа.

Конструкция этого здания такова (рис. 105). На довольно высокие кирпичные столбики в поперечном направлении для здания уложены толстые деревянные брусья сечением 25x18 см. На эти поперечные брусья уложены связывающие их доски пола в продольном направлении. Для усиления их в этом же направлении уложены деревянные брусья. Все это связано гвоздями, болтами и скобами. В результате образована нижняя обвязка здания. К нижнему диску прикреплены вертикальные брусья. В верхней части здания, с опиранием на вертикально поставленные брусья опять из продольных и поперечных брусьев и досок, устроен другой диск. В результате образовался довольно податливый каркас, состоящий из двух дисков, соединенных вертикально поставленными брусьями. Далее уже возведены кирпичные стены, связанные и опирающиеся на этот деревянный каркас.

С точки зрения сейсмостойкости конструкция здания серьезно продумана. Посмотрите на высокие опорные кирпичные столбики на прочном растворе—это же настоящая система сейсмозащиты. Эти столбики могут

поворачиваться в любом направлении, не передавая на здание те движения грунта, которые возникают во время землетрясения. При этом как несинхронно двигаются различные точки поверхности грунта во время землетрясения, так же несинхронно могут поворачиваться столбики. Само же здание, основательно армированное мощным деревянным каркасом, обладает всеми нужными с точки зрения сейсмостойкости свойствами: упругостью, прочностью, однородностью, замкнутыми контурами. Даже Г-образная форма в плане не снизила сейсмостойкости этого здания.

К сожалению, как всегда, очень бегло познакомившись с архитектурными памятниками Средней Азии, отправимся дальше на Восток [35, 44-47].

Япония, Китай, Индия, Юго-Восточная Азия

Предлагаю вам в этой главе охватить сразу такой огромный кусок Земного шара, где такое великое многообразие стран, обычаев, строительных приемов, географических условий, что я не берусь проводить какой-либо исторический или экономический анализ причин возникновения тех или иных конструктивных приемов. Давайте займемся просто перечислением интересных нам сооружений и их анализом с точки зрения сейсмостойкости.

В Японии, территория которой отличается высокой сейсмической активностью, жители уже с доисторических времен были знакомы с таким неожиданным и страшным явлением, как землетрясение. Прекрасно понимая, что дерево—идеальный для того времени материал для сейсмостойких конструкций—легкое, упругое, прочное, японцы до XVI-XVII вв. все строили только из дерева.

Для сохранения удивительных архитектурных памятников в очень древние времена в Японии был введен прекрасный обычай заново через каждые 20 лет перестраивать храмовые комплексы из дерева, при этом строилась копия с соблюдением малейших деталей. Не всегда этот интервал времени соблюдался, но тем не менее точные копии строились, и этот обычай позволяет нам и сейчас изучать полную конструкцию некоторых древнейших архитектурных памятников, находящихся в прекрасном состоянии.

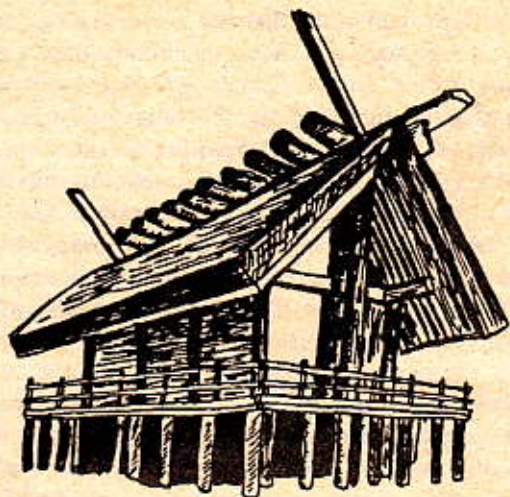


Рис. 106. Конструктивное совершенство святилища Содэн

Рассмотрим один из древнейших памятников деревянного зодчества Японии. Это прямоугольное в плане святилище Содэн (рис. 106), входящее в храмовый комплекс Исэ-найку, посвященный богине Солнца—Аматерасу-оми-ками и построенный в III в. н.э. Вот уже по этому древнейшему сооружению видно принципиальное конструктивное отличие японских деревянных зданий от русской системы срубов. В японских основой всего здания являются врытые одним концом в землю вертикально поставленные столбы, на них уже нанизывается вся остальная конструкция. В русском срубе все повернуто на 90 градусов, бревна лежат горизонтально, и между ними устроены вертикальные и горизонтальные связи. При этом имеющиеся связи отличаются высокой податливостью, бревна по направляющим могут скользить друг относительно друга с повышенным коэффициентом затухания. Единственный недостаток в том, что вертикальные связи не работают на растяжение, поэтому при землетрясении венцы могут соскочить один с другого. Чтобы этого не было, необходимо ввести допол-

нительное вертикальное обжатие или хотя бы закрепление, что и делалось в сейсмически опасных районах.

Так вот, в святилище Содэн вертикально поставленные бревна-колонны связаны продольными и поперечными связями в единый пространственный каркас. Как видите, все сделано по принципам сейсмостойкости. Более того, как ясно из рисунка, имеются две мощные стойки, поставленные по главной оси сооружения, вынесенные наружу и поддерживающие здоровенный продольный коньковый брус. Две стойки и лежащий на них брус образуют чрезвычайно прочную П-образную раму. Эта рама связана с пространственным каркасом всего сооружения, поддерживая его и придавая ему еще большую способность противостоять землетрясениям. При этом, по-видимому, рама и каркас имеют различную жесткость, рама более жесткая. Вот это соединение в единую конструктивную схему элементов с различными жесткостями и присуще сейсмостойкому строительству древней Японии. Далее еще будет приведен пример сейсмостойкой конструкции, состоящей из двух систем различной жесткости. Вспомните, что такого нигде еще мы раньше не встречали. А теперь обратите внимание на еще один типовой элемент сейсмозащиты в святилище Содэн, который использовался не только в Японии, но и во многих странах Юго-Восточной Азии. Святилище довольно основательно поднято над землей на столбах, зарытых в землю с одного конца и связанных с каркасом с другой стороны. Вот эти-то столбы и служат сейсмоизоляторами. В уровне грунта они между собой не связаны, следовательно, могут двигаться независимо в соответствии со сложным хаотическим движением грунта во время землетрясения. Кроме того, сами они обладают некоторой гибкостью и поэтому как бы смягчают удары подземной стихии. В уровне пола здания святилища имеется их общая связка, куда входит и обходная терраса. Здесь амортизированные движения от каждой опоры суммируются и осредняются. Легкая кровля выполнена из тщательно уложенной и причесан-

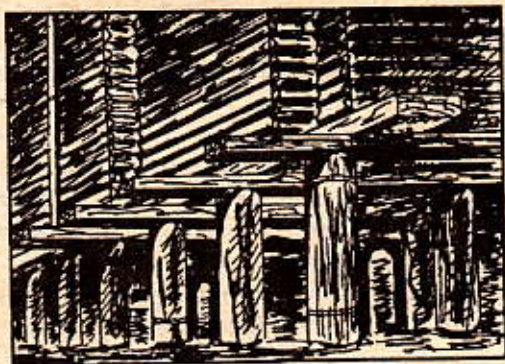


Рис. 107. Сейсмостойкий храм Сёсоин

ной соломы. Как выполнены различные соединения элементов всегда аккуратными японцами, рассматривать мы не будем. Как видите, буквально все принципы сейсмостойкого строительства соблюдены в этом сооружении.

Можно и еще привести пример конструкции деревянного сооружения, поднятого на столбах. По горизонтальной укладке бревен стен оно напоминает русскую избу. Только здесь нет пазов и бревна стен не зацепляются одно за другое, а, согласно своему предназначению, очень точно друг к другу пригнаны. В сухую погоду древесина высыхает и внутренности помещения проветриваются, а в сырую погоду дерево набухает и закрывает доступ внутрь сырого воздуха. Это сокровищница Сёсоин, находящаяся в древней столице Японии Нара и построенная императором Сёму в 752 г. (рис. 107). Прямоугольное в плане здание опирается на 40 деревянных колонн высотой 2,7 м, укрепленных железными обручами. На оголовки колонн уложены балки, образующие перекрестную систему связи, как это видно на рисунке. Стены сокровищницы поддерживают двускатную кровлю и представляют собой сруб из трехгранных в сечении брусьев. Сёсоин разделен на три части внут-

ренными перегородками, устроенными из бревен и связывающими продольные стены между собой. Работа такой конструкции при землетрясении идеально проста. Опорные колонны, заделанные в грунт, двигаются независимо. Связующая их верхушки перекрестная система балок и само здание настолько гибки и податливы, что, не напрягаясь и не разрушаясь, могут двигаться и дышать так, как двигаются и дышат верхушки сравнительно гибких колонн.

Теперь другой, еще более оригинальный пример. В 621 г. буддизм получил официальное признание и стал господствующей религией в Японии, но уже в 577 г. сюда прибыли первые специалисты по строительству буддийских храмов из государства Пякче на Корейском полуострове, и потом в Японии широко использовались не только общая композиция храмовых комплексов, но и целые сооружения и их детали, свойственные зодчеству Китая. С этого времени в Японии получили широкое распространение деревянные пагоды в виде башенных сооружений, достигавших высоты 30 и даже 50 м. Все они строились по отработанному веками одному и тому же принципу (рис. 108), хотя и имели некоторые внешние отличия. Вся конструктивная система состоит из нескольких квадратных в плане ярусов, постепенно уменьшающихся по высоте и образующих ступенчатый каркас. Каждый уступ перекрывается односкатной крышей, получается как бы многэтажное сооружение, но используется только пространство первого яруса, а назначение остальных ярусов—подчеркивать значимость всего сооружения. Каждый ярус устроен таким образом, что стоящие по периметру столбы поддерживают замкнутый пояс, состоящий из нескольких рядов бревен, уложенных венцом, как в русских избах. Эти пояса являются опорой для столбов следующего яруса, и так до самого верха. Вот эти уложенные венцом бревна в уровне каждого перекрытия пагоды являются с современной точки зрения не чем иным, как антисейсмическим поясом, назначение которого—дать горизонтальную

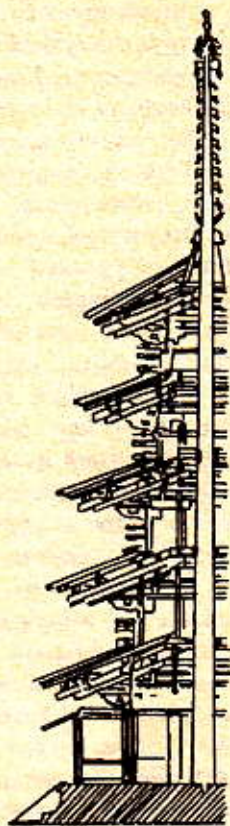


Рис. 108. Японская пагода с гибким сердечником

обвязку элементам перекрытия. Кстати, с этой точки зрения русская изба—это сплошной антисейсмический пояс. Хорошо, конечно, что пагода имеет форму постепенно сужающейся пирамиды, но плохо то, что ее конструкция значительно усложнена разорванностью в уровне каждого яруса вертикальных стоек. Есть еще один крупный недостаток в конструкции пагоды с точки зрения сеймики—значительное утяжеление всего сооружения за счет тяжелой кровли из глиняной черепицы. Но

