
***Building
Configuration
and Seismic
Design***

CHRISTOPHER ARNOLD
ROBERT REITHERMAN

JOHN WILEY & SONS
New York Chichester Brisbane Toronto Singapore

Н. Арнольд Р. Рейтерман

**Архитектурное
проектирование
сейсмостойких
зданий**

Перевод с английского
Л.Л. Пудовкиной

Под редакцией
д-ра техн. наук С.В. Полянова
и канд. техн. наук Ю.С. Волнова

Москва Стройиздат 1987

Арнольд К., Рейтерман Р. Архитектурное проектирование сейсмостойких зданий / Пер. с англ. Л. Л. Пудовкиной; Под ред. С. В. Полякова, Ю. С. Волкова. — М.: Стройиздат, 1987. — 195 с.: ил. — Перевод. изд.: Building Configuration and Seismic Design / C. Arnold, R. Reitherman. — New York : John Wiley & Sons, Inc., 1982.

В книге авторов из США изложены принципы выбора объемно-планировочных и конструктивных решений зданий для строительства в сейсмических районах, наглядно иллюстрируемые результатами анализа поведения зданий при сильных землетрясениях. Рассмотрены подходы к проектированию высотных зданий и зданий необычной конфигурации, строительство которых предусмотрено в сейсмически активных районах, а также к выбору объемно-планировочных решений сейсмостойких зданий различного типа и назначения.

Для архитекторов и проектировщиков.

Табл. 26, ил. 165, список лит.: 74 назв.

Рекомендовано к изданию д-ром техн. наук, проф. Я. М. Айзенбергом.

Книга американских специалистов Кристофера Арнольда и Роберта Рейтермана, посвященная проектированию зданий, возводимых в сейсмических районах, написана для архитекторов. В ней не рассматриваются методы расчета сейсмостойких зданий и детали их конструирования и по этой причине она представляет меньший интерес для инженеров-проектировщиков, хотя хорошо подобранные фактические данные для обоснования разрабатываемых в книге положений будут полезны и этому кругу читателей. В нашей стране и, по-видимому, во всем мире это первый пример публикации специальной книги по сейсмике для архитекторов и в этом отношении сделанный авторами труд является пионерным. В своей работе авторы указывают, что разные профессиональные интересы архитекторов и инженеров при проектировании иногда приводят к конфликтным ситуациям, которые могли бы не возникнуть, если бы архитекторы были лучше знакомы с основами сейсмостойкости сооружений.

Книга состоит из введения, 13 глав основного текста и 3 приложений. Введение и первые две главы посвящены материалам, знакомящим читателей с природой землетрясений, некоторыми положениями сейсмологии, полезными для рассмотрения вопросов, излагаемых в последующих главах книги, а также благоприятным или неблагоприятным характеристикам сейсмостойкости зданий. Материал остальной части книги относится непосредственно к проблемам конфигураций зданий и их влиянию на сейсмостойкость. Следует иметь в виду, что под термином "конфигурация" авторы подразумевают не только внешнее очертание здания, но и то, что относится к конструктивно-планировочным решениям внутри них.

Материал книги в основном отражает опыт проектирования и строительства в сейсмических районах США, однако при описании последствий землетрясений авторы достаточно часто обращаются и к опыту других стран. Однако развитие сейсмостойкого строительства в СССР в книге нашло очень слабое отражение и для ознакомления с ним читателю следует воспользоваться отечественной литературой.

Исследования по сейсмостойкости сооружений относятся к категории одной из наиболее сложных и в то же время наиболее молодых ветвей строительной науки. В связи с этим по одним и тем же вопросам разных специалистов часто не бывает однозначного мнения. Возможно именно в этой связи у автора предисловия возникли некоторые замечания по изложенным в книге материалам. В некоторых случаях неточность изложения, по-видимому, объясняется трудностями популярного объяснения таких сложных проблем, как сейсмостойкость сооружений. Так, например, утверждение, что при двух положениях усеченной пирамиды с опиранием на фундамент узким или широким основанием опрокидывающий момент различается в два раза в связи с соответствующим различием положения центра их масс не точно, при таком изменении положения пирамиды меняется частота ее горизонтальных колебаний, и, следовательно, при одном и том же движении основания будут возникать разные инерционные силы. По этой причине изменение положения пирамиды приведет к несколько

© John Wiley & Sons, Inc.
New York, 1982

4902010000 — 204
A ————— 204—87 © Предисловие к русскому изданию
047 (01) — 87

Перевод на русский язык,
Стройиздат, 1987

иному, чем вдвое изменению опрокидывающего момента. Такие замечания могут быть сделаны и по некоторым другим материалам книги, однако они прежде всего относятся к количественной стороне оценок, которые не являются основным предметом изложения книги. В то же время качественные представления влияния конфигурации здания на его сейсмостойкость изложены достаточно корректно и подробно с большим числом примеров из практики проектирования и опыта землетрясений, что, несомненно, вызовет интерес у наших специалистов. Представляется особенно уместным обратить внимание читателя на отношение авторов книги к вопросу сейсмостойкости зданий с так называемым гибким первым этажом. Такую конструкцию архитекторы стремятся широко применять в практике проектирования зданий, она же с точки зрения сейсмостойкости сооружения имеет серьезные недостатки, на которых акцентировалось внимание и в отечественной литературе.

С. В. Поляков, д-р техн. наук, профессор

ПРЕДИСЛОВИЕ

Давно известно, что конфигурация зданий, т.е. размеры и форма в плане как самого здания, так и составляющих его объемов оказывают существенное влияние на работу сооружения при действии сейсмических нагрузок, более того, основные факторы этого влияния хорошо известны. Однако на практике мы нередко видим, что в сейсмических районах продолжают применяться дорогостоящие и в общем случайные проектные решения. Происходит это по нескольким причинам. Иногда архитекторы, принимающие участие в разработке проекта, не имеют полного представления о влиянии сейсмических воздействий на работу сооружения и не стремятся получить консультацию инженеров-специалистов в области сейсмостойкости. Нередко архитектор сознательно игнорирует критические замечания инженера. В результате тот факт, что хорошо известные принципы проектирования не применяются, свидетельствует о невозможности для специалистов обеих профессий плодотворно и эффективно сотрудничать в ходе проектирования одного объекта.

Значительный объем информации о факторах влияния конфигурации здания на его сейсмостойкость имеет форму пояснений в публикациях о научно-исследовательских работах или является частью практического опыта инженеров. Такая информация, как правило, неизвестна архитектору-практику или, поступая к нему, имеет вид нормативных ограничений на принятие соответствующих проектных решений, вместо того, чтобы вызвать появление идей, которые опытный проектировщик может вложить в новые оригинальные решения. В учебниках основу расчета сооружений на сейсмические нагрузки составляет математический анализ, а не оценка принципов проектирования; влияние, оказываемое конфигурацией здания, анализируется скорее с точки зрения различных ограничений.

Цель настоящей книги заключается не в дальнейшем ограничении творческих возможностей проектировщика, а в описании простым не математическим языком влияния архитектурного решения здания на его поведение при воздействии сейсмических нагрузок и в доведении до проектировщика тех концепций, которые обеспечат квалифицированное принятие решений в области расчета сооружений на сейсмические воздействия. Эта книга не сможет заменить архитекторам консультации и совместную работу с инженером, однако, раскрыв особенности работы здания в условиях зон повышенной сейсмической активности, поможет архитектору улучшить свои знания в этой области, что в свою очередь будет способствовать более эффективному сотрудничеству инженера и архитектора. Кроме того, в книгу включена информация полезная и инженеру — это требования, предъявляемые при архитектурном проектировании, поэтому она предназначена и будет интересной для специалистов обеих профессий.

В книге вся информация представлена в описательной, а не в аналитической форме, что соответствует образу мышления проектировщика. Она включает большое количество фотоснимков и графических материалов, чем существенно отличается от традиционных технических учебников, предназначенных только для тех, кто хорошо владеет специальным языком

математики. Первые главы книги описывают те факторы перемещения грунта, которые оказывают существенное влияние на работу конструкций здания и его реакцию на эти перемещения. Дается обзор возможных архитектурных решений, которые влияют на поведение зданий, главным образом при сейсмических нагрузках. Далее приводится описание более общих проблем, связанных с конфигурацией зданий, решение которых по причине большого количества факторов влияния предусматривает необходимость принятия так называемой сейсмостойкой конфигурации, которая по совокупности свойств будет несколько уступать оптимальной. Последующие главы посвящены вопросам определения требуемой конфигурации зданий и их типу, наиболее соответствующему условиям восприятия сейсмических нагрузок с указанием примеров исторических сооружений, расположенных в районах с сейсмической активностью. В заключение приводятся выводы с графическими примерами, наиболее целесообразных архитектурных решений. В книгу включены три положения: документация, составляемая на каждой стадии проектирования и относящаяся к расчету на сейсмические нагрузки; примеры проектных решений, реализованных в условиях воздействия сейсмических нагрузок, и определение конфигурации зданий и сооружений.

Настоящая книга является попыткой систематизированного изложения информации, которая до настоящего времени содержалась в различных источниках, нахождение которых связано со значительными трудностями.

Авторы выражают благодарность всем, кто принимал участие в составлении и оформлении книги: д-ру Чарльзу Тиллу, д-ру Джону Скальзи и д-ру Фреду Кримголду, Эрику Элсессеру, а также всем специалистам, оказавшим большую помощь при написании этой книги.

Глава 1. ВВЕДЕНИЕ

Накопление сведений

В мире происходит большое число землетрясений. Кроме стран северной Европы, большая часть территории других регионов с очень низкой сейсмичностью заселена довольно слабо: это Гренландия, северная Канада, большая часть Австралии, бассейн р. Амазонки, пустыня Сахара и Антарктика.

Исторически сложилось так, что наиболее интересные архитектурные направления возникли в регионах с высокой сейсмической активностью, хотя сама архитектура не всегда выражает принципы сейсмического проектирования. Сейсмический фактор оказал существенно меньшее влияние на формирование архитектурных стилей, которые в различных регионах определялись прежде всего разнообразием климата.

Объяснить это влияние можно тем, что до начала нашего столетия физические характеристики землетрясений были недостаточно ясны. Их возникновение и разрушительные последствия относили за счет действия сверхъестественных сил и поэтому предупредительные меры не включали усовершенствование архитектурных и конструктивных решений зданий и сооружений. К 1906 г., когда произошло землетрясение в Сан-Франциско, уже начала формироваться концепция влияния конструктивного решения здания на его работу в условиях сейсмических нагрузок, а к 1923 г., когда было зафиксировано землетрясение в Токио, были разработаны основные принципы расчета на сейсмические нагрузки, в основном с использованием эмпирических зависимостей. После землетрясения в Токио вопросу развития инженерной сейсмологии стало уделяться больше внимания, что привело к разработке аналитических методов расчета зданий и сооружений на сейсмические нагрузки.

В США научные исследования в области сейсмостойкости сооружений были, главным образом, сосредоточены в лабораториях штата Калифорния, что обуславливалось периодически возникавшими там землетрясениями, такими, как в Санта-Барбара (1925), Лонг-Бич (1933), Керн-Каунти (1925), которые, к счастью, не принесли значительного ущерба, но постоянно напоминали о серьезности проблемы. Большая часть научно-исследовательской работы в то время выполнялась практически на собственные средства незначительной группой инженеров-энтузиастов, которым время от времени удавалось осуществить крупные проекты, подтверждающие правильность проведенных исследований. Такое положение начало существенно меняться после землетрясения на Аляске, 1964, когда на восстановление нанесенного ущерба потребовались значительные денежные средства, выделенные федеральным правительством. В то же время на средства федерального правительства и правительства штата были проведены крупные исследования влияния сейсмического воздействия на здания и сооружения этого региона.

Землетрясение в Сан-Фернандо, 1971, полностью изменило полученную в ходе ранних исследований картину. В числе сильно разрушенных построек

оказались новые здания, построенные на основе разработанных тогда Строительных норм и правил расчета конструкций на сейсмические нагрузки. Это послужило причиной для пересмотра всей системы проектирования сейсмостойких конструкций в США и ускорило развитие национальных правительственных программ по уменьшению факторов риска во время землетрясений.

В настоящее время научно-исследовательские работы в области сейсмостойкости занимают одно из ведущих мест в государственном секторе строительства, что обеспечивает постоянный рост уровня знаний в этой области и совершенствование практики проектирования сейсмостойких конструкций. В свою очередь это оказывает существенное влияние на степень профессиональной ответственности специалистов и способствует расширению диапазона возможностей инженерно-технической мысли. Поскольку процессы проектирования и строительства имеют сейчас формально узаконенные правовые стороны их осуществления, требования заказчика, как правило, включают охрану его интересов в случае стихийных бедствий, в том числе обеспечение сохранности человеческих жизней, а в ряде случаев и требуемых комфортных условий. Эти вопросы находятся в ведении соответствующих институтов и отдельных специалистов, при этом правовые организации поощряют такой тип ответственности.

Если ответственность за разрушающие последствия землетрясений возложить только на инженерно-технических работников, то архитектор не сможет понять и принять во внимание всю серьезность настоящей проблемы. В действительности профессию архитектора можно охарактеризовать относительным незнанием вопросов проектирования сейсмостойких сооружений, и это явление характерно даже для таких районов с высоким уровнем сейсмической активности, как Калифорния. Происходит это потому, что проектирование сейсмостойких сооружений не входит в число приоритетных наук, изучаемых архитектором. Поэтому старания инженера привлечь архитектора к изучению данного вопроса объясняются его желанием помочь архитектору понять природу этого явления и сделать возможным наиболее эффективную с технической точки зрения реализацию его идей. Часто отсутствие соответствующих необходимых знаний в области сейсмостойкости конструкций приводит к возникновению между инженером и архитектором определенных конфликтных ситуаций, наносящих существенный урон этому важному профессиональному сотрудничеству.