все эти недостатки компенсируются тем, что пагода представляет собой конструктивную схему, состоящую из двух систем различной жесткости. Конструкция из ярусов с тяжелой кровлей, которая была описана, представляет собой довольно податливую систему. В середину ее вставлена еще более гибкая система, выполненная в виде столба из гигантского ствола дерева или составленная из нескольких частей. Этот столб пронизывает все ярусы башни и выступает над крышей в виде шпиля, на который традиционно укрепляется девять бронзовых колец. Нижней частью столб опирается на каменное основание и укрепляется в нем шипом, буквально как в среднеазиатских колоннах. Внешний каркас и внутренний гибкий столб соединены между собой только в уровне двух ярусов. Вся пагода стоит на каменном основании. Один из секретов исключительной сейсмостойкости и способности противостоять тайфунам этих пагод в том и заключается, что они состоят из двух систем различной жесткости. Землетрясения и тайфуны как воздействия динамические и имеющие каждый свои преобладающие периоды колебаний будут сильнее воздействовать на какую-то одну систему, гибкую или более жесткую, в зависимости от того, к какой у них периоды ближе. В этом случае другая система, как бы противоположная, будет меньше раскачиваться и служить гасителем колебаний для первой, затрудняя ее колебания. Для конструкции с такой двойной системой жесткостей необходимо, по-видимому, стремиться к тому, чтобы собственные периоды колебаний гибкой и менее гибкой частей отличались существенно. С этой точки зрения древние строители поступали, может быть, очень мудро, что утяжеляли кровлю каркасной системы пагоды, значительно увеличив этим ее собственный период колебания, а центральный гибкий ствол закрепляли в трех точках. В этом случае будут возбуждаться высшие формы колебания, которые имеют маленький собственный период. Таким образом, они добились большой разницы в периодах собственных колебаний двух систем,

составляющих пагоду. Результат известен, сейсмостойкость пагод подтвердила их многовековая история, поэтому я был не прав, утверждая выше, что тяжелая кровля пагоды—это нарушение принципов сейсмостойкости. Я размышлял стандартно, а древние строители подходили творчески. Для примера на рис. 108 показана пагода храмового ансамбля Якусидзи, построенного в 680 г. Пагода трехъярусная, а производит впечатление шестиярусной за счет обходных галерей, устроенных между ярусами. Центральный круглый столб свободно стоит на каменном фундаменте и имеет диаметр 0,9 м. Высота башни до шпиля 35 м.

В монастырские архитектурные комплексы входили также зальные здания храмов. Они, разумеется, также возводились из дерева на каменном основании. Были эти храмы, как правило, одно- и двухэтажные такой же сложной структуры, как пагоды, только без центрального гибкого столба, но обвязка в виде венцов бревен в уровне перекрытий точно такая же. Интересным для нас в конструкциях этих храмов является опирание деревянных балок на колонны, которое выполнялось в виде набора подбалок, образующих пространственный шарнир. Вообще все сопряжения горизонтальных и вертикальных, а также наклонных элементов выполнены шарнирно; в результате образуется чрезвычайно податливая система, буквально механизм, опирающийся на прямоугольную сетку колонн первого яруса. Хорошо бы это проверить, но я подозреваю, что вся эта шарнирно соединенная каркасная система, выведенная из положения равновесия землетрясением, возвращается в исходное положение силой собственного веса, то есть мы здесь имеем дело с очень оригинальной системой сейсмозащиты.

Таким является двухэтажный главный храм "кондо" в монастыре Хорюдзи в Нара, строительство которого было закончено в 607 г. В качестве элементов сейсмозащиты продолжает применяться прямоугольная сетка свободно стоящих столбов, на которых поднимается

над землей само сооружение, подобно тому как это было показано на рис. 106. Таким сооружением является уже упомянутая (рис. 107) сокровищница Сёсоин в Нара, сложенная из венцов подобно русской избе и поднятая на столбах довольно высоко над землей; это VIII в. Тогда же было сооружено гигантское деревянное здание Дайбуцудэн, зал Великого Будды, относящееся к архитектурным памятникам Нарского периода. Его размеры в плане 87х50 м и высота 49 м. Около этого сооружения стояли две пагоды высотой по 97 м. Этот зал Великого Будды сохранился до наших дней. Его две крыши были подняты высоко над землей на каркасной системе, нижнюю часть которой образуют не связанные между собой деревянные колонны, работающие как сейсмоизоляторы. Основанием этому сооружению служит сплошная под всей конструкцией каменная платформа. Как работает такая платформа в условиях сеймики, мы уже обсуждали.

То, что было рассказано о монастырских комплексах Японии, относится к монументальному зодчеству, но хочется привести еще пример из обычного жилого строительства. Этот простой пример говорит о продуманности антисейсмических мероприятий даже в самых обыденных случаях.

В Японии в жилом строительстве существовала такая конструкция. На выровненный слой гравия устанавливались крупные камни, которые служили основанием под тонкие деревянные колонны. В верхней части камней были просверлены отверстия, куда и вставлялись деревянные стойки, образуя основу всего здания. Эти стойки несли легкую кровлю, и между ними были устроены легкие стены из дерева и бумаги. Конечно, это была весьма сейсмостойкая конструкция, каждая каменная база двигалась по-своему согласно сложному движению грунта при землетрясении, и в самом худшем случае мог произойти только разрыв гибких связей между стойками. Кроме всего прочего, камни могли и проскальзывать по гравию, ограничивая этим движения, передаваемые от грунта на сооружение.

Теперь несколько сюжетов о сейсмостойкости архитектурных памятников Китая. Можно ничуть не погрешить против истины и заявить, что уже в неолитический период, то есть на границе III и II тысячелетий до н.э., в Китае создавались вполне сейсмостойкие конструкции. Стены этих зданий строились из вбитых в землю столбов, связанных между собой пеньковыми веревками, и все это обмазывалось глиной, смешанной с соломой. Перекрытие было легкое деревянное, состоящее из жердей, тоже связанных веревками, обмазанных глиной и покрытых обожженными плитками. В случае больших пролетов устраивались промежуточные деревянные колонны.

Следующий интересный для нас момент. В период "Борющихся царств" (IV-II вв. до н.э.) храмы, дворцы и жилища знати ставятся на высокие земляные платформы, облицованные кирпичами. Известна одна из платформ, достигавшая высоты 18 м. Каким сильным антисейсмическим мероприятием является мягкая платформа, вы уже знаете. Имеются сведения о многоэтажных деревянных зданиях и девятирусных башнях, относящихся к этому времени. В это же время начинают возводиться монументальные сооружения из камня: дозорные башни, крепостные стены.

В Китае широко применялся и обожженный кирпич. О замечательном мастерстве строителей кирпичных сооружений дают представление многочисленные подземные гробницы знати. В последние века до н.э. они выкладывались из огромных пустотелых кирпичей. В начале новой эры стали применять кирпич меньшего размера, но появился клинчатый кирпич для кладки сводов. Около города Баодина в уезде Ванду находится большая гробница, целиком выполненная из кирпича (II в.). Эта гробница состоит из нескольких помещений, перекрытых цилиндрическими или коробовыми сводами и соединенных между собой узкими коридорами. Кирпич уложен на известковом растворе по всем правилам с перевязкой швов и плавным сопряжением между сводчатым перекрытием и стенами. Своды имеют уже для сни-

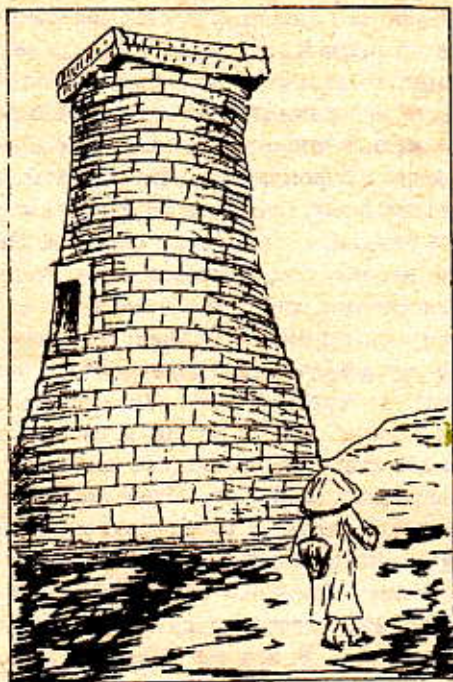


Рис. 109. Бутылкообразная геометрически устойчивая форма Башни Звезд

жения распора повышенное очертание. Все проемы входов перекрыты помимо основных арок еще и двумя дополнительными разгрузочными арками. Гробница имеет сложный план, но ее отдельные залы соединены так, что могут смещаться независимо. Благодаря всем этим мероприятиям и вдобавок подземному расположению гробницы, она смогла простоять почти две тысячи лет.

Теперь заглянем на минутку в Корею, чтобы познакомиться с древней обсерваторией. Башня звезд— Чхонсондэ (647 г.) была сооружена на юге страны (рис. 109). Эта монументальная башня, высота которой 9 м, имеет форму бутылки при диаметре нижней части 5 м, верхней части 2,6 м. Башня поставлена на невысокий ка-

менный постамент. Вся башня сложена из удлиненных каменных квадратов одинаковой высоты, образующих по высоте 27 колец, постепенно уменьшающихся вверх. Наверху устроена смотровая площадка.

Обсудим конструкцию этой башни с точки зрения сейсмостойкости. Прежде всего о ее необычной чрезвычайно устойчивой форме. Вместо двух цилиндров, поставленных друг на друга, что было бы вполне естественным в данном случае, здесь устроен плавный переход от одного цилиндра к другому, в результате чего получилась башня такого оригинального вида. Если бы была применена конструкция из двух цилиндров, то внутри нижнего большого цилиндра пришлось бы устраивать дополнительные несущие конструкции под верхний малый цилиндр. Это усложнило бы всю конструкцию. При выбранной форме башни этого не пришлось делать. Кроме того, выбранная форма обеспечивает отсутствие концентраций напряжений в башне. Ее конструкция идеально проста. Я уже не говорю об осевой симметрии башни.

Теперь об однородной каменной кладке башни. Разумеется, удлиненные прямоугольные камни одинаковой высоты уложены с перевязкой швов, как и положено. Появившийся распор в средней части башни воспринимается силами трения по горизонтальным швам кладки. Вот в этих силах трения и заключена вторая изюминка башни, первая изюминка—в ее форме. Вспомните циклопическую кладку хотя бы Микен (рис. 29). Там кладка велась из камней различной формы и размера, в результате чего нигде не было организовано плоскостей скольжения. Кладка получалась прочной и жесткой. Здесь же, в Башне Звезд, несмотря на огромный вертикальный пригруз, замкнутые кольца каменной кладки могут сдвигаться друг относительно друга и деформироваться в своей плоскости. Эта податливость башни возникает из-за возможности камней проскальзывать друг относительно друга по горизонтальным швам. Получилось, что башня из жесткой каменной кладки об-

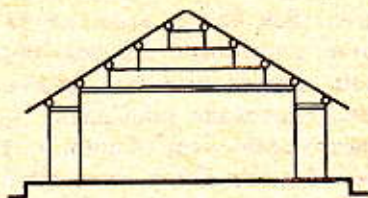


Рис. 110. Китайские безраспорные двускатные крыши

ладает податливостью. Когда смотришь на фотографию башни (рис. 109), то видно, что башня деформирована. В ней видны отклонения от первоначальной идеальной формы. Думаю, что это следы былых землетрясений, перенесенных башней. Эти сдвиги и деформации, может быть, спасли ее от разрушений.