Понятие конфигурации

В чем заключается вклад архитектора при проектировании сейсмостойких конструкций зданий и сооружений и почему часто результаты его творчества создают большие трудности для работы инженера?

Ответ следующий: архитектор создает и видоизменяет форму здания, т.е. разрабатывает его архитектурное решение, его конфигурацию, которая обычно определяется размерами и формой зданий в плане. Однако здесь под конфигурацией здания понимается также проектное положение и тип конструктивных и основных неконструктивных элементов сооружения, которые могут оказывать влияние на работу всего сооружения в условиях воздействия сейсмической нагрузки (рис. 1-1). Это элементы стенового заполнения, колонны, перекрытия, лифтовые шахты и лестничные клетки, а также внутренние перегородки и наружные стеновые элементы — сплошные или с проемами. Такая расширенная номенклатура необходима для лучшего понимания сложной взаимосвязи работающих элементов конст-

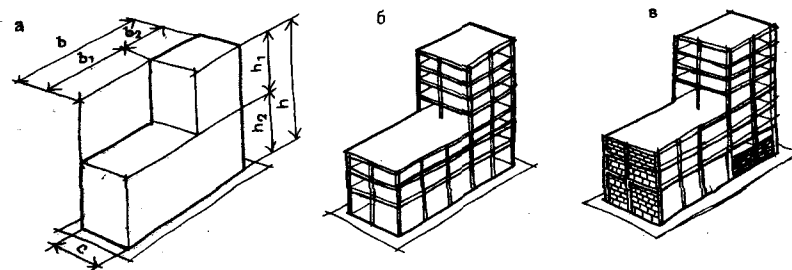


Рис. 1-1. Определение конфигурации, принятое в настоящей книге, включает три понятия
 а — размер и форма; б — характер, размер и проектное положение всех несущих элементов конструкции; в — характер, размер и проектное положение всех несущих (но важных) элементов конструкции

рукции при землетрясении. С этой точки зрения определение, предлагаемое в настоящей книге, выходит за рамки понятия формы здания, которое ограничено общими контурами или функциональным характером здания подобно массе материала в скульптурной композиции. Метод, используемый для определения конфигурации зданий, подробно описан в прил. А.З.

Конфигурация здания и ее формальные компоненты составляют основу программы строительства на начальной стадии и определяют предполагаемые функциональные особенности здания, занимаемые пространственные объемы, эксплуатационные параметры и оборудование. Описание функционального назначения необходимо для разработки компоновочных и объемно-планировочных решений здания с указанием возможных путей перемещения людей. Сочетание выбранных зон функциональной активности с зонами эвакуации принимается за основу при определении проектных размеров здания и последующем выборе архитектурного решения. Однако часто при определении конфигурации здания в качестве критериев расчета приходится принимать такие факторы, как геометрические особенности, грунтово-геологические условия и климат выбранной строительной площадки, требования окружающей городской среды и возможность использования архитектурных стилей. Окончательный выбор архитектурного решения здания является результатом трудоемкого процесса, который в некоторой степени уравнивает разнообразные по характеру требования и факторы влияния и приводит все спорные решения к наилучшему результату. Процесс определения конфигурации зданий более подробно описывается в гл. X.

Значение выбранной конфигурации здания

Определяя конфигурацию здания, архитектор оказывает непосредственное влияние на выбор системы несущих элементов конструкции. При этом часто выход из строя отдельных конструктивных деталей, приводящий к серьезным повреждениям или потере устойчивости всего здания, может предопределяться его конфигурацией. Другими словами, неудачная конфигурация здания как в целом, так и в сочетании отдельных объектов при воздействии сейсмических нагрузок может привести к перегрузке некоторых конструктивных элементов или узлов и их разрушению. Говоря о значимости конфигурации здания, не имеется в виду умаление роли инженерного проектирования и технологии производства строительных работ;

и то и другое взаимосвязанные процессы одинаковой важности, обеспечивающие надежность и эффективность эксплуатации здания и сооружения. При этом также не принижается роль основных идей проектировщика относительно конфигурации разрабатываемого объекта, их соответствие концепциям, подлежащим дальнейшему анализу на стадиях расчета и конструирования.

Поэтому за проектирование сейсмостойких конструкций в равной степени отвечают как инженер, так и архитектор. Во время землетрясения сейсмическое воздействие поражает все здание, не делая различия в тех элементах, которые разработаны инженером и которые созданы архитектором. Архитектор является полноправным участником проектирования сейсмостойких конструкций и важность принимаемого им архитектурного решения здания уже давно признана инженером, который проводит тщательное изучение поведения конструкции в условиях воздействия сейсмической нагрузки.

В связи с тем, что продолжается накопление знаний о действии сейсмических сил на сооружение, уже получен большой объем эмпирических данных; вопрос значимости принимаемых архитектором решений становится все более актуальным. В недавно изданные директивные нормы проектирования зданий, предназначенные для армии, включены следующие положения [1]: "Значительная часть величины сопротивления конструктивных элементов здания действию горизонтальных усилий определяется на основе объемно-планировочного решения . . . Необходимо принять во внимание, что форма здания, симметричное расположение его элементов и генеральный план должны создаваться на стадии концептуального проектирования, что более важно, чем точное определение усилий в соответствии с предлагаемыми строительными нормами".

Инженер-конструктор Уильям Холмс писал в 1976 г. [2]: "Уже давно известно, что конфигурация, простота и конструктивная четкость сейсмостойких систем несущих элементов сооружения являются важными, а может быть и более важными факторами по сравнению с подбором сечений по усилиям, учитываемым при проектировании зданий для зон с высокой сейсмической активностью".

Генри Дегенколб также подчеркивает большое значение конфигурации зданий, однако указывает, что расчет на сейсмостойкость не единственный фактор, определяющий форму здания [3]: "Если мы начинаем проектирование с выбора неудачной конфигурации здания или сооружения, то все, что в состоянии сделать хороший инженер — это по возможности улучшить первоначальное непродуманное решение. И наоборот, при выборе удачной конфигурации здания и эффективной системе элементов каркаса даже неквалифицированный инженер не сможет испортить окончательного варианта работы здания в условиях сейсмических нагрузок. И эта ситуация отражает реальную практику. Многие сложные проблемы были бы решены в случае применения какой-то одинаковой оптимальной формы проектируемых сооружений, однако требования экономичности выбора размеров и объемно-планировочных решений, использования пространства и получения эстетических пропорций заставляют инженера-конструктора создавать различные формы проектируемых объектов".

Эта проблема была хорошо изучена архитектором из Никарагуа Жозе Франсиско Тераном на примере землетрясения в Манагуа, 1972, [4]: "Исучаемая проблема сводилась к тому, следует ли проектировать здание исходя из требований функционального, социального и эстетического характера и затем эксплуатировать его в условиях полученной конструк-

тивной надежности, или процесс проектирования для таких сейсмических районов, как Манагуа, должен первоначально включать рассмотрение вопросов повышенной устойчивости и общей целостности здания, которые определяют параметры объемов, симметричность, массу элементов, модульную систему и другие факторы, оказывающие влияние на сейсмостойкость конструкций. При принятии второго пути не ясно, каким образом архитекторы, инженеры и другие причастные лица могут создать общие концепции проектирования зданий и сооружений с учетом воздействия явления, которое повторяется в своей наиболее разрушительной форме через значительные периоды времени, в течение которых многие из принятых расчетных параметров могут измениться. В отличие от автомобиля, теплохода или самолета, конструирование которых предусматривает преимущественное перемещение в течение всего функционального периода, проектирование зданий для сейсмических районов осуществляется исходя из их статического состояния, нарушаемого время от времени короткими, но сильными сейсмическими воздействиями, в результате которых происходит их перемещение".

Теран сделал два важных вывода: для некоторых районов земного шара требуется пересмотр некоторых определяющих критериев, принятых за основу процесса проектирования сейсмостойких конструкций, в результате чего влияние редкого, но возможного сейсмического воздействия можно будет учитывать наряду с другими расчетными параметрами. Второй вывод касается непосредственно проектировщиков сейсмостойких сооружений, так как решения, принимаемые в отношении конструктивных особенностей зданий, должны быть простыми с возможностью многократного повторения; элементы конструкций должны обладать максимальной симметрией, прямолинейностью и неразрезностью. При этом настоящие выводы предлагались в качестве рекомендаций по увеличению степени надежности сооружений, а не директив, обязательных для использования. Правильное понимание и приобретение практического опыта важнее слепого применения обязательных ограничений.

Строительные нормы и правила

В большинстве стран вопросы долговечности и надежности конструкций зданий и сооружений включены в национальные нормы и правила на проектирование и строительство. Каким же образом вопросы, связанные с архитектурным решением сейсмостойких зданий, освещаются в нормативных документах по строительству? В США до 1973 г., т.е. до выхода в свет Единых строительных норм, вопросы, связанные с определением конфигурации зданий, отдельно не рассматривались; сейчас эта проблема в общих чертах включена в Строительные нормы и правила [5]. В них упомянуто, что для сооружений, имеющих неправильную форму в плане или в каркасных системах при большом различии величин сопротивления поперечному сдвигу или жесткости соседних этажей, а также в других конструктивных особенностях, распределение горизонтальных сил следует определять с учетом динамических характеристик сооружения.

Возникает вопрос, если рассматриваемая здесь проблема имеет такое важное значение для проектирования сейсмостойких зданий и сооружений, то почему в нормативных документах ее рассматривают только с общих позиций? Возможно, это потому, что несмотря на понимаемое всеми значение вопроса, его трудно охарактеризовать определенными правилами и привести к форме, соответствующей стилю нормативной литературы. Эта трудность уже описывалась в отчете Ассоциации инженеров-конструкторов

Калифорнии (SEAOC) "Рекомендации по расчету на горизонтальные нагрузки" [6]: "Поскольку может существовать неопределенное количество различных неправильных конфигураций зданий и сооружений, нецелесообразность разработки определенных рациональных правил и нахождения точных параметров очевидна. Имеющаяся нормативная литература составлялась для зданий правильной конфигурации в плане. Применение этих нормативов к зданиям неправильной формы в плане во многих случаях привело к ошибочной, нереальной оценке ситуации".

После первого издания в 1959 г. SEAOC выпустила переработанное издание Рекомендаций по расчету на горизонтальные нагрузки. Требования этого документа почти без изменений были приняты для включения в последующие издания Единых строительных норм. В соответствующий раздел включено более 20 типов "конструкций неправильной формы в плане" или "сооружений или каркасных систем неправильной формы в плане" в качестве примеров расчета с дополнительным анализом динамических характеристик. Эти примеры показаны на рис. 1-2.

Подробное рассмотрение приведенных примеров показывает, что большая часть из указываемых архитектурных решений (или конфигураций) зданий и сооружений включена в данную книгу с наиболее детальным определением. Кроме того, в результате проведенных исследований обнаружено, что 65–80% зданий, построенных в последние 15 лет основным государственным подрядчиком, относятся к одной из указанных категорий зданий неправильной формы в плане, хотя имеющийся диапазон, выраженный в процентном отношении, при определении категории зданий носит относительно субъективный характер.

Даже беглое изучение десяти крупномасштабных зданий восьми университетских комплексов в Калифорнии показало, нередко до 75% всех зданий, включающих жилые, административные, учебные и лабораторные помещения, а также библиотеки, имеют неправильную форму в плане, а в нескольких таких комплексах все здания были неправильной формы. Важно отметить, что такие неправильные формы создаются по произволу самих проектировщиков, а не определяются функциями данного типа зданий.

Можно с уверенностью сказать, что более половины зданий и сооружений, построенных в последние годы, не соответствуют условиям технических норм, составленных для зданий простой архитектурной формы, и поэтому в большей или меньшей степени расчетные усилия, учтенные при проектировании и вычисленные по этим нормам, не соответствуют фактическим. Простой статический метод эквивалентных сил, определяемых по этим нормам, должен быть с учетом выше сказанного откорректирован на основе инженерного опыта проектировщика, осуществляющего расчет, и, в случае необходимости, должен быть применен полный динамический анализ. Следует сказать, что если проектирование крупных объектов осуществляется на основе изучения соответствующих инженерных концепций и тщательного анализа расчетных факторов, то менее важные объекты зданий неправильной формы часто проектируются без учета требований нормативной документации, и, поэтому возможные изменения работы конструкции в условиях воздействия сейсмической нагрузки, создаваемые за счет неправильной конфигурации, не всегда рассматриваются и включаются в расчет.

Недавний обзор разработки норм расчета на сейсмическую нагрузку включает описание исторических предпосылок, объясняющих характер принятых ограничений [7]. В 1930-, 1940- и 1950-е гг. в Калифорнии (С

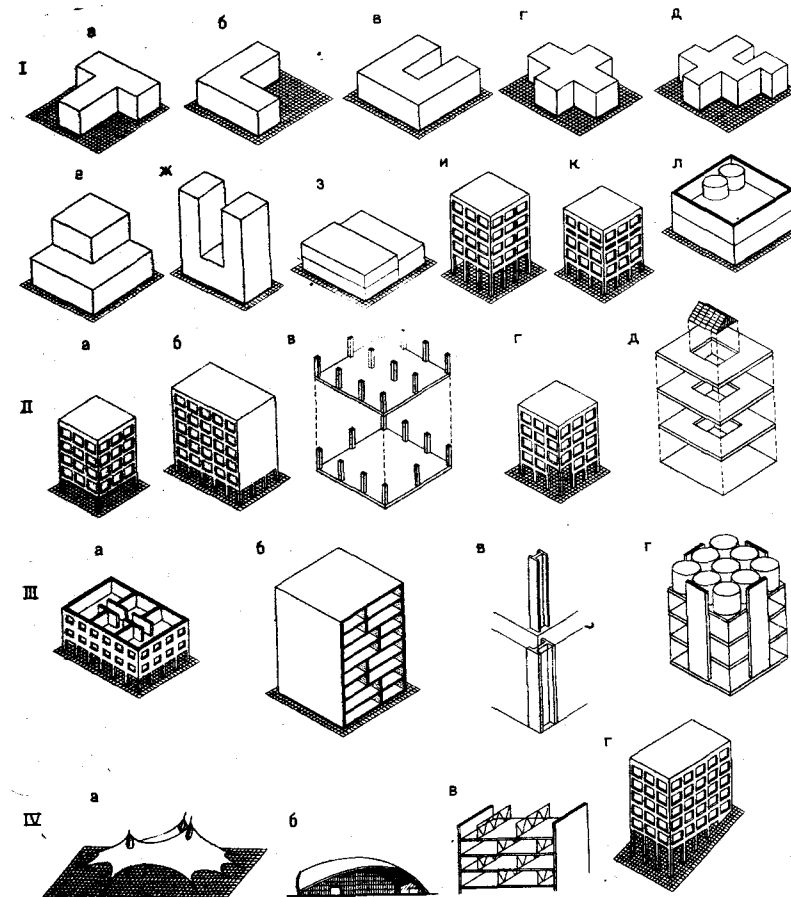


Рис. 1-2. Графическое изображение понятия "конструкции нерегулярной формы и рамные каркасы" (из Комментариев к нормам SEAOC "Рекомендации по расчету на горизонтальные нагрузки")

I — здания неправильной конфигурации в плане: а — Т-образный план; б — L-образный план; в — U-образный план; г — крестообразный план; д — другие сложные формы плана; е — уступы; ж — башни; з — разные уровни этажей; и — необычно высокий первый этаж; к — необычно низкий первый этаж; л — однородное архитектурно-планировочное решение снаружи, но неравномерное распределение массы, или наоборот

II — здания с резким изменением несущей способности при горизонтальных нагрузках; а — гибкие нижние уровни; б — большие проемы в вертикальных диафрагмах; в — преобладающая высота колонн; г — прерывистость балок; д — отверстия в горизонтальных диафрагмах

III — здания с резким изменением горизонтальной жесткости: а — диафрагмы в одних этажах, рамные каркасы — в других; б — несоосность вертикальных несущих элементов; в — резкие изменения размеров элементов; г — большая неравномерность распределения массы по высоте

IV — необычные или новые элементы конструкций: а — вантовые конструкции; б — оболочки; в — фермы, расположенные в зигзагообразном порядке; г — здания на склонах

учетом опыта японских специалистов) приступили к разработке норм на проектирование сейсмостойких конструкций. Важно указать, что этими нормами предусматривается расчет конструкций зданий, которые преимущественно строились в Калифорнии в то время, в особенности в Лос-Анджелесе и Сан-Франциско: зданий, имеющих каркас, выполненный из высокопрочной профильной стали с бетонным огнезащитным слоем, стеновым заполнением из кирпича и толстыми железобетонными перекрытиями. В большинстве случаев они имели правильную и симметричную форму в плане и считались надежными сейсмостойкими сооружениями. На ул. Маркет-стрит в Сан-Франциско по-прежнему стоят некоторые из таких домов, в которых после землетрясения 1906 г. не обнаружили каких-либо серьезных повреждений. Специалисты Калифорнии, подробно изучив параметры работы конструкций этих зданий, сформулировали следующие положения их расчета на воздействие сейсмических нагрузок: 1. конструктивные элементы рассчитываются на сравнительно небольшие величины горизонтальных сейсмических сил; 2. типы строительных материалов, методы расчета элементов и их соединений, а также требования в отношении симметрии и правильности формы должны выбираться в соответствии с относительно точными и жесткими правилами.

До начала 1960-х гг., когда большая часть объектов, возводимых в Калифорнии, почти не отличалась от зданий с жестким каркасом, учет этих аспектов был достаточным для расчета сейсмостойких конструкций. Однако за последние два десятилетия архитектурная форма зданий, наряду с используемыми методами строительства, существенно изменилась. Каркасные системы стали более открытыми, с неправильной формой в плане, массивные кирпичные перегородки и железобетонные перекрытия заменялись на сборные элементы заводской готовности, обладающие высокой гибкостью. Низкие величины расчетных сейсмических нагрузок, принятых для расчета конструкций по старым классическим методам, стали использовать при проектировании новых типов зданий и сооружений. В результате основная ошибка появилась по той причине, что новые здания не имели правильности форм, жесткости и резервов сейсмостойкости, необходимых для соответствия старым классическим низким расчетным параметрам.

Очень важно также понять основные принципы, заложенные в эти нормы, целью которых было обеспечение безопасности людей, а не уменьшение степени повреждения зданий. Главная задача заключалась в предотвращении разрушения самого здания. В случае сильных землетрясений требования норм считали выполненными, если, несмотря на существенные повреждения как конструктивных, так и не конструктивных элементов, здание не разрушилось.

Поэтому методы расчета конструкций на сейсмическую нагрузку допускают вероятность разрушения, а поскольку полное предотвращение разрушения нереально, цель нормативных документов заключается в обеспечении контроля степени разрушения. В общем случае, по той или иной конфигурации здания можно определить участок возможного разрушения, перераспределения или вероятного накопления повреждений, которые приведут к катастрофическому разрушению несущих элементов.

Уже упоминалось о тех трудностях, которые возникают при попытке включить в нормы факторы влияния конфигурации здания на его сейсмостойкость; и эту трудность не удается преодолеть при разработке новых усложненных норм расчета на сейсмические нагрузки [8], которые ведутся в настоящее время. Кроме того, очевидно, что простое соответствие

нормам без аналитического подхода к решению этой проблемы также не даст ожидаемого результата.

Случаи, когда расчет зданий осуществляется в соответствии с положениями, отличными от тех, которые находятся в основе норм по расчету конструкций на сейсмические нагрузки, должны быть правильно истолкованы. Общее понимание проблем усложнения конфигурации зданий не менее важно, чем аналитические выкладки. Большая часть информации, которой располагают специалисты сегодня, носит эмпирический характер: наиболее ранние наблюдения работы конструкций в условиях воздействия сейсмических сил проводились для зданий, выполненных из определенных типов материалов определенной конфигурации и на основе той или иной строительной технологии. Но такой подход создает дополнительную опасность для проектировщика, который, полагаясь целиком на нормативные расчетные положения, не всегда старается вникнуть в характер динамического воздействия окружающей среды и оценить соответствующую ответную реакцию здания.

Глава II. ДВИЖЕНИЕ ГРУНТА

Характер перемещений грунта

Описание, данное Самуэлем Клеменсом, который был свидетелем нескольких землетрясений в Калифорнии в 1860-х гг., наглядно подтверждает возможность точного представления различного характера перемещения грунта во время землетрясения наблюдателем, не имеющим специального образования в области геологии [1]: "... Я был свидетелем нескольких землетрясений здесь, в Калифорнии, все они были разные, одни возникали в виде сильного дрожания земли; другие в форме двух или трех внезапных толчков снизу; а третьи как-бы раскачивались из стороны в сторону или перекачивались под ногами, подобно морской волне..."

Если можно было бы во время землетрясения находиться неподвижно вблизи отмеченного места на поверхности земли, то со стороны хаотического перемещение по случайному пути напоминало бы полеты насекомого. В технической литературе это явление носит название "движение грунта"; грунт перемещается на максимальное расстояние, равное примерно 30,5 см, относительно своего стационарного исходного положения.

В 1887 г. профессор Секия на трехмерной проволочной диаграмме получил модель перемещения точки грунта в первые 20 с после начала землетрясения (рис. 2-1). За основу в этом эксперименте была принята сейсмограмма землетрясения в Японии 15 января 1887 г. Масштаб модели приблизительно в 12,5 больше, чем фактическое перемещение грунта. Действительное перемещение было около 0,8 см. Важно отчетливо представлять себе небольшую величину перемещения грунта и реакцию здания на это перемещение, которая вызывает значительные смещения конструкций, что в конечном итоге приводит к большим повреждениям и разрушению зданий или сооружений.

На рис. 2-2 представлена диаграмма, изображающая царапину на полу, оставленную кухонной плитой во время землетрясения в Лонг-Бич, 1933. Это еще один пример, подтверждающий типичную сложность движения задачи, вызываемого перемещением грунта. Однако следует заметить, что путь перемещения какого-либо предмета во время землетрясения не обязательно должен точно воспроизводить перемещение грунта, так как он не остается неподвижным в пространстве, в то время как грунт перемещается

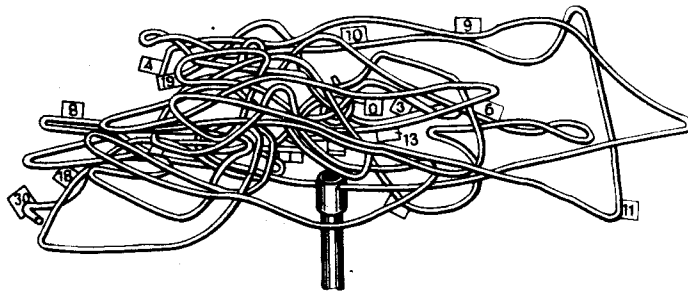


Рис. 2-1. Проволочная модель (разработанная профессором Секией) перемещений грунта при землетрясении, увеличенная в 12,5 раза

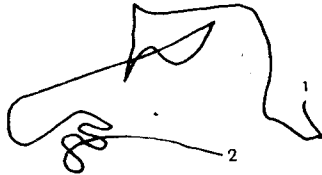


Рис. 2-2. Царапина, оставленная на полу кухонной плитой, землетрясение в Лонг-Бич, 1933
1 — начало; 2 — конец

под ним. Перемещение грунта обычно преобладает в одном общем направлении: вперед — назад (как это было в г. Сендай, 1978, или в г. Скопье, 1963) или происходит в форме одного сильного толчка (землетрясение в г. Агадире, 1960); однако это, к сожалению, предсказать невозможно.

Чарльз Дарвин находился в Чили во время землетрясения 1835 г. Он писал впоследствии, что повреждения зданий в г. Консепсьон (Чили) свидетельствовали о преобладающем перемещении грунта вдоль одной оси [2]. Консепсьон построен в традиционном испанском стиле, все улицы пересекаются под прямыми углами; одни тянутся с юго-запада и запада, другие с северо-запада и севера. Во время землетрясения стены зданий первого направления сохранились лучше, чем второго: большое количество кирпичных зданий разрушено в северо-восточном направлении. Дарвин был не первым, кто заметил преобладающее перемещение грунта вдоль одних, а не других осей, так как понимание этого явления относится к очень раннему периоду в истории человечества. В начале 1800-х гг. в Японии Джон Милл, европейский ученый, помогал разрабатывать основы последующего успешного изучения природы сейсмических явлений и нашел древний китайский сейсмоскоп, относящийся к 136 г., который демонстрирует возможность приложения инерционных сил в любом направлении [3]. Для выяснения места расположения очага землетрясения применялся сосуд, внутри которого помещался маятник, соединенный с восьмью подвижными рычагами с челюстями драконов, в которых был зажат шарик. При сейсмическом толчке рычаг, соответствующий направлению толчка, приходил в движение, открывая пасть дракона, из которой выпадал шарик, что позволяло легко определять направление движения грунта.

Землетрясение представляет собой результат скольжения вдоль плоскости сдвига, часто происходящее ниже уровня поверхности грунта. В геологии существует несколько методов определения плоскостей сдвига и их характеристик, которые указывают на возможность землетрясения, однако расчет степени вероятности и силы землетрясения по-прежнему относится к неизученной стороне вопроса. В геологии время исчисляется по особой шкале: для нее активный разлом тот, который может вызвать землетрясение, т.е. разлом, сдвигающийся в последние 10 тыс. лет. При изу-

чении разломов грунта для целей строительства и эксплуатации ядерных установок этот период принимается равным 500 тыс. лет.

Скольжение грунта вдоль линии разлома на большой глубине от поверхности грунта может в конечном итоге вызвать "сдвиг поверхности", трещины или расщелины, являющиеся визуальным доказательством возможного землетрясения. В результате сдвига поверхности могут наблюдаться большие перемещения грунта — иногда на расстояние в несколько метров, при этом здания, расположенные на территории поверхности разлома, почти всегда получают очень серьезные повреждения, независимо от качества проектирования конструкций. Однако вероятность расположения здания по линии разлома поверхности сравнительно невелика по сравнению с вероятностью выбора такого местоположения здания; при котором влияние перемещения грунта, вызываемое скольжением при сдвиге, может оказать разрушающее воздействие.

Эпицентр землетрясения представляет собой точку на поверхности земли, которая расположена непосредственно над местом начала разлома с первичным высвобождением энергии (рис. 2-3). Так как плоскость разлома не обязательно должна быть вертикальной и, кроме того, разлом поверхности может распространяться на большое расстояние, сила толчков в самом эпицентре может не быть максимальной, хотя, конечно, территория эпицентра будет одной из наиболее уязвимых во время землетрясения.