Вернемся обратно в Китай и еще поговорим о деревянном зодчестве. Основой конструкции зданий служил деревянный каркас, выполненный в балочно-стоечной системе. Даже двускатные крыши выполнялись в этой системе (рис. 110). В отличие от европейских крыш, где применялись различные подкосы, вызывавшие распор, здесь распор не возникал. Необычны применявшиеся в Китае капители на деревянных колоннах—доугуны. Это целая самоуравновешивающаяся пространственная система, состоящая из кронштейнов различной длины и представляющая собой шарнир, через который не передаются движения колонн на перекрытие.

Рассказывая о Китае, невозможно обойти вниманием его многочисленные и разнообразные пагоды, каменные, кирпичные, металлические, деревянные, как правило имеющие хорошее каменное основание и самым причудливым образом решенную верхнюю часть. Есть здесь пагоды с массивным центральным стволом и легкой окружающей его пристройкой. Я хочу обратить ваше внимание на совершенно уникальную, нигде еще не встреченную нами конструкцию деревянной пагоды.

Единственная сохранившаяся до нашего времени деревянная пагода Сакья Муни монастыря Фогунсы по-

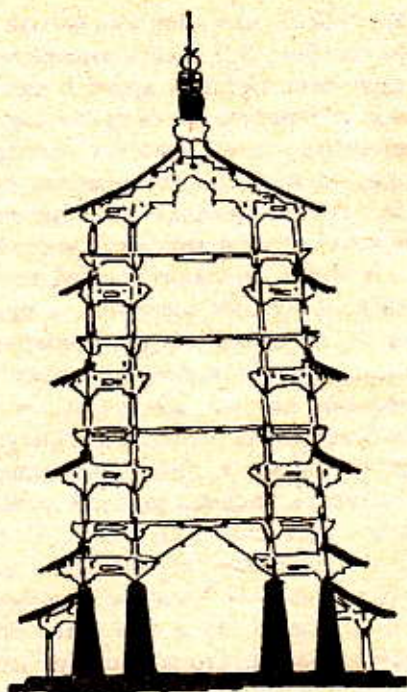


Рис. 111. Пагода Сакья Муни—виброгаситель

строена в 1056 г. в провинции Шаньси (рис. 111). Восьмигранная в плане пагода достигает высоты 66,6 м. На доске у ее основания написано: "Дьявольское мастерство, божественное искусство". Нас с вами интересует только мастерство, остается разобраться, почему оно дьявольское. На всю высоту первого этажа из кирпича выложены два восьмигранника, образующие стены внутренних помещений, на которые уже опираются деревянные конструкции верхних этажей пагоды. Все узлы каркаса пагоды выполняются податливыми. Для соединения деревянных столбов и балок, на которых держится все сооружение, применено более 60 видов конструкций доугунов—пространственных шарниров, о которых уже говорилось. Вся конструкция пагоды получается, по-ви-

димому, более гибкой, чем японская пагода с деревянным центральным столбом. Все девять этажей могут свободно смещаться друг относительно друга в любом направлении. Но самое интересное здесь заключается в том, что на самой верхушке крыши имеется небольшая кирпичная площадка, на которую установлена скромных размеров, но достаточно тяжелая металлическая ступа. С современной точки зрения это самый настоящий гаситель колебаний. От этого дополнительного веса период колебаний всей конструкции возрастет, и при землетрясении картина ее колебаний будет примерно такой. Задвигается вместе с грунтом каменная платформа основания со стоящими на ней жесткими стенами первого этажа, у них будет самая большая амплитуда колебаний, а вот вверх от этажа к этажу эти колебания будут постепенно затухать, и самая верхняя масса в силу своей инертности будет стоять на месте. Через каких-нибудь тысячу лет подобные виброгасители мы будем применять в телевизионных башнях. Разумеется, только дьявол мог предложить такое замечательное устройство для гашения колебаний, кто же еще до этого додумается. Это же просто нелогично. Чтобы сделать сооружение более надежным, необходимо по шатким конструкциям из дерева затащить на высоту 66 м кучу кирпичей и здоровенную металлическую болванку, утяжелить этим все сооружение вопреки принципам сейсмостойкости, а в результате все-таки получить сооружение повышенной сейсмостойкости, которое простояло уже более 900 лет.

Из разнообразных чудес Китая хотелось бы еще назвать строившиеся там железные и бронзовые пагоды. Материал, из которого возводятся сооружения, играет большую роль в обеспечении сейсмостойкости конструкций, это, я думаю, понятно. Бронза и железо для того времени были, наверное, лучшими материалами с точки зрения сейсмостойкости. Пример. В 1061 г. в провинции Хубей была возведена железная тринадцатиярусная пагода, сложенная из чугунных литых плит высотой 21 м. В этой пагоде обращает на себя внимание чрез-

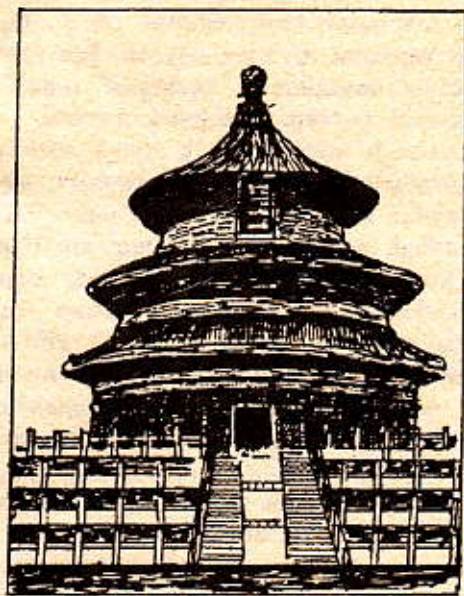


Рис. 112. Центрическое деревянное здание храма Неба

вычайная стройность. Отношение высоты к диаметру в основании равно десяти, а пагода продолжает стоять, ей не страшны ни ветер, ни сейсмика. Это говорит только о том, что между чугунными плитами хорошо организованы связи. Как они устроены? Мне и самому хотелось бы это знать.

Нельзя не упомянуть выдающийся по своей архитектуре храм Неба, построенный в Пекине в начале XV столетия (рис. 112). Этот деревянный храм отличается идеальной осевой симметрией. Даже достаточно высокая и широкая платформа, на которой стоит этот круглый храм, имеет форму усеченного конуса. По конструкции храм Неба представляет собой традиционную каркасную систему, основу которой образуют два ряда колонн, закрепленных в платформе основания. Эти колонны, поставленные по кругу, усилены дополнительно четырьмя

еще более толстыми внутренними столбами, поддерживающими верхний из трех ярусов. Все эти колонны разной высоты объединены системой горизонтальных связей в единый пространственный каркас.

Найти какой-то недостаток с точки зрения сейсмостойкости, чтобы продемонстрировать свою эрудицию, в этом сооружении я, к сожалению, не могу. Здесь воплощены буквально все принципы сейсмостойкого строительства. Храм стоит на платформе, отражающей частично сейсмические волны. Гибкие деревянные колонны, на которых подняты ярусы крыши храма, служат сейсмоизоляторами. Все сооружение имеет идеальную осесимметричную пирамидальную форму. Материал конструкции—дерево. К этому можно добавить, что центральная и периферийная части храма имеют различную жесткость. Обе эти части действуют друг на друга как гасители колебаний.

О китайских пагодах, башнях и храмах можно рассказывать долго и в каждой из них можно обнаружить рациональное зерно, но в нашу задачу это не входит. Об этом надо писать отдельную книгу. Наша задача—выхватывать из истории интересные для нас сооружения, попытаться понять их суть с точки зрения сейсмостойкости и двигаться дальше, стараясь удовлетворить наше любопытство как можно шире.

Еще один небольшой этюд о двух типах китайских мостов. Большое распространение в горных районах получили канатные мосты. Основу этих мостов, естественно, составляли канаты. Горизонтально уложенные бруски по нижним канатам создавали опору для настила из досок, по которому проходило движение. Боковые канаты и вертикальные стойки образовывали перила. На берегах устраивались мощные каменные опоры, к которым крепились канаты. Часто эти опоры снабжались специальными устройствами, позволявшими регулировать натяжение канатов. Длина висячих мостов достигала 150 м, ширина 2,5 м. Висячие мосты изготавливались не

только из канатов, но и из железных цепей. Эти мосты были более долговечными. В 1701 г. в провинции Сычуань через реку Дадухэ построен мост Лудинтесоцяо. Его длина около 100 м, ширина около 3,0 м. На девяти цепях диаметром около 9 см каждая уложен деревянный настил. Два дополнительных каната удерживают мост сверху. Перила также выполнены из железных цепей. Конструкция подвесного моста является идеально гибкой, и любые несинхронные подвижки береговых опор не могут его разрушить.

В равнинной местности Китая применялся другой тип мостов—это арочные многопролетные. Использовались арки разнообразных форм, от полукруглых до эллиптических и стрельчатых. Особое внимание обращалось на прочность моста. Для обеспечения прочного соединения между каменными блоками они укладывались на известковом растворе, в который для улучшения сцепления добавлялись бычья кровь и клейкий рис. Особенностью этих мостов является то, что возводились они часто в измененной местности, следовательно на плохих грунтах, а тут еще возможна сейсмика. Все это прекрасно осознавали древние зодчие и как могли боролись за сохранность своих сооружений. В данном случае кроме прочной кладки устраивалось свайное основание, более того, для повышения надежности конструкции пролеты мостов как бы составлялись из набора арок, каждая из которых могла работать независимо, и если часть арок разрушалась, то оставшиеся могли нести нагрузку от моста. Одиннадцатипролетный мост Лугоуцяо через реку Юндинхэ расположен в 15 км от Пекина. Его длина 235 м, ширина 8 м, и он украшен 437 скульптурными изображениями. Он весь возведен из плит известняка. Этот мост уже существовал в VI-VII вв., в XIII в. через него проехал Марко Поло. Это один из самых известных и долговечных мостов Китая.

В поисках интересных для нас конструктивных решений теперь давайте отправимся в Бирму. Не вдаваясь в довольно запутанную историю этой страны, сразу

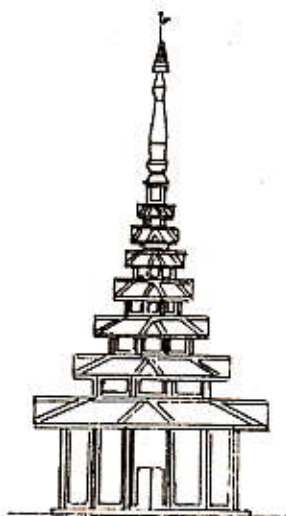


Рис. 113. Пятта—гибкая деревянная конструкция

перейдем к знакомству с ее конкретными архитектурными памятниками.