Движения поверхности земли, передаваемые основанию здания, не имеют упорядоченной формы, но иногда осуществляются в определенном направлении. Сейсмическая волна, вызывающая движение грунта, может быть четырех типов (рис. 2-4). Волны первого типа — продольные, являются первичными, они еще называются Р-волны, максимальная скорость их перемещения равна 8 км/с; они достигают цели первыми. Форма таких волн подобна звуковой волне, и при распространении они толкают и тянут за собой грунт. Поперечные волны второго типа или S-волны сдвигают грунт под прямым углом к направлению своего пробега. К третьему типу относятся волны, идущие по поверхности, называемые L-волны; их характер подобен характеру волн второго типа (S), без вертикального перемещения; они сдвигают грунт из стороны в сторону по поверхности под прямыми углами к направлению распространения, вызывая горизонтальные колебания. Волны четвертого типа также перемещаются по поверхности, называются они волнами Релея; при их перемещении нарушенный материал передвигается как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости в направлении перемещения. При сравнении скорости перемещения по поверхности волн двух последних типов скорость L-волн больше.

Амплитуда или объем перемещаемого грунта во время землетрясения может увеличиваться или уменьшаться, а частота колебаний изменяется в зависимости от слоистости строения геологического профиля, через который проходят волны, и топографических условий местности. Так, относительные увеличения указанных параметров в условиях наносных почв или илистых грунтов в бухте Сан-Франциско по сравнению с гранитными породами составляют $4 \div 9$ раз соответственно. Поэтому несмотря на то, что землетрясение является физическим явлением и его общий характер известен, взаимодействие его элементов создает сейсмический эффект, который является случайным, чрезвычайно сложным и в известной мере непредсказуемым.

Схематически характер перемещения грунта, которое оказывает негативное воздействие на целостность здания, можно представить следующим образом. Волны, создающие перемещение, начинаются от линии разрыва по разлому и затем достигают здание, находящееся на пути их движения.

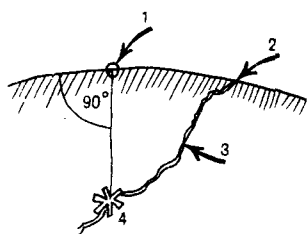
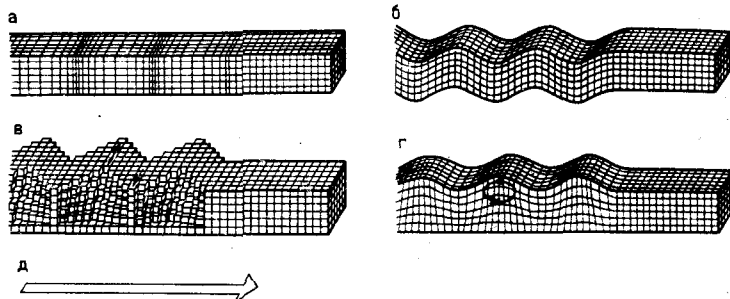


Рис. 2-3. Определения, используемые для описания землетрясения
1 — эпицентр; 2 — поверхность разлома; 3 — разлом на глубине; 4 — фокус или гипоцентр (точка начала высвобождения энергии)

Рис. 2-4. Четыре типа сейсмических волн, создаваемых разрывом по разлому
а — волны Р; б — волны S; в — волны L; г — волны Релея; д — направление перемещения волны



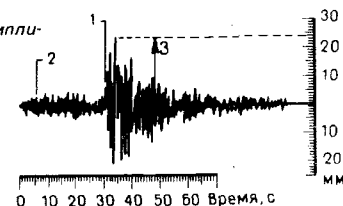
Природа волн и их взаимодействие таковы, что они перемещаются беспорядочно: в основном — горизонтально, часто преимущественно в одном направлении, но иногда они значительны и в вертикальной плоскости. Часто горизонтальные смещения грунта небольшие, обычно они измеряются в долях см, но иногда, в экстремальных ситуациях, перемещения могут достигать 30, 48 см. Такие небольшие смещения грунта следует отличать от разрыва поверхности по разлому, при котором перемещение грунта может достигать до 6,1 м.

Другой тип перемещений грунта возникает при нарушении геологической структуры. Разжижение грунта — это также его состояние, при котором он временно переходит из твердой фазы в жидкую. Это относится к рыхлым гранулированным и песчаным грунтам при наличии воды, что характерно для строительных площадок, которые расположены вблизи рек, озер и заливов. При решении инженерной задачи по снижению влияния разжижения необходимо уделять особое внимание вопросу проектирования фундаментов и стабилизации самого грунта. Однако в связи с большими затратами, которые необходимы для осуществления этого мероприятия, и значительного количества неопределенностей, которые возникают в процессе расчета фундаментов, предназначенных для таких условий, отказ от возведения зданий на таких грунтах будет представлять наиболее целесообразное решение данной проблемы.

Измерение перемещений грунта

Перемещения грунта регистрируются с помощью сейсмографа — инструмента, который был изобретен в конце прошлого столетия. Древний китайский сейсмоскоп показывал только направление распространения землетрясения, без регистрации процесса движений. Сейсмограф, записывавший перемещения во времени, имел маятник, свободно подвешенный к каркасу,

Рис. 2-5. Акселерограмма
1 — волна S; 2 — волна P; 3 — максимальная амплитуда волны



опирающемуся на грунт. Многие видели сейсмографы среди экспонатов технических музеев.

В конструкциях современных сейсмографов вместо перемещения маятника используется запись электронных сигналов на ленту. Сейсмографы сильных движений в основном предназначены для регистрации близких к источнику перемещений грунта вблизи очага; получаемая с их помощью запись ускорений грунта называется акселерограммой. Эти приборы располагают так, чтобы запись перемещений можно было осуществлять вдоль двух горизонтальных осей и одной вертикальной. Наибольшее значение имеет измерение трех следующих параметров: ускорения, скорости и смещения. Ускорение представляет степень изменения скорости; при умножении его на величину массы тела получают значение силы инерции, которая передается этому телу (сооружению). Ускорение обычно измеряется в долях g ($g = 980 \text{ см/с}^2$, это ускорение свободно падающего тела, вызванного земным притяжением). Скорость измеряется в сантиметрах в секунду и характеризует степень перемещения грунта за единицу времени. Смещение измеряется в сантиметрах и показывает расстояние, пройденное частицей от исходного места.

Акселерограмма дает картину колебаний грунта; точная интерпретация акселерограммы требует знаний и большого практического опыта, однако основные принципы расшифровки показаны на рис. 2-5. Здесь перемещение начинается с приходом волны P, которая сменяется волной S. Интервал времени между концом первой и началом второй волны позволяет определить расстояние от инструмента до фокуса или гипоцентра землетрясения. Продолжительность интенсивного перемещения записывается достаточно четко, благодаря чему может непосредственно измеряться максимальная амплитуда волны. Если прибор записывает ускорение, то значения скорости и смещения получают путем интегрирования ускорений соответственно один и два раза.

Уровень ускорения, обычно достаточный для нанесения повреждения ветхим строениям, равен 0,1 g . Нижний предел ускорения, воспринимаемый людьми, установлен в процессе наблюдений и экспериментов и приблизительно равен 0,001 g , или 1 см/с^2 . Большинство людей при ускорении в диапазоне от 0,1 до 0,2 g чувствуют слабость, затруднения при передвижении, у многих появляются болезненные симптомы. Ускорение, величина которого приближается к 0,5 g , считается очень высоким. На верхних этажах здания максимальные ускорения будут выше, чем в основании. Ускорение может достигать 1 g , т. е. 100% ускорения силы тяжести. Измерение ускорения необходимо для определения возможной разрушающей силы землетрясения, действующей на здание или сооружение. Еще более важный параметр представляет измеряемая наряду с ускорением продолжительность землетрясения. Значимость этого фактора можно оценить интуитивно, поскольку зданию иногда труднее выдержать несколько циклов, сопровождающихся



Рис. 2-6. Землетрясение в Эль-Сентро, 1940
 а — ускорение грунта; б — скорость перемещения грунта; в — смещение грунта

умеренным ускорением, чем один пиковый цикл очень высокой силы. Другим не менее важным параметром перемещения грунта, который используется при проектировании сейсмостойких конструкций, является частота колебаний, о которой будет сказано ниже.

Продолжительность землетрясения связана с длиной образующегося разлома и обычно не превышает нескольких секунд. Например, землетрясение в Сан-Фернандо, 1971, продолжалось чуть больше 10 с, вызвав, однако, большие разрушения. В Сан-Франциско, 1906, сильные толчки продолжались всего 45 с; землетрясение на Аляске, 1964, продолжалось немногим более 3 мин. Запись землетрясения в Эль-Сентро, Калифорния, 1940, которая в течение многих лет являлась одним из лучших регистрационных документов, показывает, что интенсивное перемещение продолжалось только 25 с, а основные ускорения всего лишь 5 с (рис. 2-6). Во время этого землетрясения максимальное зарегистрированное ускорение равно 0,32 g, максимальная скорость перемещения грунта — 35 см/с, а максимальное смещение грунта — 23,6 см. Сравнительные акселерограммы для ряда зарегистрированных землетрясений показаны на рис. 2-7.

При проектировании зданий и сооружений необходимо располагать определенными параметрами, измеряемыми во время землетрясений. Требуется четкая система сравнения данных одного землетрясения с другим, используемая также для оценки характеристик вероятных толчков будущего землетрясения и соотношения их с параметрами известных землетрясений; это дает возможность по аналогии определить прогнозируемые величины сейсмических воздействий и степень ущерба. В настоящее время в распоряжении проектировщиков имеются системы измерения двух параметров землетрясений; однако с точки зрения расчета сейсмостойких конструкций ни одна из них не является достаточно удовлетворительной. Первый параметр — магнитуда землетрясения: часто определяется по шкале, разработанной в 1935 г. профессором Калифорнийского технологического института Чарльзом Рихтером. Соответствующий термин, определяющий магнитуду землетрясения, взят по аналогии с абсолютной шкалой, используемой в астрономии для определения яркости звезд, независимо от местоположения обсерватории. В основу шкалы Рихтера положена максимальная амплитуда сейсмических волн, зарегистрированная стандартным сейсмографом, установленным на расстоянии 100 км от эпицентра землетрясения. Следует заметить, что по этой шкале нельзя определить продолжительность интенсивного перемещения, или частоту колебаний, которые оказывают существенное влияние на степень наносимого повреждения.

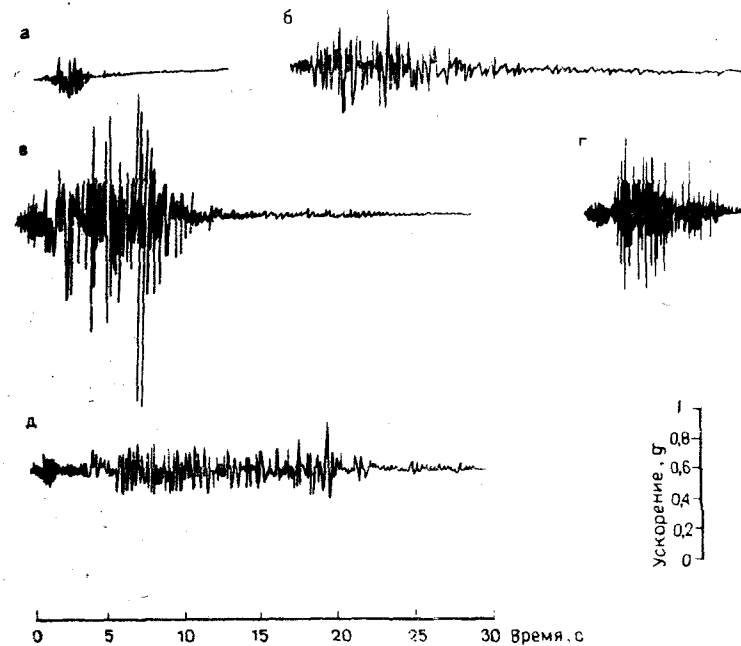


Рис. 2-7. Сравнение акселерограмм для нескольких землетрясений. Масштаб одинаковый
 М — магнитуда; а — Хелена, 1935, М6; б — Манагуа, 1972, М 6,2; в — Сан-Фернандо, 1971, М 6,4; г — Койна, 1967, М 6,5; д — Олимпиа, 1949, М 7,1

Поскольку не всегда возможно соблюдение расстояния установки приборов от эпицентра землетрясения в 100 км, Рихтером разработан метод, допускающий регистрацию волны уменьшающейся амплитуды с увеличением расстояния (подобно тому, как с увеличением расстояния наблюдается тускнение яркости звезд в астрономии). Графически этот метод показан на рис. 2-8. Для определения по шкале Рихтера магнитуды при различных расстояниях от эпицентра следует на диаграмме соединить: А — максимальную амплитуду, зарегистрированную стандартным сейсмографом, и В — расстояние от сейсмографа до эпицентра землетрясения (или различия во времени прибытия волн Р и S), прямой линией С и прочесть полученную магнитуду на центральной шкале. Так как сила землетрясения может быть совершенно различной, амплитуды волн, измеренные с помощью сейсмографа для определения магнитуд, представляются с использованием логарифмического масштаба. Поэтому увеличение на единицу измеренной магнитуды означает десятикратное увеличение амплитуды сейсмической волны. Увеличение энергии, приходящееся на одну единицу увеличения магнитуды, в соответствии со шкалой составляет приблизительно 31 раз. Таким образом, амплитуда сейсмической волны при землетрясении с магнитудой 8,3 в 10^4 раз больше, чем при землетрясении, с магнитудой 4,3; но высвобождаемая энергия в первом случае больше приблизительно в 10^6 раз. Фактическая энергия, высвобождаемая во время землетрясения, не определяет полностью

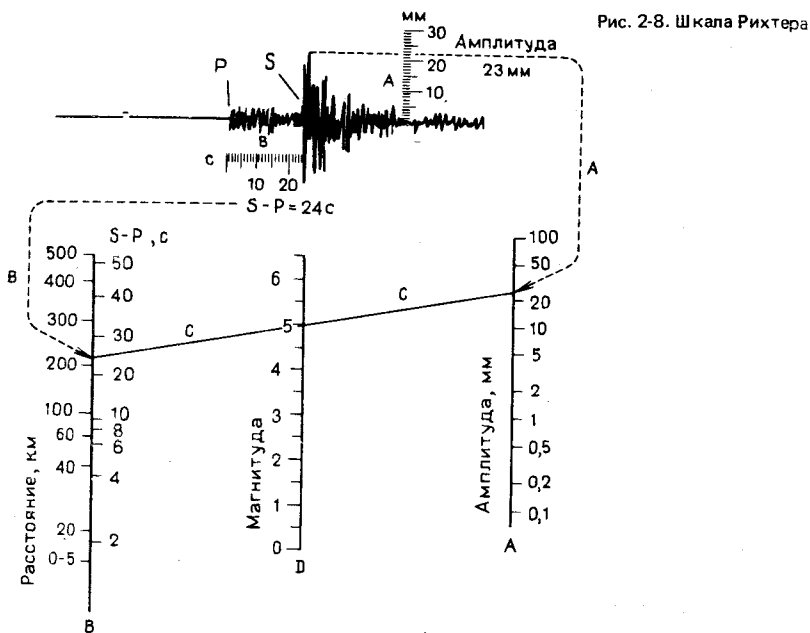


Рис. 2-8. Шкала Рихтера

ответную реакцию здания; хотя оценка ее уровня полезна. Подсчитано, что полная энергия, высвобождаемая во время землетрясений, ежегодно составляет от 10^{25} до 10^{26} эрг, т.е. приблизительно эквивалентна полному годовому потреблению энергии всеми сферами экономики США.

Шкала Рихтера не имеет максимального фиксированного верхнего предела для измерения магнитуды землетрясения; магнитуда 9 — это наибольшая величина, зарегистрированная за все время наблюдений с начала ее применения. Магнитуда 2 характеризует землетрясение наименьшей силы, воспринимаемое человеком; магнитуда 7 и выше характеризует разрушительное землетрясение. Шкала Рихтера позволяет проводить объективное сравнение силы различных землетрясений; однако она не дает информацию, достаточную для оценки сейсмического воздействия в конкретном месте. Кроме того, ее иногда затруднительно использовать для оценки больших землетрясений, охватывающих значительный географический район. Два землетрясения могут иметь одинаковую магнитуду, но различные другие показатели. Землетрясение в Сан-Франциско, 1906, характеризуется разрывом породы на меньшей длине и глубине — только 4% зоны по сравнению с землетрясением в Чили, 1960.

Для получения информации, непосредственно относящейся к локальному сейсмическому воздействию, используется несколько типов шкал интенсивности. В США широко применяется модифицированная шкала Меркалли (MM), первоначально предложенная в Европе в 1902 г. с последующей модификацией, осуществленной в 1931 г. Вудом и Ньюэном в целях соответствия условиям производства строительных работ в Калифорнии и других районах Северной Америки. За основу шкалы MM приняты результаты субъективной оценки сейсмических воздействий на конструкции зданий,

состояние грунта и ощущения людей. Поскольку эти воздействия могут быть различными в зависимости от расстояния до эпицентра, характера грунта и других параметров, одному землетрясению может соответствовать несколько значений MM.

Сокращенная модифицированная шкала Меркалли (MM), вариант 1956 г. (разработан Рихтером)

- I. Не ощущается, период колебаний велик.
- II. Ощущается людьми на верхних этажах.
- III. Чувствуется внутри помещений. Колебания подобны тем, которые наблюдаются при прохождении легких грузовых автомобилей. Подвешенные предметы качаются. Не всегда распознается как землетрясение.
- IV. Подвешенные предметы качаются. Колебания подобны тем, которые наблюдаются при прохождении тяжелых автомобилей; ощущение толчков подобно тем, которые бывают при ударе о стенку тяжелых мячей. Стоящие автомобили сильно раскачиваются. Дребезжат оконные стекла, посуда, двери. Стаканы звенят. Глиняная или фаянсовая посуда ударяется друг о друга. На верхних уровнях скрипят деревянные стены и рамы.
- V. Ощущается вне помещения; определяется направления перемещения сейсмической волны. Спящие люди пробуждаются. Жидкость в сосудах колеблется, частично проливается. Перемещаются небольшие неустойчивые предметы. Двери качаются, закрываются, открываются. Маятниковые часы останавливаются.
- VI. Чувствуется всеми людьми. Люди испуганы и выбегают из помещений, передвигаются без чувства устойчивости. Окна, фаянсовая и стеклянная посуда разбиваются. Безделушки, книги и другие предметы падают с полок. Картины падают со стен. Мебель может сдвигаться или опрокидываться. В слабой штукатурке и непрочной кирпичной кладке появляются трещины. Небольшие колокола начинают звонить. Деревья и кусты сильно колышутся и шумят.
- VII. Людям трудно устоять на ногах. Замечается водителями транспорта. Подвешенные предметы начинают дрожать. Ломается мебель. Повреждения непрочной кирпичной кладки, включая трещины. Непрочные дымовые трубы разрушаются. Падают штукатурка, плохо закрепленные кирпичи, камни, плитка, карнизы, незакрепленные парапеты и детали архитектурных орнаментов. Появление трещин в кирпичной кладке. Появление волн в прудах и водоемах, вода покрывается грязной пеной. Небольшие оползни по песчаным и гравийным берегам. Большие колокола начинают звонить. Повреждение бетонных ирригационных каналов.
- VIII. Повреждение рулевого управления автомобилей. Повреждения обычной кирпичной кладки и частичное разрушение. Обвал штукатурки и некоторых кирпичных стен. Кручение и падение дымовых и заводских труб, памятников, башен, резервуаров, приподнятых над землей. Дома каркасной конструкции перемещаются на фундаментах, плохо закрепленные панели стен отделяются от элементов каркасов. Обламываются ветки деревьев. Изменение уровня и температуры воды в колодцах и источниках. Трещины во влажном грунте и на крутых склонах.
- IX. Общая паника. Разрушение кирпичной кладки, иногда полностью; повреждение фундаментов. Каркасные конструкции, незаанкеренные, сдвигаются с фундаментов и перемещаются. Серьезные повреждения конструкций резервуаров. Разрушение подземных трубопроводов. Заметные трещины

в грунте. В зонах с аллювиальными почвами на поверхность извергаются песок и грязь, образуются сейсмические фонтаны и песчаные кратеры.

Х. Большинство кирпичных и каркасных сооружений разрушено вместе с фундаментами. Разрушены некоторые прочные деревянные сооружения и мосты. Серьезные повреждения дамб, плотин, набережных. Большие оползни. Вода выходит из берегов каналов, рек, озер и др. Песок и грязь покрывают поверхности пляжей и плоских участков земли. Рельсы немного искривляются.

XI. Значительные искривления рельсов. Подземные коммуникации полностью выходят из строя.

XII. Почти полное разрушение. Перемещены большие массы скальной породы. Изменение топографии местности. Предметы подбрасываются в воздух.

В соответствии с объяснениями, данными по этой шкале Рихтером [4], магнитуду можно сравнить с выходной мощностью радиостанции, измеряемой в киловаттах. Локальная интенсивность по шкале Меркалли, следовательно, соответствует мощности сигналов приемного устройства в данной местности или, точнее, качеству сигналов. Интенсивность, подобно мощности сигналов, обычно уменьшается по мере увеличения расстояния от источника; кроме того, ее величина зависит от условий данной местности и траектории перемещения волн от источника возникновения до объекта.

Показания шкалы *MM* находятся в приблизительном соотношении с ускорением перемещения грунта. Например, значения по шкале *MM* в 7 баллов соответствуют величине пикового ускорения в диапазоне между 0,1 и 0,29 g. Другие подобные 12-балльные шкалы используются в Китае и СССР. В Японии применяется 8-балльная шкала возможно в связи с тем, что характеристики некоторых граф 12-балльной шкалы не ясны.

Таблица 2-1

ПРИБЛИЗИТЕЛЬНОЕ СООТВЕТСТВИЕ ШКАЛ ИНТЕНСИВНОСТИ

США	СССР	Япония	США	СССР	Япония
1	1	0	7	7	5
2	2	1	8	8	
3	3	2	9	9	6
4	4	3	10	10	
5	5	4	11	11	7
6	6		12	12	

По мнению специалистов, в существующей системе измерения имеется один парадокс. Магнитуда, определение которой основано на объективных показаниях используемых приборов и математическом анализе, не включает информацию по локальным сейсмическим толчкам на поверхности земли, которая представляет наибольший интерес для проектировщиков. Шкала *MM* с представлением баллов в римских цифрах непосредственно ориентирована на оценки сейсмического воздействия, оказываемого на состояние зданий и сооружений, и, в свою очередь, зависит от методики субъективных описаний; к источникам информации в этом случае относятся результаты

наблюдений, отчеты об обнаруженных повреждениях и газетные статьи. К недостаткам шкалы *MM*, кроме субъективности оценки по ней, следует отнести и ее несвоевременность в части применяемых строительных материалов: она уделяет основное внимание элементам, выполненным в кирпиче, в лов: она уделяет многие элементы зданий и сооружений, широко используемые в настоящее время, такие, как подвесные потолки, навесные стеклянные панели стен и сборные железобетонные конструкции.

Глава III. РЕАКЦИЯ ЗДАНИЯ НА ДВИЖЕНИЕ ГРУНТА

Силы инерции

Повреждение здания во время перемещения грунта вызывается не динамическим воздействием в виде удара и не за счет приложения внешних нагрузок, таких, как ветровые, а при действии сил инерции, создаваемых колебаниями массы здания. Масса, размеры в плане и форма здания, т.е. конфигурация, частично определяют характер этих сил и степень восприятия их несущей системой здания. Величина сил инерции определяется, согласно закону Ньютона, произведением массы на ускорение. Ускорение представляет изменение скорости во времени и является функцией характера землетрясения; масса — параметр, непосредственно относящийся к зданию. Поскольку рассматриваемые силы являются инерционными, увеличение массы обычно приводит к росту этих сил; вот почему использование конструкций из легкого бетона при проектировании сейсмостойких сооружений можно считать одним из целесообразных методов решения этой проблемы.

Другое отрицательное воздействие массы здания (кроме увеличения горизонтальных нагрузок) заключается в том, что разрушение вертикальных элементов, таких, как колонны и стеновые элементы, может происходить в результате потери устойчивости, которой предшествует передача силы тяжести на элемент конструкции, отклоненный или сдвинутый от линии отвеса при действии горизонтальной нагрузки. Это явление известно как эффект продольного изгиба в виде момента *P-e* или *P-Δ* (рис. 3-1). Чем больше вертикальная сила, тем больше создаваемый момент, который равен произведению силы *P* на эксцентриситет *e* (или Δ). Напряжения, вызванные эффектом *P-e*, возникают одновременно с появлением других напряжений, вызываемых воздействием сейсмических нагрузок и силой тяжести. В некоторых случаях напряжения могут накладываться друг на друга. Несмотря на то что в соответствии с требованиями строительных норм расчета на нагрузку от собственного веса, проектируемые конструкции обычно имеют достаточно высокий запас прочности на действие вертикальных нагрузок, заложенный в расчет коэффициент запаса прочности не всегда может перекрыть влияние дополнительного продольного изгиба в колоннах.

Во время землетрясения толчки, передаваемые на грунт, распространяются в различных направлениях, включая перемещение вниз и вверх. В строительных нормах этим вертикальным составляющим сейсмических нагрузок большого внимания не уделяется, хотя их величина может составлять 2/3 от горизонтальных нагрузок, и поэтому понятия "расчет на сейсмическую нагрузку" и "расчет на действие горизонтальных нагрузок" фактически не являются идентичными.

Почти всегда разрушение здания происходит за счет действия вертикальных нагрузок при одновременном воздействии сейсмической силы, поэтому обычно происходит обвал или обрушение здания вниз, а не опрокидывание.