Прежде всего познакомимся с бирманской традиционной пяттой. Это башнеобразное деревянное сооружение, напоминающее японские и китайские пагоды. Но пятта имела более универсальное применение, она украшала монастыри, тронные залы дворцов, крепостные башни. На рис. 113 показана без декора большая пятта королевского дворца в Мандалае. Несмотря на кажущуюся сложность, бирманская пятта отличается логичностью и простотой конструкции. Она всегда квадратная в плане и имеет остроконечный пирамидальный силуэт. Несущие конструкции первого довольно высокого этажа представляют собой столбы из бревен. Эти столбы связаны поверху жесткой рамой. На эту раму поставлена мощная крестовина, служащая опорой бревну, пронизывающему верхнюю часть пятты. В уровне каждого яруса пятты имеется своя рама, выполненная из деревянных брусков. Все рамы ярусов и вертикальный

столб связаны между собой системой раскосов, образуя единую прочную, геометрически неизменяемую и легкую пространственную конструкцию. Здесь мы опять имеем дело с хорошо продуманной, отработанной веками, сейсмостойкой деревянной конструкцией. Пирамидообразное легкое тело поднято на прочных и гибких деревянных колоннах над землей. Эти колонны служат сейсмоизоляторами для верхней части. При этом они могут сейсмоизолировать конструкцию от сейсмической волны, подошедшей к сооружению с любой стороны. Не последнюю роль играет здесь и зажатый в конструкцию и высоко выступающий над ней толстый деревянный столб. Это уже чистый виброгаситель. Собственные периоды этого столба и самой конструкции пятты скорее всего не совпадают. Этим накладывается ограничение на раскачивание конструкции не только от землетрясений, но и от ветровых порывов. Добавлю, что основанием пятты служит невысокая платформа из кирпича.

В высокоразвитой для своего времени строительной технике Бирмы кирпич применялся еще чаще, чем дерево. При этом применялся обожженный кирпич довольно крупных размеров (38x18x6 см). Для кирпичной кладки использовали глиняный или известковый растворы. Здесь, как и в Средней Азии, применялись различные добавки в растворы: сок лакового дерева, порошок из сушеной и толченой кожи буйвола и что-то еще. Для чего вводились эти добавки, неизвестно, может быть, и для того, чтобы придать известковому раствору свойства пластичности и лучшего сцепления. Уже умели возводить своды пролетом 8-9 м. Применялись системы дублирующих и разгрузочных арок, проводилось армирование кладки деревом. Храмы, возведенные с помощью этой техники кирпичной кладки, хорошо перенесли сильное землетрясение 1975 года. Приведу два примера сооружений, выполненных из кирпича.

Среди культовых построек Бирмы ведущее место занимают ступы. Есть даже поговорка, что из любой точки страны можно увидеть хоть одну ступу. По-

видимому, ступа ведет свое происхождение от могильного кургана, поэтому это центрическое сооружение не имеет внутреннего пространства и служит объектом поклонения. При всем многообразии форм ступ все они имеют три обязательных элемента: платформу основания, колоколообразное тело ступы и венчающий шпиль. Недалеко от Рангуна расположен знаменитый не только в Бирме, но и во всей Юго-Восточной Азии храмовый комплекс Шведагон. По преданию, он основан 2500 лет тому назад. Построенная тогда золотая ступа, хранившая восемь волос будды Гаутамы, имела высоту 20 м. Достоверные сведения об этой ступе относятся к XIV веку. Во всяком случае, после многочисленных достроек ступа Шведагона к 1774 году имела современный вид и высоту 99,5 м над уровнем платформы (рис. 114). Прямоугольная платформа Шведагона имеет размеры 214x275 м и высоту 20 м. На эту платформу ступа поставлена не центрально, а немного сдвинута к одному из ее краев. Если взглянуть на ступу Шведагона с позиций сейсмостойкого строительства, то почти все здесь в порядке. Осесимметричное устойчивой конической формы тело поставлено на массивную больше-размерную жесткую платформу. Нельзя здесь, правда, сказать, что и платформа, и колоколообразная часть ступы обладают свойствами монолитности и однородности. Все эти элементы достигли своих современных размеров в результате многочисленных достроек. Как правило, в таких случаях вокруг существующей ступы строили новую—большого размера, но точно такой же формы. Получалась осесимметричная слоистая конструкция.

Ступу на платформе образно можно представить как огромный корабль в бушующем море сейсмических волн. Этот корабль медленно покачивается на хаотически ударяющих в него мелких волнах. Стоящий на обходной дорожке вокруг ступы человек во время землетрясения по идее не должен чувствовать ударов подземной стихии. Но есть упоминания, что эта ступа много раз стра-

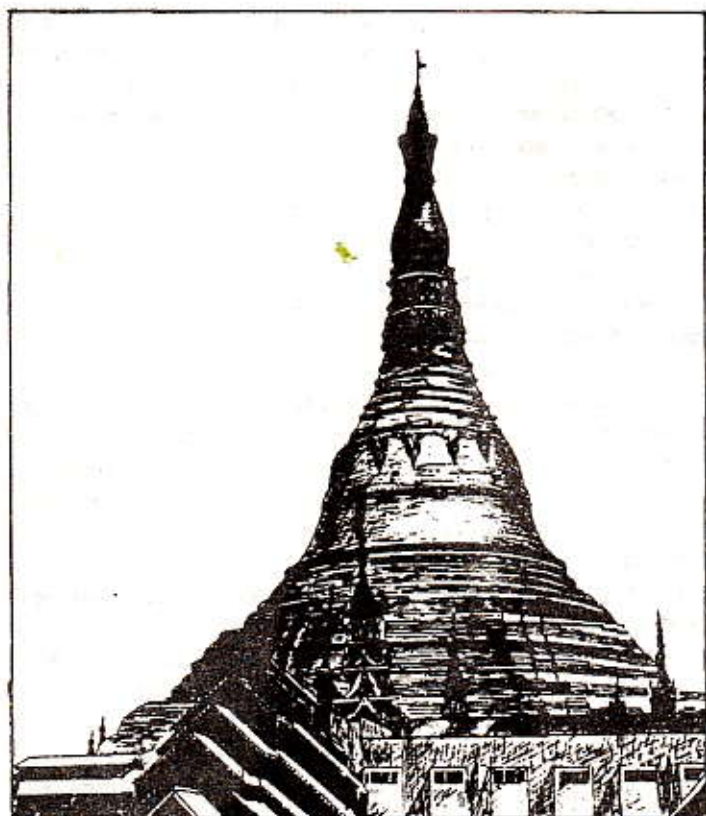


Рис. 114. Ступа Шведагон—еще одна устойчивая геометрическая форма

дала от землетрясений. В чем тут дело? Может, играет роль неоднородность структуры ступы, а может быть, сейсмические волны в этом районе имеют ту же длину, что и сама ступа.

В Бирме до настоящего времени сохранилось большое количество храмов, выполненных из кирпича. Основной их недостаток—массивное высокое перекрытие. Но этот недостаток компенсировался пирамидообразной формой

храма и широким основанием. До XII века все храмы практически были центрическими. Позднее их стали делать более вычурными и замысловатыми, и они потеряли свою центричность. Из всех многочисленных сооружений Пагана мое внимание привлекла уникальная постройка, называемая Питакатай (хранилище для священных буддийских текстов), план и разрез которой показаны на рис. 115. В этом сооружении поражает чистота замысла, ничего лишнего. Здесь, по-моему, с точки зрения сейсмостойкости собрано все лучшее, что было в храмах Пагана. Это сооружение возведено в 1058 году и капитально отремонтировано в 1788 году. В центре расположено само книгохранилище, а вокруг сделан обходной коридор. В результате квадратное в плане сооружение имеет две плоскости симметрии. Оно стоит на небольшой платформе. И вообще все сооружение имеет вид пяты, только выполненной не из дерева, а из кирпича.

Во Вьетнаме мне хочется обратить ваше внимание всего на одно-единственное сооружение—на небольшой комбинированный из дерева и камня храм Мот Кот, возведенный в 1049 году (рис. 116). Этот храм построен так, что основанием ему служит одна толстая круглая каменная колонна. Из этой колонны выступает восемь наклонных деревянных консолей, на которые опираются деревянные колонны, поддерживающие храм и входящие в каркас всего здания. С точки зрения строителя, получилось здание с точечным опиранием, при этом идея точечного опирания доведена до идеала или до абсурда, как вам больше нравится. Проанализируем, что дает с точки зрения сеймики опирание здания на одну колонну, погруженную глубоко в грунт. Во-первых, поверхностная сейсмическая волна такому зданию не страшна, так как оно опирается на такие глубокие отметки, где попросту поверхностных волн нет. Значит, как у протяженного здания, проблемы учета неоднородного движения сейсмического поля под сооружением здесь нет. Во-вторых, на это здание ввиду точечности его опирания

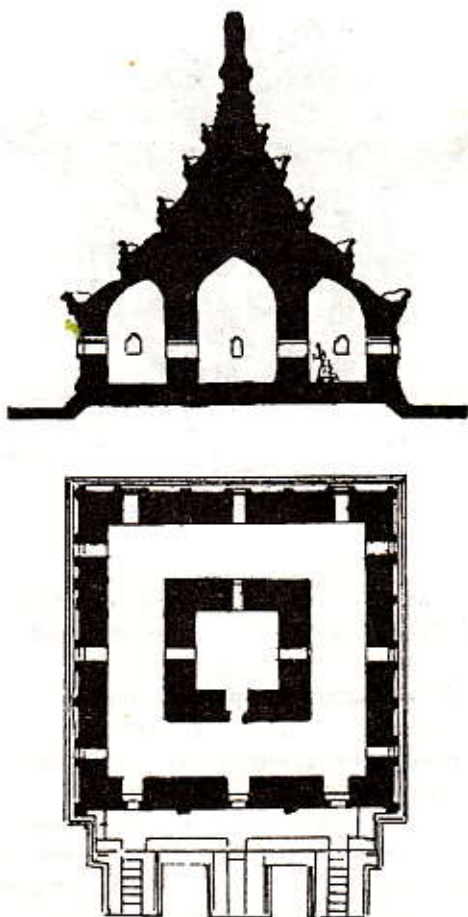


Рис. 115. Еще пример симметричного храма с прекрасными геометрическими пропорциями.

не будет передаваться кручение, вызванное неоднородностью сейсмического поля. В-третьих, по высоте фундамента-колонны будут осредняться движения грунтового основания во время землетрясения. С глубиной эти движения быстро убывают. В результате движения фундамента-колонны в вертикальной плоскости будут



Рис. 116. Храм Мот Ког на единственной колонне-фундаменте

незначительными. Короче говоря, фундамент здания, выполненный в виде заглубленной на 30-40 м отдельной колонны,—сильное антисейсмическое мероприятие. Правда, сложновато, например, шестнадцатизэтажную башню посадить на такую колонну. У современного свайного основания сохранились некоторые достоинства фундамента-колонны.