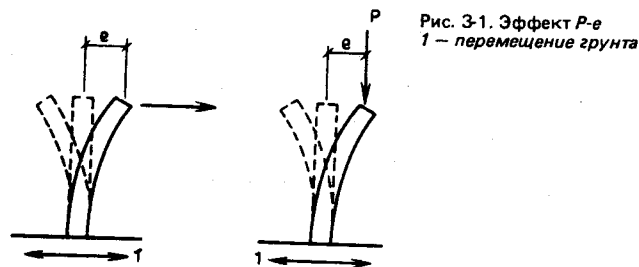


Рис. 3-1. Эффект P-e
1 — перемещение грунта

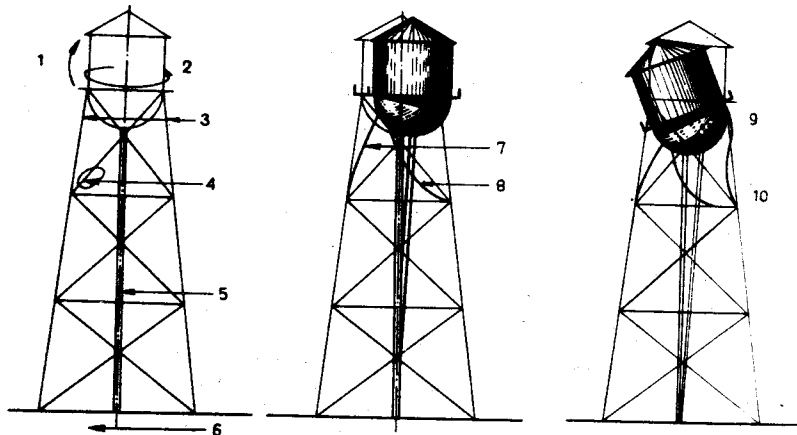


Рис. 3-2. Последовательность разрушения приподнятого над уровнем грунта резервуара для воды, землетрясение Керн-Каунти, 1952, вертикальные разрезы
1 — некоторый опрокидывающий момент при расположении центра массы воды выше площадки; 2 — кручение из-за отсутствия уравновешенных несущих элементов; 3 — две стойки вблизи панели при разрушении подкосов изгибаются относительно одной оси; 4 — разрушение этого подкоса или его концевых соединений; 5 — диаметр ствола равен 60,96 см; 6 — направление перемещения грунта после разрушения подкоса; 7 — разрушение стоек, возможно по причине изгиба; 8 — провисающий стержень; 9 — резервуар опрокидывается относительно ствола по направлению к первой из двух стоек; 10 — ствол работает по типу колонн и продвигает дно резервуара

Колонны и стеновые элементы при воздействии усилий от горизонтальных нагрузок теряют свою прочность, а затем под действием силы тяжести поврежденная и ослабленная конструкция обрушивается. Штейнбругге и Моран [1] указывают, что во время землетрясений в Керн-Каунти даже тяжелые баки с водой, установленные на высоких башнях, рухнули вниз, а не опрокинулись (рис. 3-2).

Период колебаний здания и резонанс

Если, пытаясь сломать флагшток с тяжелым грузом наверху, ударять по его верхней части, то нетрудно научиться синхронизировать удары с собственными (собственными) колебаниями флагштока вперед и назад, ко-

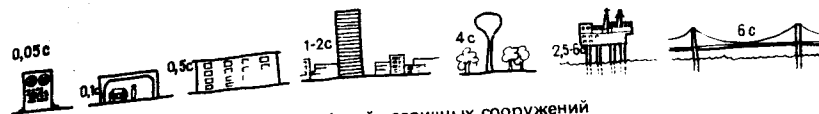


Рис. 3-3. Основные периоды колебаний различных сооружений

торые будут происходить с основным (фундаментальным) периодом. Если полный цикл колебаний вперед и назад отклоненного и отпущенного флагштока происходит за 1 с, то это означает, что основной период его колебаний равен 1 с. Подобно приведенному примеру с флагштоком перемещение грунта передает колебательные движения зданию или сооружению. Значение периода колебаний грунта, которое, подобно колебанию основания флагштока, производимого, например, рукой, дает возможность оценки периода собственных колебаний сооружения. При совпадении колебаний грунта и собственных колебаний сооружения амплитуда последнего существенно увеличивается, и, когда она достигает максимума, наступает состояние резонанса при значительном росте динамических нагрузок. Основной период соответственных колебаний может составить: 0,05 с для оборудования на жестком фундаменте; 0,1 с — для одноэтажных зданий; 0,5 с — для зданий высотой до 5 этажей; и 1–2 с для зданий высотой от 10 до 20 этажей. Основной период собственных колебаний водонапорной башни на одной опоре может составлять 4 с; плавучих буровых установок — от 2,5 до 6 с; больших висячих мостов — около 6 с (рис. 3-3).

Период собственных колебаний грунта обычно находится в диапазоне от 0,5 до 1 с, в результате чего фундаментальные периоды собственных колебаний здания и грунта могут совпадать. Поэтому существует большая вероятность того, что в здании может возникнуть состояние частичного резонанса, называемое квазирезонанс. Исходя из этого, при разработке основных концепций проектирования сейсмостойких конструкций рекомендуется определение периодов собственных колебаний не только строящегося здания, но и оценка периодов собственных колебаний грунта в районе строительной площадки, что необходимо для определения вероятности возникновения квазирезонанса. В случае наличия этой вероятности, следует изменить характеристики периодов собственных колебаний здания (так как характеристики грунта строительной площадки являются стабильными величинами) способами, которые будут описаны в последующих главах.

Периоды собственных колебаний грунтов различных типов определяют методами, основанными главным образом на опыте, полученном при изучении записей, сделанных приборами во время предыдущих землетрясений, воздействовавших на здания и сооружения, расположенные на грунтах, имеющих подобные или предположительно подобные характеристики. Результаты изучения обобщаются в виде так называемого спектра характеристик, который наглядно иллюстрирует диапазон ожидаемых периодов колебаний грунта выбранной строительной площадки.

Принцип построения спектра характеристик, разработанный в 1931 г. М. Био, заключается в следующем: на рис. 3-4 показаны маятники консольного типа (подобно ранее рассмотренным флагштокам), период собственных колебаний которых увеличивается слева направо. Если представить, что эти маятники прикреплены к подвижному основанию, которое интенсивно перемещается с периодами сейсмических колебаний, записанными на сейсмографе, можно зарегистрировать максимальные реактивные характеристики каждого маятника, т.е. период и, следовательно, частоту, при которой период колебаний каждого маятника будет отвечать максимальной ампли-

диапазоне, что и частота колебаний грунта, и квазирезонанс, возникший в результате этого, способствовали появлению волн большой амплитуды" [3].

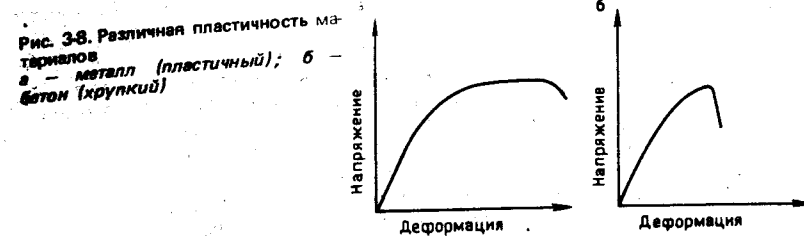
Еще один принцип расчета сейсмостойких зданий относится к явлению затухания колебаний, которое оказывает существенное влияние на динамические характеристики зданий и их реакцию при воздействии сейсмических сил при колебаниях основания.

Затухание колебаний

Если реакция здания в ответ на смещение основания сопровождается появлением резонанса, то его ускорения увеличиваются, подобным же образом некоторые типы грунтов могут усилить сейсмическое воздействие. Увеличение амплитуды может достигать очень большой величины: при колебаниях маятника оно иногда возрастает до пятидесяти раз и может трансформироваться в возникновение катастрофических нагрузок. В зданиях и сооружениях происходит поглощение колебаний при возбуждении колебательных движений, они стремятся возвратиться в исходное положение. Степень затухания колебаний в зданиях зависит от типа соединений основных конструктивных элементов, типа несущих деталей и вида строительных материалов. Критическим затуханием называется затухание, при котором отсутствует проявление колебаний — это, например, маятник, который при толкании возвращается в центр. Величина затухания обычно измеряется как процент от критического затухания. Такое определение следует считать условным, поскольку пока еще не существует строгого метода в теории затухания, а имеющиеся эмпирические зависимости описывают только количественные характеристики этого явления. Обычно принимают модифицированный спектр колебаний грунта при коэффициенте затухания порядка 2–15%, при этом в расчетах наиболее часто используются меньшие значения. С учетом затухания колебаний, общая форма кривой колебаний остается такой же, как и без учета затухания, но при существенном уменьшении значений реакции. Несмотря на то что теоретически коэффициент затухания не является постоянным, в практике расчета его принимают обычно постоянным.

В строительных нормах, действующих в настоящее время в США, отдается предпочтение гибким конструктивным решениям зданий (с большими периодами собственных колебаний), что дает возможность использовать более низкие значения расчетных коэффициентов. Однако значительные перемещения таких конструкций означают, что их несущие элементы могут подвергаться существенным повреждениям. Это положение не является новым: во время землетрясения в Токио, 1923, в зданиях Йисен и Маруночи с навесными стеновыми панелями и металлическим каркасом наиболее сильно пострадали несущие элементы, что впоследствии потребовало существенных затрат на их восстановление. С другой стороны, Японский промышленный банк, театр Кабуки и здание Джитсугуо (проекты д-ра Тачу Найто) с жесткими каркасами, усиленными поперечными диафрагмами и рамными связями, почти совсем не были повреждены [4].

Глен Берг пишет по этому поводу [5]: "В современных разработках нормативной документации существует один удивительный парадокс. Большинство специалистов в области проектирования сейсмостойких конструкций соглашались с тем, что д-р Найто был прав, когда пятьдесят лет назад выбрал для своих зданий жесткую конструктивную систему, а не гибкую. Многолетний опыт неоднократно подтверждал правильность этого решения. Несмотря на то что правильный расчет и проектирование как жестких сис-



тем, так и гибких обеспечивают достаточную надежность их эксплуатации, последние наиболее чувствительны к повреждениям, которые могут вызывать большие экономические убытки. Однако положения нормативных документов настойчиво рекомендуют использование гибких конструкций. . . Возможно в этом есть рациональное зерно с технической точки зрения, но что касается экономической и социальной, то этот вопрос по-прежнему остается нерешенным".

Пластичность

Даже в случае отсутствия резонанса и достаточного затухания колебаний в здании, анализ работы конструкций в условиях воздействия сейсмических нагрузок показывает, что возникающие усилия значительно превышают те величины, которые в соответствии с рекомендациями строительных норм применяются в качестве расчетных. На основе нормативного метода эквивалентных статических нагрузок величина расчетной горизонтальной силы принимается равной 5–20% массы здания для зон высокой сейсмической активности, а теоретическое значение расчетного ускорения равно 5–20% ускорения силы тяжести (0,05–0,2 g). В реальных условиях во время землетрясений фактические ускорения имеют много большие значения по сравнению с этими, а обеспечение целостности возведенных сооружений в таких условиях можно объяснить частично за счет проявления пластичности. Это свойство определенных материалов, в частности металла, проявляется в том, что его разрушение наступает только после возникновения больших неупругих деформаций, при которых материал после снятия нагрузки не возвращается в исходное состояние. Хрупкие материалы, такие, как бетон, разрушаются внезапно при малом значении деформаций (рис. 3-8). Следует заметить, что стальная арматура в бетоне способствует проявлению в составном материале — железобетоне значительной вязкости, когда в процессе деформирования происходит поглощение энергии, отодвигающее полное разрушение бетона.

Пластичность и несущая способность материала — два тесно связанных между собой свойства; после достижения предела упругости (точка, соответствующая началу накопления остаточных деформаций при дальнейшем приложении нагрузки), пластичные материалы еще в течение некоторого времени могут воспринимать прилагаемую нагрузку до полного разрушения. На пластичность материала также оказывают влияние размеры элементов, условия заделки и соединительные детали. Резервная несущая способность конструкции, т.е. свойство сопротивляться перегрузкам, зависит от пластичности составляющих элементов. Единственной альтернативой пластичности конструкции является развитие таких сечений, когда при перегрузках упругость материала отдельных элементов не превысит предельного значения.

Кручение

Центр массы или центр тяжести тела находится в точке, где происходит уравновешивание всех прилагаемых сил без какого-либо вращения. При равномерно распределенной массе тела достигается совпадение геометрического центра с центром тяжести. Неоднородное распределение массы приводит к расположению центра тяжести на некотором расстоянии от геометрического центра. Поскольку притяжение тела за счет действия силы тяжести направлено к центру земли (т.е. вниз), противоположная по знаку реактивная сила направлена вверх и проходит через центр тяжести, что обеспечивает равновесие физического тела без возникновения момента.

При ускорении частиц тела в горизонтальном направлении за счет действия сил инерции во время землетрясения применяются те же принципы равновесия. Землетрясения создают силы инерции, которые можно сравнить с неорганизованным, пульсирующим эквивалентом горизонтальной составляющей ускорения силы тяжести: каждая частица тела получает ускорение в поперечном направлении (иногда значительное и в вертикальном). При равномерном распределении массы по плоскости перекрытия, результирующее усилие при приложении горизонтальной ускорения всех частиц тела проходит через центр перекрытия. Если равнодействующая реактивных сил за счет включения в работу стеновых блоков или каркаса проходит через геометрический центр перекрытия, где с противоположным знаком приложена результирующая прилагаемых нагрузок, то сохраняется динамическое равновесие. Если это условие не выдерживается, то возникает горизонтальное вращение или кручение (рис. 3-9). На рис. 3-10 показано возникновение эффекта кручения в здании с простым решением плана, которое объясняется тем, что равномерно распределенная горизонтальная нагрузка не была уравновешена равномерным распределением сопротивлений элементов конструкции. Для симметрично решаемых планов с равномерно распределенной массой перекрытий, стеновых блоков и колонн идеальное архитектурно-планировочное решение сейсмостойких зданий и сооружений предусматривает симметричное во всех направлениях расположение элементов конструкции, при котором, независимо от направления воздействия на перекрытие сейсмической нагрузки, конструкция работает при распределенной жесткости, что предотвращает возникновение вращения. Поэтому при проектировании сейсмостойких конструкций зданий и сооружений необходимо стремиться к симметричному относительно главных осей и равномерному в плане распределению масс и жесткостей.