Теперь отправимся в Индию, которую мы как-то обошли вниманием, хотя здесь есть что посмотреть. Чудес здесь не меньше, чем в Китае. Есть тут храмы с плоскими и высоко вздернутыми ложными тяжелыми куполами, есть подземные храмы, здесь же мавзолей Тадж-Махал, здесь же купольные мечети—и все это в условиях высокой сейсмичности. Все это многообразие я хочу использовать для того, чтобы обратить ваше внимание только на два интересных с точки зрения сейсмостойкости момента.

Вы прекрасно понимаете, что однородность и монолитность материала—это важное требование, предъявляемое к сейсмостойким конструкциям, особенно к кирпич-

ным и каменным сооружениям. Индийские зодчие также занимались этой проблемой и решали ее очень оригинальным способом. Взяли и вырубили храм Кайласа в Эллоре целиком из скалы. Его размеры 50x33,2x32,61 м. В мире больше нет такого другого грандиозного архитектурного памятника, целиком вырубленного из скалы подобно статуе. Обсуждать такие важные свойства сейсмостойких конструкций, как однородность кладки, перевязка швов и величина сцепления раствора, в таком сооружении не приходится, все это решилось само собой. Существовали здесь и другие такие же сооружения, целиком вырубленные из монолита, хотя и не таких гигантских размеров, но также пропорционально сложенные.

Теперь другой интересный для нас момент—подземные сооружения, вырубленные непосредственно в горных массивах. О таком типе сооружений мы еще не говорили, хотя они встречаются повсеместно. Для Египта времен Среднего царства характерен тип скальной гробницы. Известно, что Петра—столица Набатеи, одного из арабских царств,—существовавшая уже в IV в. до н.э., была городом, почти целиком высеченным в скалах красного песчаника. Но особенно было распространено строительство внутрискальных сооружений в Индии. В Аджанте уже во II в. до н.э. существовал целый комплекс буддийских монастырей, высеченных в скалах. Более совершенное с архитектурной точки зрения скальное строительство буддийских сооружений в Эллоре началось в VI веке и завершилось в X веке. Здесь вырубались в скалах двух- и трехэтажные сооружения. Самым большим и интересным является трехэтажный буддийский храм Тин-Тхал. Первый этаж представляет собой многоколонный зал—главное святилище. На втором этаже тоже многоколонный зал и еще боковые галереи, на стенах которых высечены сцены из жизни Будды. Зал третьего этажа имеет крестообразную форму и окружен монашескими кельями. Опорные столбы вырубались массивными с развитыми базами и капителями. Ес-

тественно, что в таких скальных сооружениях автоматически выполнялись многие принципы сейсмостойкого строительства: монолитность и однородность материала конструкции, заглубленные фундаменты, замкнутость контура несущих конструкций. К тому же, как уже говорилось, подземное расположение снижает сам эффект сейсмического воздействия. Короче говоря, при сейсмических воздействиях эти вырубленные в горных массивах сооружения ведут себя хорошо. Мне известно только два случая катастроф, случившихся при землетрясениях с такими подземными сооружениями, но на это были свои причины. Расскажу вам о них.

Катастрофа, которая по своим последствиям может соперничать с гибелью Атлантиды, произошла в Китае, в провинции Шаньси, в 1556 г. Погибло тогда 830 000 человек. Здесь традиционно большинство населения жило не в домах, а в многоярусных пещерах, вырытых в плотной, но податливой толщине лесса, имевшего низкую прочность. Этот лесс в сухом состоянии имеет свойство рассыпаться при ударах и вибрациях и превращаться в мелкую пыль, струящуюся почти как жидкость. Это свойство лесса и сыграло свою роковую роль. Во время случившегося здесь землетрясения под действием чудовищных ударов и вибраций огромные массы лесса на склонах гор, пробуравленных жилищами людей, превратились в пыль и погребли под собой почти миллион жизней.

Аналогичный случай произошел на территории нашей страны двумя столетиями раньше, чем в Китае. Несколько лет назад в Грузии отмечалось 800-летие пещерного монастыря Вардзия, сооруженного как оборонительный комплекс при царице Тамаре. Монастырь был устроен внутри склона горы и имел не менее семи ярусов жилых келий, достаточно просторных, чтобы в случае опасности в них могли прятаться окрестные жители. Кроме того, был храм с фресками, водопровод, канализация, несколько внутренних спусков, и все это сильно ослабило склон горы. Когда произошло зем-

летрясение, непрочные горные породы, которые похожи на ракушечник и легко рубятся обычной металлической стамеской, ослабленные системой отверстий, разрушились. Произошел срез вдоль склона, и в результате образовавшегося оползня открылась внутренняя система архитектуры древнего монастыря. Вся эта многоэтажная система пещер видна до сих пор [7, 48].

Вот так бегло познакомившись с огромным географическим районом, в котором существовало несколько очагов древних цивилизаций, и выбрав только то, что привлекло наше внимание, отправимся дальше, туда—в доколумбовую Америку.

Сейсмостойкость сооружений доколумбовой Америки

Добрались, наконец, мы и до Америки. Здесь мы, как всегда, бегло познакомимся со строительными приемами древних народов, населявших Америку до ее завоевания испанцами в 1519 году. Хочется сразу отметить, что в Новом Свете мы, с одной стороны, встретим другие оригинальные конструкции, совершенно непохожие на те, что мы видели в Старом Свете. Разделяющее два мира пространство океанов сыграло свою роль. С другой стороны, в человеческой логике есть много общего, к тому же уже в древнейшие времена, наверное, существовала все-таки связь между этими двумя мирами, поэтому здесь встречаются строительные приемы, очень похожие на те, с которыми мы уже были знакомы. Итак, в путь!

Ко времени прихода испанцев в Америку здесь существовали многочисленные рабовладельческие города-государства. В Центральной Америке распространяется тольтекская культура, в Андах—инкская. Любопытный, с точки зрения строителя, момент заключается в том, что даже самые грандиозные сооружения древних индейцев создавались без применения металла, за исключением, может быть, горных районов Анд. Камень обрабатывался каменными орудиями. Были известны известковый раствор и обожженный кирпич. Кличатая арка не была изобретена, употреблялся ложный свод.

Недалеко от современного Мехико, в долине, которую часто сотрясают сильнейшие сейсмические толчки,

расположена одна из древнейших пирамид Куикуилько, возведенная до 500 г. до н.э. Это круглое в плане четырехступенчатое, довольно расплавленное сооружение, имеющее такие размеры: диаметр в основании 135 м, высота всего около 20 м. Пирамида сложена из крупных валунов, втопленных в глину. Вот вам еще пример сейсмостойкой конструкции.

Довольно плоский рыхлый массив тела пирамиды будет дышать вместе с поверхностью земли во время землетрясения, не разрушаясь. Эта многоступенчатая круглая пирамида из камня и глины обладает, по-видимому, такой же сейсмостойкостью, что и прямоугольные ступенчатые зиккураты Вавилона из необожженного кирпича. Кстати, они и относятся к одному времени. Как в Вавилоне зиккураты служили платформой — основанием под Храмы, так и в Куикуилько алтарь был поставлен на пирамиду, защищавшую его от наводнений и других стихийных бедствий. Кстати, Куикуилько был покинут жителями в результате извержения вулкана, покрывшего лавой город и подножие пирамиды. До алтаря лава не добралась.

К наиболее значительным поселениям высокогорной долины Мехико первого тысячелетия новой эры относится Теотихуакан. Этот город имел культовый центр, наиболее значительным сооружением которого была пирамида Солнца. Эта прямоугольная четырехступенчатая пирамида (I в. н.э.) имела размер в плане 210x200 м и высоту 65 м. Конструкция этого колоссального сооружения была такой же простой, как и вышеописанной пирамиды в Куикуилько. Оно состояло из валунов, втопленных в глиняный раствор. С точки зрения сейсмостойкости для нас более интересна пирамида Луны (III в. н.э.) из того же культового комплекса Теотихуакан. Конструкция этой пирамиды более совершенна. Принцип создания сейсмостойких трехслойных стен, состоящих из двух связанных между собой каменных облицовок и более мягкого сердечника, о которых мы уже говорили, положен в основу конструкции этой пирамиды. Только

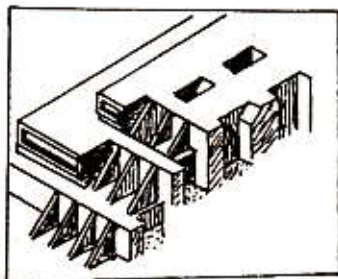


Рис. 117. Каменный каркас пирамиды Луны

здесь еще добавлены пирамидообразная устойчивая форма и симметричная пространственная система каменных стен, образующих замкнутые контуры. На рис. 117 показана конструкция пирамиды Луны. Ее скелет состоит из прямоугольной решетки туфовой кладки, пустоты в которой заполнены бутом на глиняном растворе. Такую конструкцию пирамид мы еще не встречали. Разве что в Вавилоне некоторые ответственные сооружения типа садов Семирамиды строили из сырцового кирпича и армировали каменными столбами. Здесь конструкция более совершенна. Кстати, размеры пирамиды Луны в основании 120x150 м, высота 42 м.

Это был «классический период». В следующий период развития (X-XIII вв.) ведущее место занимает столица тольтеков Толлан. Здесь культовый центр был расположен на специально подготовленной естественной платформе. Вершина холма была выровнена, а его склоны укреплены подпорными стенками. Было проведено, можно сказать, общее антисейсмическое мероприятие. Но прогресса в технике возведения пирамид пока не наблюдается, скорее наоборот. Каменный решетчатый каркас в пирамидах перестал применяться. Большая пирамида в Толлане, имевшая сторону основания 65 м, состояла из камня и земли. Эта пирамида была облицована тонкими резными плитами, закрепленными специальными выпусками из тела пирамиды. Но самое замечательное для нас здесь—



Рис. 118. Колонны-воины, составленные из отдельных блоков

это святилище, расположенное наверху пирамиды. Плоское перекрытие святилища поддерживали два ряда каменных опор высотой 4,6 м. Первый ряд—атланты (рис. 118), мощные фигуры воинов. Второй ряд—простые квадратные столбы, состоящие из прямоугольных каменных блоков. Кстати, воины также состояли из отдельных блоков. Все эти блоки соединялись между собой деревянными шипами. Ну буквально как в Древней Греции. И опять тот же эффект. Жестких стен святилища нет, а податливые колонны-воины стоят.

Народы майя занимали полуостров Юкатан. Как и на Мексиканском плоскогорье, города майя состояли из монументально построенных религиозно-административных центров и окружающих их хижин земледельцев. Здесь уже применяется известковый раствор, поэтому ядра стен, пирамид и платформ возводятся из щебня и земли, залитых известковым раствором. Это позволяло строить более высокие пирамиды, скорее похожие на башни. Один из пирамидообразных храмов в главном городе майя Тикаль достигал 70 м при размерах основания 58x53 м.