Прочность и жесткость

Прочность и жесткость конструкции представляют собой наиболее важные характеристики любого сооружения. Несмотря на их важность, при проектировании зданий и сооружений, предназначенных для обычного строительства, в случае воздействия сейсмических нагрузок эти два фактора играют особенно большую роль, и именно в расчете на сейсмические воздействия они проработаны наиболее детально.

Одним из показателей жесткости является прогиб, который в большинстве случаев при действии вертикальных нагрузок от собственного веса является единственным параметром. При определении размеров балок межэтажных перекрытий в качестве основного критерия расчета часто принимают величину прогиба, а не несущую способность. Аналогично при действии горизонтальных сил предельное смещение верха здания, накапливающееся от

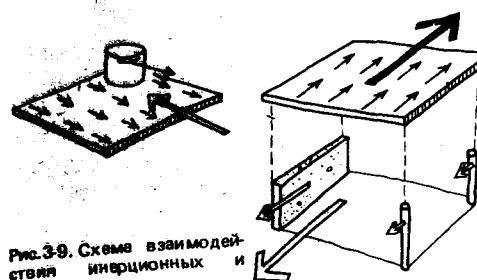


Рис. 3-9. Схема взаимодействия инерционных и внешних сил

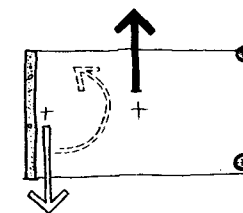


Рис. 3-10. Кручение в здании простой конфигурации

этажа к этажу, влияет значительно больше на конструирование элементов по сравнению с условиями, когда за расчетный критерий принимается прочность (рис. 3-11). В последнем случае основной вопрос, решаемый при проектировании, заключается в обеспечении сопротивления действующим нагрузкам без превышения в конструкции значений предельных напряжений; условие жесткости или ограничения горизонтального смещения предусматривает предотвращение перемещения конструкции относительно главных осей на величину, превышающую предельное значение, заданное расчетом. При проектировании конструкций межэтажных перекрытий для балок возможна некоторая величина допускаемого прогиба, в то же время для внутренней поверхности потолка этот прогиб зрительно не должен быть замечен. Расчетную величину смещения конструкций ограничивают даже в том случае, если по критерию прочности может быть приложена более высокая нагрузка; это необходимо для уменьшения отрицательного воздействия чрезмерных перемещений на несущие элементы, такие, как перегородки, панели наружных стен, детали конструкции потолка, а также для обеспечения условий комфортности проживания. Кроме того, чрезмерные величины горизонтального смещения могут вызвать увеличение эксцентриситетов прилагаемых нагрузок, действующих в колоннах, в результате чего появляется нежелательный эффект $P-\Delta$.

Согласно требованиям Единых строительных норм США, величина смещения не должна превышать 0,5% высоты этажа (при действии расчетных нагрузок с учетом коэффициента запаса прочности); т.е. 2,54 см для высоты в 5,08 м (рис. 3-12).

Относительные жесткости элементов оказывают существенное влияние на распределение нагрузок от собственного веса, однако наибольший интерес они представляют при расчете конструкций на сейсмические нагрузки. Поскольку горизонтальный диск, имеющий высокую жесткость (например, железобетонная плита), связан с вертикальными несущими элементами, то величина смещения последних будет такая же, как и горизонтального диска. (Так как диск является жестким элементом конструкции, в расчете допускается условие его поступательного перемещения без какого-либо нарушения формы. Термин "жесткий" относится здесь к специальным типам дисков, особенности которых описываются ниже.) Если величина деформации двух элементов конструкции (рамы, стеновые панели, ригели или любое сочетание из них) одинакова, то большая часть прилагаемой нагрузки воспринимается тем элементом, жесткость которого выше. Только в случае одинаковой жесткости рассматриваемых элементов можно допустить равномерное распределение нагрузки между ними. Поскольку системы железобетонных перекрытий или покрытий относятся к "жестким дискам", а

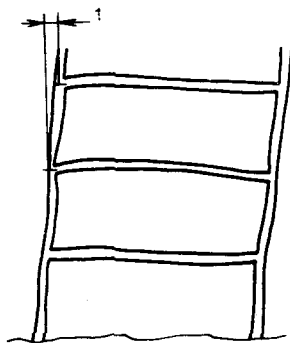


Рис. 3-11. Определение поэтажного смещения как разницы прогибов между этажами в горизонтальной плоскости
1 — смещение

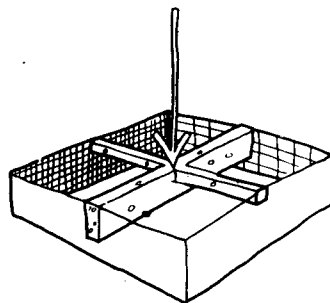
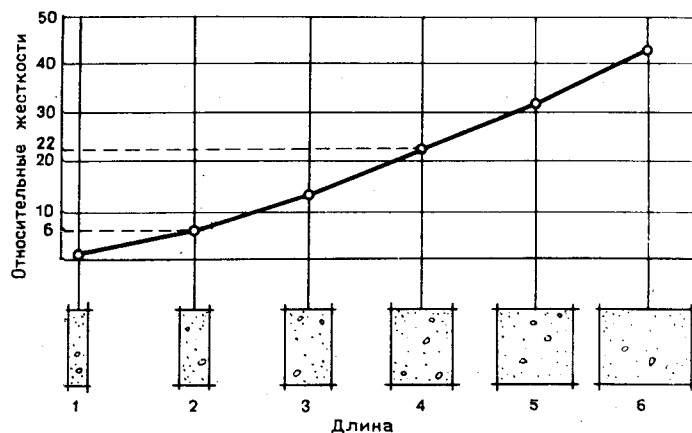


Рис. 3-12. Жесткие и гибкие балки

Рис. 3-13. Относительные жесткости железобетонных стеновых элементов разной длины



стеновые панели, каркасы и рамы с ригелями имеют другие показатели жесткости, оценка факторов относительной жесткости элементов, составляющих сооружение, является обязательным условием процесса расчета на воздействие сейсмической нагрузки.

На рис. 3-13 показаны относительные жесткости некоторых типов железобетонных стеновых элементов различных размеров (в примере высота 3,04 м, толщина 25,4 м, защемленные в верхнем и нижнем опирании с одинаковым модулем деформаций). Важно заметить, что при жесткой конструкции диафрагм величина нагрузки, воспринимаемая стеновыми элементами, пропорциональна их жесткости. Двойному увеличению длины стенового элемента соответствует почти двойное увеличение его прочности при восприятии поперечной силы и значительно большее увеличение жесткости, а следовательно, и величины воспринимаемой нагрузки. Другим важным аспектом показателя жесткости является интегральная жесткость всего здания или сооружения, определяющая частоту колебаний.

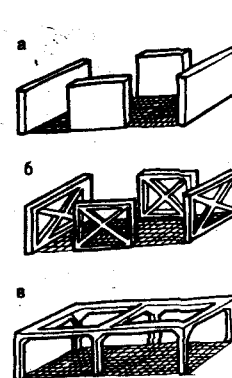


Рис. 3-14. Конструкции, воспринимающие сейсмические нагрузки
а — вертикальные диафрагмы; б — связевые каркасы; в — рамные каркасы; г — горизонтальные диафрагмы (диски)

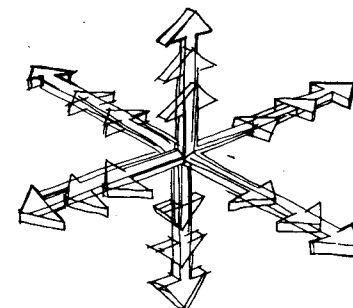


Рис. 3-15. Сейсмические нагрузки

Системы сопротивления

При проектировании конструкций сейсмостойких сооружений инженер-конструктор пользуется сравнительно небольшим перечнем элементов, которые он может включить в компоновочное решение систем, воспринимающих сейсмическую нагрузку. В вертикальной плоскости усилия от горизонтальных нагрузок воспринимаются следующими элементами: вертикальными диафрагмами, связевыми и рамными каркасами (иногда называемыми "жесткими рамами"). В горизонтальной плоскости в качестве жестких дисков рассматриваются межэтажные перекрытия и покрытие здания или горизонтальные связи (рис. 3-14). Эти элементы определяют архитектурный облик здания и включаются на стадии эскизного архитектурного проектирования объекта. При последующем конструктивном расчете возможно изменение их проектного положения и формы с дополнением несущих элементов.

Архитектор, принимающий участие в разработке проекта сейсмостойкого здания или сооружения, должен понимать природу и характер работы системы конструкций, воспринимающей сейсмическую нагрузку в случае землетрясения; при этом все расчеты и рабочие чертежи могут осуществляться инженерно-техническим персоналом. Архитектор может не иметь того опыта или профессионального навыка, которые являются обязательными для инженера-проектировщика, но если у него будет некоторое понимание в отношении возникающих сил, это окажет большую помощь в деле разработки проекта. Большая часть инженеров и специалистов технических профессий приобрели определенное чувство понимания действия статических сил на примере своего собственного тела. Динамические усилия и их природа осознаются значительно легче теми, кто занимается спортом — лыжным, прыжками в воду, серфингом. Они хорошо знают влияние движения на изменения действия сил тяжести. Для лучшего понимания действия горизонтальных сил нужно представить себе вертикальные силы, повернутые на 90°. Однако следует напомнить о том, что характер воздействия сейсмических

нагрузок значительно сложнее, чем просто действие нагрузок от сил тяжести. Первые должны всегда рассматриваться в качестве динамических, действующих в разных, а не в одном направлении сил (рис. 3-15).

Диски покрытий и перекрытий

Термин диски используется для обозначения горизонтальных несущих элементов (перекрытий и покрытий), которые передают горизонтальные нагрузки на их воспринимающие вертикальные элементы (вертикальные диафрагмы или каркасы). Работа перекрытия подобна работе горизонтальной балки: само перекрытие работает как стенка балки, а его краевые элементы — как полки балки (рис. 3-16). Часто в элементах перекрытия или покрытия приходится предусматривать конструктивные отверстия для прокладки коммуникаций, установки лестничных клеток и лифтовых шахт, фонарей дневного света и других архитектурных элементов. Размер и проектное положение таких отверстий оказывают большое влияние на эффективность работы покрытий и перекрытий. Если сравнивать работу диска перекрытия и балки, то ясно, что отверстия в растянутой полке балки значительно ухудшают ее несущие способности (рис. 3-17). При вертикальной схеме нагружения отверстия могут находиться в растянутой или в сжатой зонах; в случае приложения горизонтальных нагрузок они будут проходить через обе зоны — сжатия и растяжения, поскольку воздействующая нагрузка изменяет направление.

Если конструкция перекрытия входит в систему здания, воспринимающую сейсмические нагрузки, то его работа может соответствовать как жесткой, так и гибкой схеме, что частично зависит от расстояния между несущими ограждающими элементами или между связями жесткости, а также от типа используемого строительного материала. Гибкость перекрытий по отношению к вертикальным диафрагмам, работающим на восприятие горизонтальных нагрузок, также оказывает существенное влияние на характер и величину этих нагрузок. Гибкие диафрагмы обычно выполняются из дерева, металлического профилированного настила (без бетона) или листа по балкам. Длинные узкие диафрагмы из любого материала также работают по гибкой схеме. Центральная стена воспринимает двойную нагрузку с каждого торца (даже если торцевые стены имеют большую жесткость). Диафрагма является более гибкой конструкцией, чем вертикальные элементы, и работает как балка на неподвижных опорах. Стеновые элементы воспринимают нагрузки пропорционально массам (или пропорционально площадям сечений при равномерно распределенной массе). Диафрагмы не воспринимают крутящие моменты. Жесткие диафрагмы (диски) обычно выполняются в железобетоне. Стены воспринимают нагрузку пропорционально жесткости. При одинаковой жесткости всех трех стен с равными расчетными значениями деформаций прилагаемые нагрузки и возникающие напряжения должны также быть равны. Если одна стена имеет жесткость в два раза большую, чем жесткость других, то и нагрузка на нее должна быть в два раза больше. (Относительные жесткости и, соответственно, распределение нагрузки могут измениться, если пластические деформации в одной стене появятся раньше, чем в других.) Считается, что вертикальные элементы являются более гибкими, чем горизонтальные диафрагмы (диски), которые работают подобно неискривленной пластине (хотя в других случаях, например при определении наклона кирпичной стены, принимается, что перекрытие, подкрепляющее стену, может прогибаться). Опоры для бесконечно жесткой балки имеют одинаковый прогиб (до начала появления кручения)