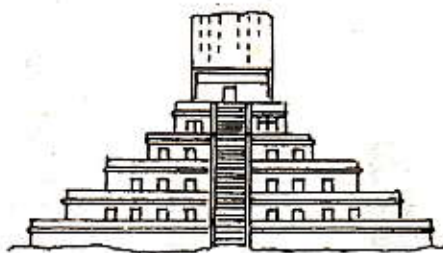


Рис. 119. Храмовая пирамида в Эгна, VII-VIII вв.

С точки зрения сейсмостойкости необходимо обратить внимание в сооружениях майя на следующее. Все монументальные сооружения ставились на искусственные или естественные платформы. Вся дворцовая группа сооружений в Паленке была расположена на платформе высотой 10 м и окружена еще стеной. За счет известкового раствора конструкция пирамид и платформ была жесткой. Сама форма пирамид была устойчивой с пониженным расположением центра тяжести. Для примера на рис. 119 показана главная пирамида в Эгна VII-VIII вв., внешне очень похожая на многоэтажное здание. Почти все пирамиды венчали массивные на вид непропорционально высокие гребни. Но явно были приняты меры, чтобы снизить их вес.

Теперь немного о более развитой цивилизации, которая возникла в Южной Америке в Андах. Рассмотрим несколько примеров из архитектуры инков.

В III в. на берегу озера Титикака основывается город Тиахуанаку на высоте 3825 м над уровнем моря. Этот город состоял из трех групп зданий, каждая из которых была возведена на гигантской земляной платформе, облицованной хорошо обработанным камнем. Одна из этих платформ имеет размер 210x210x15 м. В развалинах третьей группы зданий, названной Пума-Пунку-двойная пирамида, сохранились гигантские блоки каких-то сооружений (рис. 120). Эти блоки достигают веса 200 т. Но самое удивительное здесь—это то, что блоки, об-

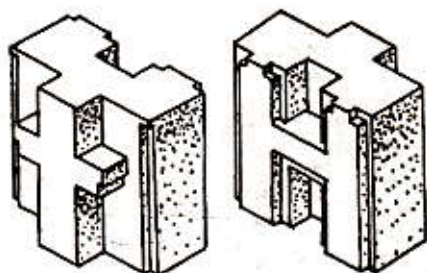


Рис. 120. Гигантские, сложной формы строительные блоки инков

работанные с помощью только бронзовых орудий, отличаются сложной конфигурацией и точной геометрией. При монтаже они точно входят один в другой и имеют соответствующие углубления, которые позволяют соединять их друг с другом каменными шипами и Т-образными бронзовыми скобами. Правда, все эти связи не заливаются свинцом, как у греков, но зато блоки намного больше и входят один в другой и зацепляются один за другой. Огромная тяжесть конструкций из этих блоков напоминает египтян.

С XII в. в Южной Америке начинает складываться государство инков, архитектура которых заслуживает особого внимания. В столице инков Куско строятся дворцы, храмы, склады. До сих пор сохранились стены этих сооружений. На рис. 121 показан фрагмент крепостной стены, построенной в середине XV в. на северо-западе от Куско. Этот фрагмент является частью оборонительных стен крепости Саксауашан (Соколиное гнездо). Оборонительная система этой крепости очень напоминает греческие Микены. Крепость располагалась на горе с крутыми склонами. С двух сторон ее защищали глубокие пропасти, а с третьей, где существовала доступная для прохода седловина, было устроено три ряда стен. Как видно из приведенного рисунка, стены эти, как и в Микенах, были сложены насухо из огром-



Рис. 121. Циклопическая кладка стены крепости инков

ных блоков серого гранита, пригнанных настолько точно, что, по выражению одного исследователя, между ними нельзя просунуть даже волоса. Стены имеют около 3 м толщины и до 6,5 м высоты. Отдельные блоки достигают 3 м в ширину и 6 м в длину. Как работает во время землетрясения стена, построенная из точно пригнанных и уложенных без раствора циклопических камней, мы уже обсуждали. Хочу здесь только обратить ваше внимание, что стены у инков были поставлены по склону, и поэтому для общей устойчивости они в плане были резко зигзагообразными. К тому же на 3,0 км стены было устроено 40 выступов-контрфорсов, также поддерживающих эти стены.

Хотелось еще обратить ваше внимание на горное поселение-крепость Мачу-Пикчу XIII века, при строитель-



Рис. 122. Полигональная кладка стены Мачу Пикчу

стве которого также применялась циклопическая кладка. Таких крепостей по империи инков было построено много, и они до сих пор поражают своей грандиозностью и продуманностью стратегического положения. Стены храмов, дворцов и крепостей в Мачу-Пикчу, сложенные из полигональных камней, точно пригнанных и уложенных насухо, успешно противостояли действиям времени и силам природы. Человек, правда, до них добрался и активно разрушает. На рис. 122 показана такая стена. Вы видите, как виртуозно и продуманно камни пригнаны друг к другу так, что нигде нет плоскостей скольжения и ни один камень нельзя вырвать из массива стены. Более того, у меня есть сведения из нескольких источников, что между отдельными камнями стен устраивались контакты с помощью обеспечивающих податливость полусферических шпонок (рис. 123). Есть ли в этом какой-то глубокий смысл кроме улучшения сцепления между блоками, мне выяснить пока не удалось.

В Южной Америке существует легенда, что инкские крепости строили гиганты, жившие здесь до прихода современного человека. Если помните, такая же легенда есть в Греции. Действительно, так же как трудно представить бесконечность, так же невозможно понять, как инкам удавалось перетаскивать огромные каменные



Рис. 123. Соединение камней с помощью полусферических выступов

глыбы от каменоломен до строительных площадок без применения колесных средств передвижения, как обрабатывались, поднимались и плотно пригонялись друг к другу гранитные блоки чудовищного веса. Тут поневоле поверишь в любую легенду, в любую гипотезу о пришельцах из космоса.

Последний любопытный факт из истории архитектуры инков и вообще всей древней истории сейсмостойкого строительства, которую я попытался написать. Это упоминание о замечательных висячих через пропасти мостах инков, которыми местные жители пользовались еще в прошлом столетии. Из трех необычайно толстых канатов сплетали трос, своей толщиной превосходивший человеческое тело. Эти тросы перетаскивали через пропасть и намертво закрепляли в каменных опорах, высеченных в скалах. На этих прочных тросах укрепляли настил и все остальные детали моста. Объяснять, что гибкая, легкая, хотя и протяженная, конструкция подвесного моста в принципе является сейсмостойкой, я думаю, теперь уже не требуется [7, 49]. Осталось для полноты книги сообщить несколько фактов о современном сейсмостойком строительстве.

Немного о современном сейсмостойком строительстве

Рассказывая о современном сейсмостойком строительстве, буду предельно краток. Не вижу смысла говорить об этом подробно. С принципами сейсмостойкого строительства я вас познакомил на примерах древних сооружений. Информация же о современных сооружениях настолько обширна, что об этом надо писать отдельную книгу, не ужимая себя в рамках одной главы. Кстати, популярных книг о современном сейсмостойком строительстве нет, а вот специальной технической литературы сколько угодно.

Итак, существует с современной точки зрения два способа создания сейсмостойких сооружений. Первый—это когда создается сооружение повышенной прочности, чтобы его не могло разрушить землетрясение, ожидаемое в данном месте. Второй—это когда в сооружении применяются какие-то специальные мероприятия, чтобы снизить сейсмические нагрузки, возникающие в нем от движений, передаваемых на него от грунта. Здесь можно выделить следующие мероприятия. Первое—сейсмоизоляция между фундаментом и надфундаментной конструкцией сооружения, в задачу которой входит уменьшение связи между грунтом и сооружением. Здесь годятся резинометаллические прокладки, всякие скользящие пояса, шары, различные фигуры вращения, применяются подвесные конструкции. Второе—включающиеся и выключающиеся связи, которые предохраняют здания от возможных в них резонансных явлений. В задачу этих

связей входит изменение жесткостных свойств конструкций. Третье—повышение способности конструкции к затуханию, чтобы увеличивать рассеивание энергии колебания сооружения при землетрясении. И наконец, четвертое—динамические гасители колебаний, обеспечивающие передачу части энергии сейсмических колебаний сооружения гасителю.

Приведу примеры конструктивных мероприятий по второму способу, как наиболее любопытному, создания сейсмостойких зданий. При этом имейте в виду, что существуют сооружения, которые в принципе являются сейсмостойкими, к ним не надо даже применять какие-то специальные антисейсмические мероприятия. В древности, например, это были подвесные мосты на канатах и цепях. В наше время к таким сооружениям можно отнести различные пневматические конструкции, которые получаются из мягких легких оболочек, надутых воздухом.

На рис. 124 показана система сейсмоизоляции здания, выполненная с помощью качающихся стоек, заложенных между фундаментом и зданием. У стоек на концах устроены сферические поверхности, что обеспечивает всему зданию возвращение в исходное равновесное состояние силой собственного веса, если при землетрясении это равновесное состояние будет нарушено. За счет этих качающихся стоек уровень колебаний, передаваемых на здание от фундамента во время землетрясения, значительно снижается. Учитывая высокую податливость систем сейсмозащиты на качающихся стойках, здесь дополнительно с помощью консоли и скользящих друг по другу грузов устроена система, повышающая затухание всей конструкции. Точно так же между фундаментом и надфундаментной частью здания могут быть вложены любые другие элементы сейсмозащиты, названные выше. На рис. 125 показана система сейсмозащиты маятникового типа, когда здание подвешивается на специальных тросах.

На рис. 126 показана конструкция опоры, в которой имеется жесткое запорное кольцо между верхним и

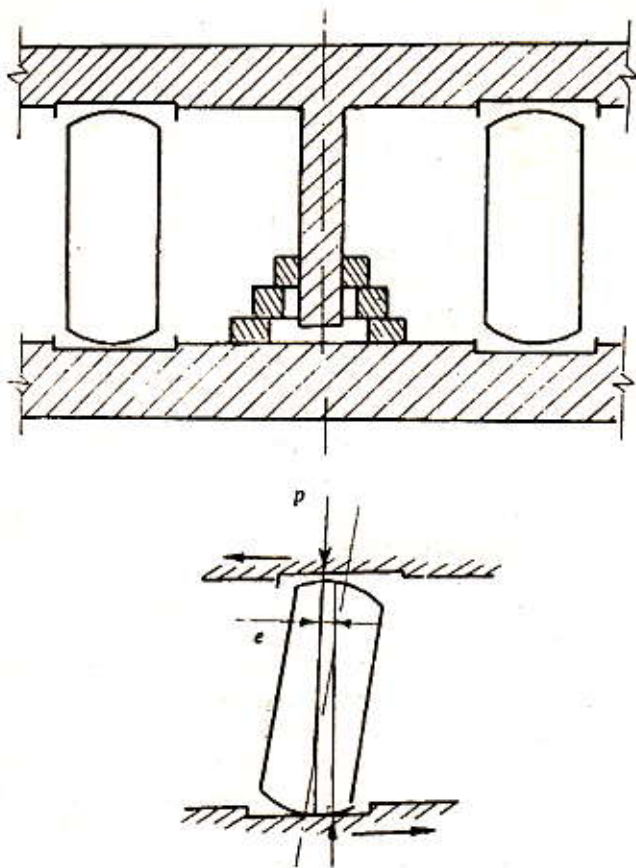


Рис. 124. Сейсмоизоляция с помощью качающихся опор

нижним кожухами резинометаллического цилиндра. Это запорное кольцо подобрано так, что при достижении сейсмической нагрузки определенного уровня это кольцо разрушается, жесткая связь выключается и здание садится на включающиеся податливые резинометаллические опоры. В этом случае, если здание попало в резонансный режим, то оно из него выходит с изменением жесткости.

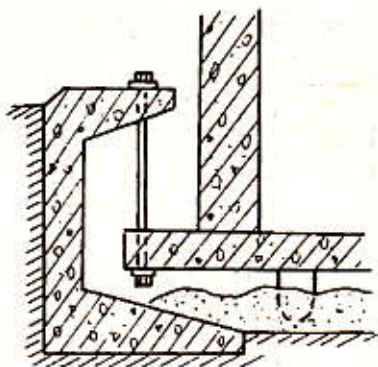


Рис. 125. Подвесная сейсмоизолированная конструкция

Теперь пример на устройство механизмов, повышающих затухание всего здания. На рис. 127 показан фрагмент первого этажа каркасного здания. Этот тип здания отличается пониженным затуханием. Чтобы его увеличить, натянут металлический трос по схеме, показанной на рисунке. Здесь же имеется обжимное устройство, которое позволяет регулировать движения троса, облегчать или затруднять его. По сути дела этим обжимным устройством можно настроить здание на определенную нужную частоту, разумеется, в определенных пределах. Более того, эту же схему можно использовать для автоматической настройки здания в требуемый режим. Для этого нужен сейсмоприемник, записывающий происходящее землетрясение и подающий эту запись на анализатор, который и принимает мгновенное решение о существующей или несуществующей опасности этого землетрясения для данного сооружения. Если землетрясение опасно, то анализатор подает команду на обжимающее трос устройство, меняя жесткостные параметры здания в нужном направлении. Такие системы автоматической регулировки параметров здания уже существуют в Японии, они могут использовать даже спутниковую связь.

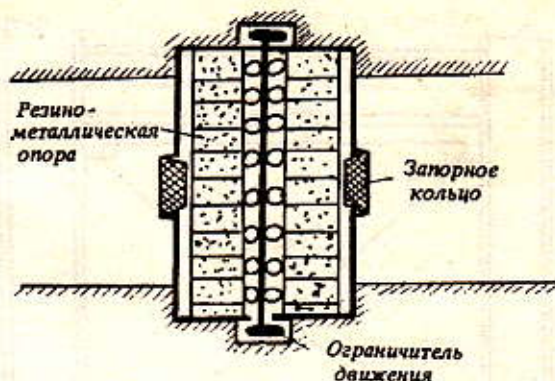


Рис. 126. Резинометаллический сейсмоизолятор с выключающей связью

В качестве примера на использование динамических гасителей колебаний в сейсмостойком строительстве можно привести телевизионную башню в Алма-Ате. Эта башня высотой 372 м, с диаметром основания 18,5 м и весом 4760 т впервые построена в горном районе с высокой сейсмичностью. На высоте 248 м в этой башне подвешены четыре гасителя колебаний общим весом 40 т маятникового типа. Они предназначены для гашения колебаний башни, возникающих при ветровых порывах и сейсмических воздействиях. Работа этих гасителей основана на том, что их собственный период значительно отличается от собственного периода колебаний башни. От ветрового потока эти гасители обеспечивают снижение колебаний башни почти в 4 раза. Осталось посмотреть, что будет при сильном сейсмическом воздействии.

Иногда почему-то только что перечисленные методы сейсмозащиты называют нетрадиционными, имея в виду, по-видимому, то, что раньше они нигде не применялись. Кто дочитал книгу до этого места, мог убедиться, что это не так. Уже в глубокой древности существовали различные системы сейсмоизоляции и даже вибро-

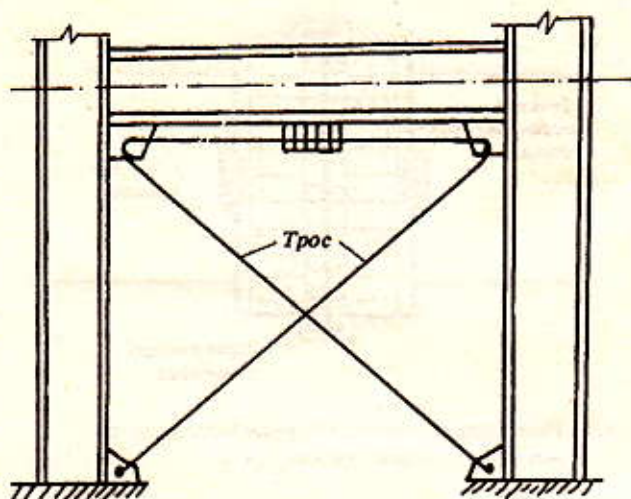


Рис. 127. Фрагмент здания с регулируемой жесткостью

гашения. Систем сейсмоизоляции нашего времени изобретено великое множество. Ситуация с их изобретением чем-то напоминает мне ситуацию с изобретением вечного двигателя—проектов было много, и каждый автор думал, что только он на правильном пути. Зайдя в тупик, все-таки эта лихорадка сыграла свою положительную роль в развитии теории механизмов. То же происходит с системами сейсмоизоляции. После каждого сильного землетрясения со всех сторон в научно-исследовательские и проектные институты сыплются предложения о способах защиты зданий от землетрясений. Да и сами сотрудники этих институтов не сидят без дела, тоже изобретают. Часть таких изобретений можно использовать в юмористических журналах, часть имеет теоретический познавательный смысл о способностях человека к фантазированию, а кое-что можно, действительно, использовать в практике сейсмостойкого строительства. Я не хочу быть исключением и тоже хочу вам кое-что предложить и причем такое, чего еще ни у кого не было.

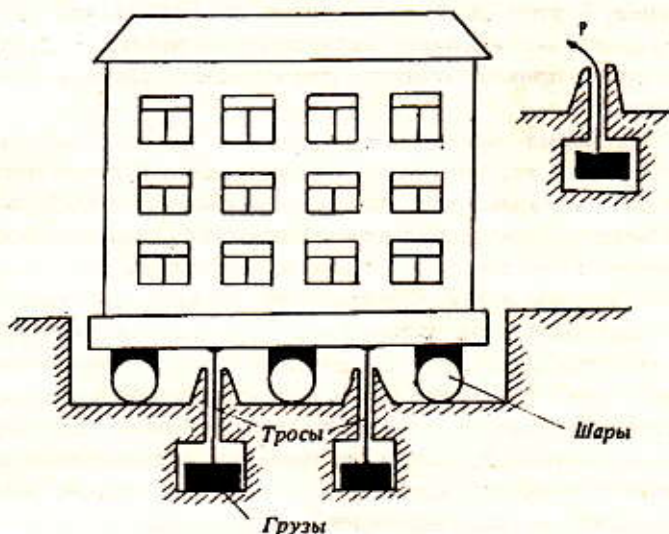


Рис. 128. Здание с гравитационной системой сейсмозащиты на шаровых опорах

В своем изобретении я предлагаю объединить все четыре способа сейсмозащиты. Вам остается поразмышлять и оценить. Кстати, в практике никогда ни один из способов сейсмозащиты не применяется в чистом виде, а, как правило, в комбинации. Например, шары с пружинами, возвращающими здание в исходное положение, да к ним добавляется система затухания. Или скользящий пояс и мягкие ограничители движения.

То, что я вам предлагаю в качестве упражнения к пройденному, показано на рис. 128. Здесь, как видите, все здание стоит на шарах и может откатываться в любую сторону в зависимости от того, с какой стороны подойдет сейсмический удар. Но сразу уж так далеко это здание укатиться не может, так как оно, как к якорям, привязано к грузам, лежащим на дне прямков. Естественно, что металлические тросы, связывающие здание и грузы, имеют небольшое предварительное натя-

жение. В этом случае при первых же подвижках здания грузы сейчас же будут включаться в работу. Осталось обсудить принцип работы предлагаемой системы сейсмозащиты.

Во время землетрясения здание будет стремиться отъехать и повернуться. Поворот связан с различными видами несимметрии: поля сейсмического воздействия, положения центра тяжести сооружения, неоднородность работы опорных шаров. Большое достоинство предлагаемой системы в том, что какое бы сложное движение ни начало выполнять здание, в работу включаются грузы и создают равномерное противодействие этому движению, стремясь своим весом вернуть здание в исходное состояние. Короче, в предложенной системе одновременно применены все типы специальных антисейсмических мероприятий: сейсмоизоляция с помощью шаров; включающиеся и выключающиеся связи в виде лежащих на дне прямых грузов; повышенное затухание за счет трения тросов о стенки отверстий, через которые они протягиваются; наконец, оторванные от дна прямых и висящие на тросах грузы могут работать как динамические гасители по отношению к фундаментной плите. Предложенная система сейсмоизоляции—это лишь информация к размышлению. Можно ли все выполнить с технической и экономической точки зрения, мы не обсуждаем [50-52].

Вместо глобальных выводов в конце книги предлагаю рассмотреть несколько занимательных рисунков, навеянных прошлым и будущим сейсмостойкого строительства. Каждый рисунок сам по себе достаточно выразителен, но дополнительно я их снабжаю подробными подрисовочными подписями.

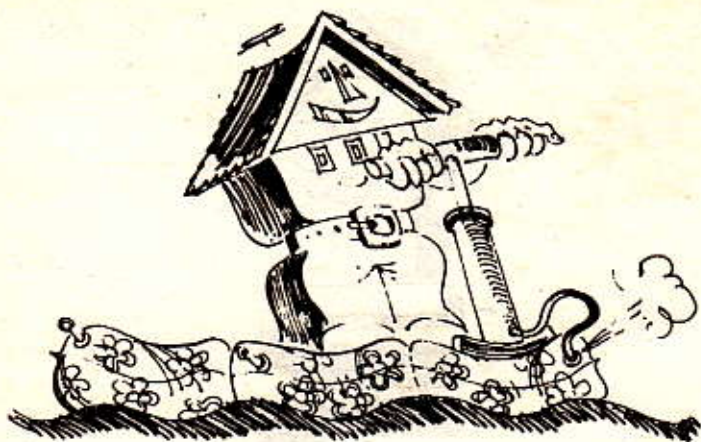


Рис. 129. Вместо жесткой фундаментальной плиты наполненная воздухом емкость с эластичными стенками, которая хорошо изолирует здание от сейсмических волн



Рис. 130. Если же здание подвесить на воздушных шарах, то изоляция от стихии землетрясения будет еще лучше



Рис. 131. Для сейсмоизоляции можно использовать силу магнитного поля. Если бы мы умели управлять силой притяжения земли, то и это здесь нам бы не помешало



Рис. 132. Хорошим сейсмоизолятором может служить бассейн, наполненный водой или какой-либо другой тяжелой жидкостью, в которой плавает здание в полной уверенности за свою безопасность. Такая сейсмоизоляция в наш век вполне осуществима



Рис. 133. А вот здание на воздушной подушке. Пока фантастическая, но все же сейсмоизоляция



Рис. 134. Здесь использован эффект самоуравновешивания детской игрушки

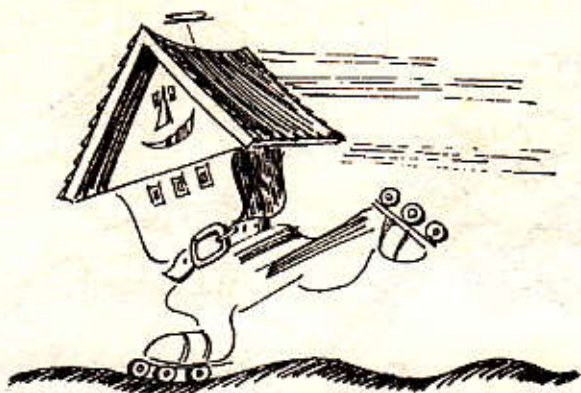


Рис. 135. Уменьшая трение между зданием и грунтом, мы уменьшаем сейсмическую силу



Рис. 136. Современные вычислительные комплексы вполне способны управлять гидравлическими системами так, что ни одна судорога земли не передастся на здание



Рис. 137. Большеразмерная, жесткая и массивная плита вполне способна защитить здание от землетрясения: чем плита больше, тем лучше



Рис. 138. Здесь другая крайность по сравнению с предыдущим рисунком, но эффект тот же. Чем свая забита глубже и чем она жестче, тем сейсмозащита от нее лучше. В первом случае шло осреднение колебаний по поверхности земли, во втором случае по глубине

Заключительное слово

Все, любознательный читатель, книга закончена. Как автор, я, к сожалению, не могу оценить, что у меня получилось. Но я старательно пытался познакомить современного человека с многообразным и основательным наследием, запечатленным в кирпиче и камне, оставленным нам прошлыми поколениями. Я намеренно подвергал творения зодчих древности анализу с позиций современной теории сейсмостойкости, и оказывалось, что есть у них чему поучиться, что их наследие имеет не только познавательное, но и практическое значение. В практическом смысле на примерах из древности легко было показать, что антисейсмическая защита—понятие весьма широкое. Это не просто увеличение марки бетона и количества арматуры, как многие, даже специалисты, полагают сегодня, а целая система мер, направленная на обеспечение сохранности зданий во время землетрясений и на увеличение его долговечности. Мне также очень хотелось, чтобы достопочтенный читатель взглянул на Человеческую историю не с точки зрения изучения количества властителей в царских династиях, сожженных ими городов и отрубленных голов, а с точки зрения великих и малых мастеров, обдумывающих планы зданий и притесывающих камни в их кладке.

Насколько все это мне удалось, судить вам.

Литература

-
1. Оразымбетов Н.Р., Сердюков М.М., Шанин С.А. Ашхабадское землетрясение 1948 г. М.: Госстройиздат, 1960, с. 308.
 2. Усейнов М., Бретаницкий Л., Саламзаде А. История архитектуры Азербайджана. М.: Стройиздат, 1963, с. 396.
 3. Джанберидзе Н.Ш., Цицишвили И.Н. Архитектура Грузии. М.: Стройиздат, 1976, с. 232.
 4. Ахундов Д.А. Архитектура древнего и раннесредневекового Азербайджана. Баку, Азербайджанское государственное издательство, 1986, с. 310.
 5. Брунов Н.И. Очерки по истории архитектуры. Т.1. Москва-Ленинград, Академия, 1937, с. 442.
 6. История древнего востока. М.: Высшая школа, 1988, с. 416.
 7. Всеобщая история архитектур. Т.1. М.: Стройиздат, 1970, с. 512.
 8. Сансоне В. Камни, которые надо спасти. М.: Мысль, 1986, с. 236.
 9. Шуази О. История архитектуры. Т.1. М.: Академия архитектуры, 1934, с. 576.
 10. Волков И.М. Законы вавилонского царя Хаммураби. М.: 1914, с. 86.
 11. Башкиров А.С. Антисейсмизм древней архитектуры. Т.2. Греция. М.: Московский городской педагогический институт. Ученые записки, 1948, с. 337.
 12. Кинк Х.А. Древнеегипетский храм. М.: Наука, 1979, с. 198.

13. Всеобщая история архитектуры. Т.2. М.: Стройиздат, 1973, с. 712.
14. Виолле ле Дюк. Беседы об архитектуре. Т.1. М.: Академия архитектуры, 1937, с. 478.
15. Брунов Н.И., Эрехтейон. М., Издательство Всесоюзной Академии архитектуры, 1938, с. 12+22 таблицы.
16. Башкиров А.С., Антисейсмизм древней архитектуры. Т.4. Юг СССР. Калинин, Калининский педагогический институт, 1948, с. 398.
17. Леви Е.И. Ольвия. Л.: Наука, 1985, с. 150.
18. Нейхардт А.А., Шишова И.А. Семь чудес древней Ойкумены. М.: Наука, 1990, с. 128.
19. Замаровский В. Путешествие к семи чудесам света. М.: Детская литература, 1980, с. 368.
20. Шалькевич А.А. Архитектурное исследование царского кургана. Труды Эрмитажа, XVII, 5. Л.: Аврора, 1976, с. 138-166.
21. Даниеле Барбаро. Десять книг об архитектуре Витрувия. М.: Академия архитектуры, 1938, с. 478.
22. Башкиров А.С. Антисейсмизм древней архитектуры. Т.3. Италия, Калинин, Калининский педагогический институт, 1948, с. 294.
23. Кузнецов А.В. Тектоника и конструкция центральных зданий. М.: Архитектура и градостроительство, 1951, с. 274.
24. Якобсон А.Л. Закономерности в развитии ранне-средневековой архитектуры. Л.: Наука, 1983, с. 172.
25. Всеобщая история архитектуры. Т.3. М.: Стройиздат, 1966, с. 688.
26. Эссад Д. Константинополь. М.: Изд-во Сабашниковых, 1919, с. 336.
27. Саинян А.А. Архитектура античных сооружений Гарни. Ереван, Советакан Грох, 1988, с. 230.
28. Токарский Н.М. Архитектура древней Армении. Ереван, Академия наук АрмССР, 1946, с. 382.
29. Марутян Т.А. Архитектурные памятники. Ереван, Хорурдаин Грох, 1989, с. 270.

30. Гольдштейн А.Ф. Башни в горах. М.: Советский художник, 1977, с. 334.

31. Джандиери М.И., Лежава Г.И. Архитектура горной Грузии. М.: Изд-во академии архитектуры СССР, 1940, с. 110.

32. Булатов М.С. Геометрическая гармонизация в архитектуре Средней Азии IX-XV вв. М.: Наука, 1988, с. 362.

33. Пугаченкова Г.А. Древности Мианкаля. Ташкент, Фан, 1989, с. 204.

34. Топрак-кала. Дворец. М.: Наука, 1984, с. 304.

35. Бачинский Н.М. Антисейсмика в архитектурных памятниках Средней Азии. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1949, с. 48.

36. Прибыткова А.М. Памятники архитектуры XI века в Туркмении. М.: Стройиздат, 1955, с. 120.

37. Немцова Н.Б., Шваб Ю.З. Ансамбль Шах- и Заида. Ташкент, Изд-во им. Гафура Гуляма, 1979, с. 168.

38. Пугаченкова Г.А., Ремпель Л.И. Выдающиеся памятники архитектуры Узбекистана. Ташкент, Художественная литература УзССР, 1958, с. 292.

39. Якубовский А.Ю. Развалины Ургенча. Л.: Изд-во Академии истории культуры, 1930, с. 78.

40. Бачинский Н.М. Архитектурные памятники Туркмении. Вып.1. Москва-Ашхабад, Академия архитектуры СССР, 1939, с. 128.

41. Нурмухаммедов Н.Б. Архитектурный комплекс Ахмеда Ясави. Алма-Ата, 1988, с. 168.

42. Массон М.Е. Мавзолей Ходжа Ахмета Ясеви. Ташкент, Узполиграфтрест, 1930, с. 26.

43. Маньковский Л., Хива, Ташкент, Изд-во литературы и искусства им. Гафура Гуляма, 1982, с. 264.

44. Проектирование сейсмостойких зданий. М.: Стройиздат, 1971, с. 256.

45. Домбровский Ю.О. Факультет ненужных вещей. М.: Советский писатель, 1989, с. 718.

46. Поляков С.В. Последствия сильных землетрясений. М.: Стройиздат, 1978, с. 312.

47. Проскурин В.Н. Зодчие. 125 лет А.П. Зенкову. Алма-Ата, Общество охраны памятников истории и культуры Казахской ССР, 1988, с. 24.

48. Всеобщая история архитектуры. Т.9. М.: Стройиздат, 1971, с. 644.

49. Галич М. История доколумбовых цивилизаций. М.: Мысль, 1990, с. 408.

50. Яременко В.Г. Современные системы защиты зданий и сооружений от землетрясений. Киев, Общество "Знание", 1990, с. 20.

51. Кириков Б.А. Древнейшие и новейшие сейсмостойкие конструкции. М.: Наука, 1990, с. 70.

52. Кириков Б.А. Сейсмостойкость древних сооружений. М.: Наука, 1992, с. 138.

Содержание

Предисловие	3
Что такое сейсмостойкое здание?	5
Немного об эффекте сейсмического воздействия	5
Основные принципы сейсмостойкого строительства	9
Как здания делаются сейсмостойкими?	14
Три великие речные цивилизации	22
На заре человеческой истории	22
Хараппы в долине Инда	27
Шумеро-Вавилонское Двуречье	34
К нильским пирамидам и храмам	67
Все о сейсмостойкости сооружений	
эпохи греков	85
Крито-микенская культура	85
Материковая Греция	102
Греческие колонии	126
Рим и Византия	156
Сводчатые конструкции и римский бетон	156
Купола Рима	167
Кирпич и камень Византии	190

Кавказ от Черного моря до Каспийского	203
Сейсмостойкость Армянских и Грузинских храмов	203
Башни в горах	224
Зодчество Азербайджана	229
Сейсмостойкость памятников архитектуры Средней Азии	240
Там, в глубине тысячелетий	240
Типовые секреты сейсмостойкости древних сооружений Средней Азии	249
Мавзолеи, мечети, минареты	253
Сейсмостойкость конструкций из дерева	272
Япония, Китай, Индия, Юго-Восточная Азия	288
Сейсмостойкость сооружений доколумбовой Америки	316
Немного о современном сейсмостойком строительстве	325
Заключительное слово	338
Литература	339
Содержание	343

Кириков Борис Алексеевич—
автор этой книги,
более четверти века работает
в области теории
сейсмостойкого строительства,
занимался внедрением
вероятностных методов в практику
расчетов на сейсмостойкость.

Увлекается дальними
походами на Север.
Интересуется историей, включая
историю строительного дела.

Эта книга написана
для подрастающего поколения,
в том числе и внучонка Данилки,
в надежде на то, что оно вырастет
любопытным
и ему понадобится все богатое
культурное и техническое
наследие прошлого.