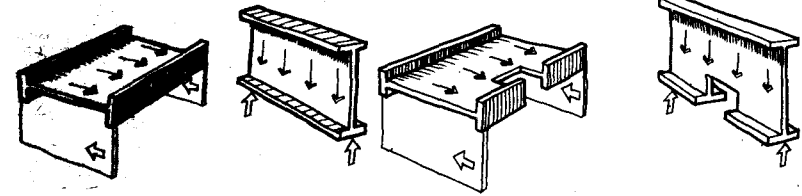


Рис. 3-16. Аналогия работы горизонтальной диафрагмы и балки

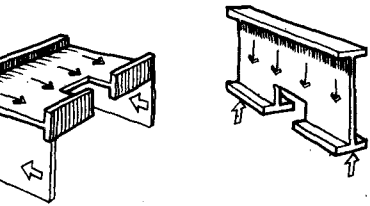
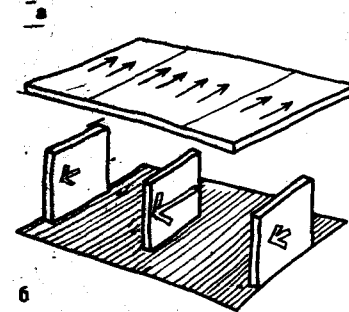
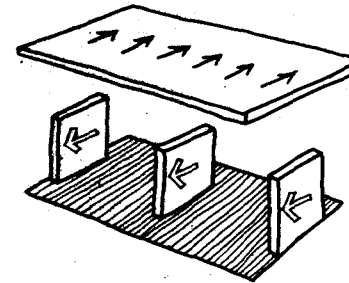


Рис. 3-17. Вырезы в диафрагмах



а



б

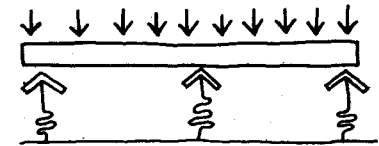
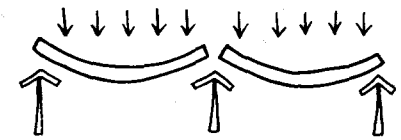


Рис. 3-18. Горизонтальные несущие элементы а — гибкие диафрагмы; б — жесткие диафрагмы

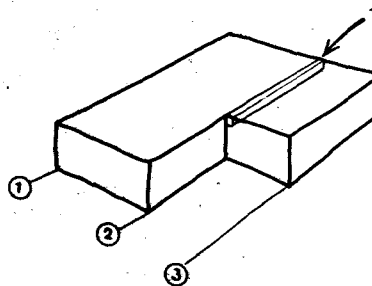
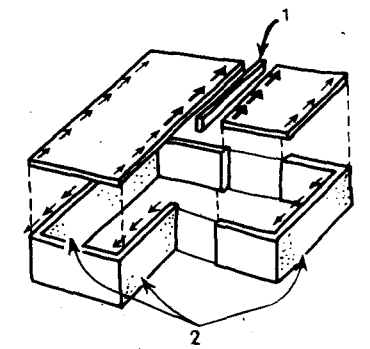


Рис. 3-19. Связевые балки 1 — связевая балка; 2 — несущие стены



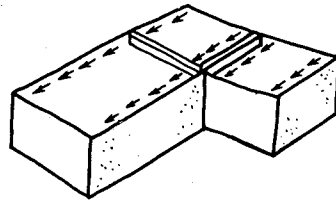


Рис. 3-20. Система связевых балок

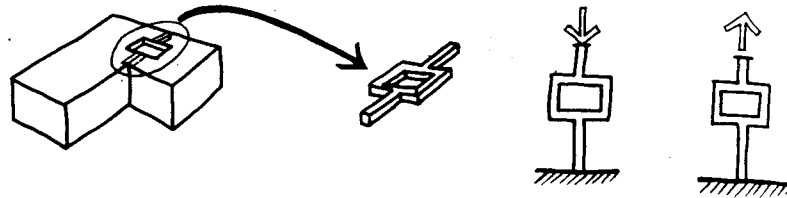


Рис. 3-21. Отверстия в связевых балках, аналогия с вертикальным нагружением

(рис. 3-18). На участке, где отсутствует опирание перекрытия на вертикальные несущие элементы стены или колонны, монтируются связевые элементы, которые передают усилия от горизонтальных нагрузок на каркас здания. При перемещении перекрытия в северном (или южном) направлении панели 1, 2 и 3 воспринимают возникающую горизонтальную силу через горизонтальное сопряжение (рис. 3-19). По каждой стороне диска перекрытия возникают дополнительные горизонтальные усилия. Для рассматриваемого случая связевый элемент находится в растянутом состоянии и через анкерное соединение "тянет" за собой панель 2. Для случая, когда перекрытие стремится к перемещению в южном направлении (при движении грунта в северном направлении), связевый элемент будет сжат и передаст давление на панель 2. Подобное явление наблюдается и по другой оси, где включается в работу связевый элемент западно-восточного направления (рис. 3-20). При расположении конструктивного отверстия (ствола жесткости, фонаря верхнего света и др.) в месте примыкания свободных сторон перекрытия нарушается система передачи нагрузки через связевый элемент (рис. 3-21), поэтому такого планировочного решения следует по возможности избегать.

Вертикальные диафрагмы и связевый каркас

Вертикальные стеновые элементы, предназначенные для восприятия горизонтальных нагрузок от диска перекрытия или покрытия с последующей передачей их на грунт, обычно называются диафрагмами. Такие элементы подвергаются главным образом горизонтальному сдвигу, хотя при большой гибкости такие элементы могут иметь значительный изгиб (рис. 3-22). На рис. 3-23 показана элементарная конструкция здания с несущими диафрагмами (поперечными стенами) по торцам. Колебания грунта вызывают в здании силы инерции, что в свою очередь вызывает смещение перекрытий. Нагрузки, возникающие в процессе такого перемещения, воспринимаются стеновыми диафрагмами и передаются затем на фундамент. При вращении удлиненного здания в горизонтальной плоскости стеновые диафрагмы рассматриваемого типа работают подобно консольной балке, на которую опираются конструкции перекрытия. Однако в отличие от обычных консолей, воспринимающих нагрузки от собственного веса, диафрагмы

Рис. 3-22. Усилия, действующие в диафрагмах
1 — инерционные усилия от перекрытия; 2 — сдвигающие усилия; 3 — перемещение грунта; 4 — изгиб

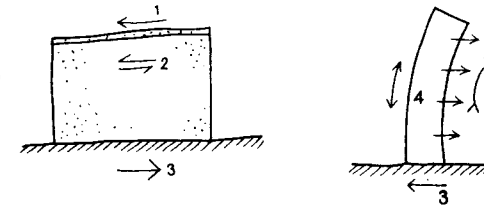


Рис. 3-23. Вертикальные диафрагмы: аналогия с нагружением консольных балок

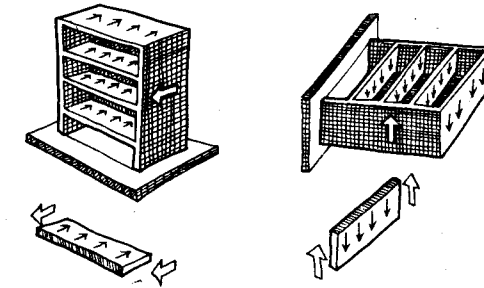
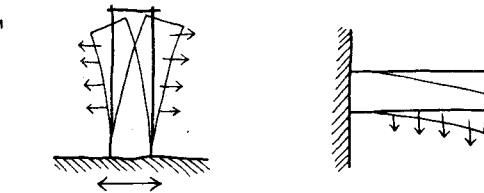


Рис. 3-24. Двусторонний и односторонний прогиб



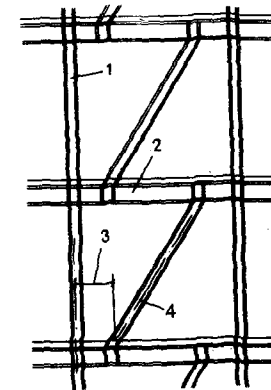
работают на сопротивление динамическим нагрузкам, изменяющимся по направлению своего действия в течение времени перемещения грунта (рис. 3-24), что зависит от характеристик данного землетрясения.

Размер и проектное положение вертикальных диафрагм являются важными факторами при разработке конструктивного решения здания. Набор вертикальных элементов здания различной ориентации в плане и расположенных на различных расстояниях от центра жесткости должен обеспечивать сопротивление крутящим моментам при землетрясении. На рис. 3-25 показаны некоторые концепции выбора проектного положения стеновых элементов на примерах простых геометрических планов: в колонке 1 показаны схемы планов с расположением диафрагм жесткости (выделены черным), а в колонках 2, 3 и 4 показано выключение этих диафрагм в работу при различном направлении действия нагрузки. Так при наличии ядра жесткости и диафрагм, расположенных по периметру здания (строка а) наблюдается удовлетворительное включение этих элементов в работу при всех направлениях воздействий; при наличии крестообразного расположения диафрагм (строка б) недостаточной будет жесткость на кручение (схема б); при угловом размещении диафрагм (строка в) кручение плана возникает при направлении нагружения влево-вправо и вперед-назад; недостаточным будет сопротивление такого плана кручению из-за несовпадения центра жесткости и центра тяжести сечения (схема в); при размещении диафрагм

	Схема плана	Действие сейсмической силы			
		←	↑	○	○
а					
б					
в					
г					
д					
е					

Рис. 3-25. Проектное положение вертикальных диафрагм

Элементы жесткости со смещенными стыками: 1 — колонна; 2 — балка; 3 — эксцентриситет; 4 — колонна.



под углом к наружным стенам (строка 2) жесткость плана будет недостаточна при действии нагрузки в направлении, перпендикулярном диафрагмам; треугольный план привел к возникновению кручения при действии нагрузки в направлении влево-вправо и вперед-назад.

Работа связевых каркасов подобна работе диафрагм, хотя их несущая способность может быть несколько ниже, в зависимости от расчетных параметров. Связевые элементы жесткости таких каркасов обычно выполняются из металлических прокатных профилей, стержней круглого сечения, или труб; усилия, соответствующие значительным колебаниям, могут вызвать сжатие или удлинение связевых элементов, в результате чего происходит выключение их из работы, возникают большие деформации или разрушение основных конструкций. Для обеспечения требуемой надежности соответствующего узла необходимо учесть работу связевых элементов каркаса в неупругой стадии. В расчетах конструкций важно определить возможные пути передачи экстремальных нагрузок. Наличие эксцентриситета значительно уменьшает несущую способность связевых каркасов элементов, хотя в настоящее время нашли применение усложненные конструкции систем жесткости с компенсационными соединениями или включающимися связями [6]. Их размещение учитывает целесообразность допущения нелинейного закона, прежде всего в балках, а не в колоннах. Кроме того, компенсационные соединения или включающиеся связи при повреждении и имеющейся податливости препятствуют наступлению полного разрушения, обычно обусловленного потерей устойчивости колонн (рис. 3-26).

Рамные каркасы

При обеспечении сейсмостойкости зданий путем применения несущих рамных каркасов, воспринимающих момент, горизонтальные поперечные усилия воспринимаются колоннами и балками, работающими на изгиб и сдвиг, сопряжение которых осуществляется в стыках, также способных воспринимать изгибающий момент. Стыки находятся в условиях большого напряжения, поэтому детали их конструкции являются особенно важными. Работа каркасов в неупругой стадии становится одним из важных факторов при определении сопротивления системы за счет поглощения энергии при развитии остаточных деформаций, возникающих в конструкции до начала разрушения. По этой причине рамные каркасы обычно выполняются в метал-

ле с жесткими сварными швами, для которых собственная пластичность материала имеет большое значение. В последнее время начали использовать железобетонные каркасы, которые отличаются достаточно хорошим показателем пластичности, обеспечивая несущую способность конструкции в неупругой стадии работы до начала разрушения.

Использование каркасов данной конструкции имеет определенное архитектурное преимущество. Во-первых, включение их в конструктивную систему проектируемого здания исключает необходимость установки диафрагм или связей, что, в свою очередь, устраняет ряд ограничений при разработке объемно-планировочного решения. Во-вторых, рамные конструкции такого типа отличаются значительно большей гибкостью, чем связевые, включающие диафрагмы, и позволяют предусматривать в проектируемом здании или сооружении такие архитектурные элементы, как навесные стеновые панели, несущие перегородки и потолки различных конструкций. Подобно связевой системе в конструкции рамного типа также имеются стеновые элементы, работающие на горизонтальную нагрузку; поэтому сама рамная система может воспринимать расчетный момент от прилагаемой нагрузки не на полную величину.

Несущие элементы

В ряде случаев несущие элементы здания могут включаться в работу несущей системы, предназначенной для восприятия горизонтальных нагрузок. С. Б. Барнес пишет по этому поводу [7]: "Некоторые проектировщики, не слишком хорошо знающие фактическую работу элементов конструкции зданий при воздействии сейсмической нагрузки, не учитывают влияния, оказываемого несущими, но достаточно жесткими и хрупкими элементами стенового заполнения или перегородками. Конструкции правительственных зданий США, расположенных в зонах военно-воздушных баз в Эльмендорфе и Форт-Ричардсоне в г. Анкоридж, включали стеновое заполнение из бетонных неармированных стеновых блоков толщиной 10, 16 см, которые включались в работу конструктивной системы при диагональном сжатии или растяжении. Некоторые из них мгновенно разрушились, и, если бы землетрясение произошло в другое время, человеческих жертв было бы значительно больше. И, конечно, то, что показатели жесткости этих стен не учитывались, явилось существенной ошибкой при проектировании данных объектов".

Если элементы жесткой ограждающей конструкции или разделительные перегородки не отделяются от остальной конструкции деформационными швами, то их следует учитывать в расчете как неотъемлемую часть всей конструкции. Их проектное положение играет важную роль. Так как жесткость элементов стенового заполнения гораздо больше жесткости рам, то даже незначительное количество стеновых элементов, расположенных неправильно, может привести к полному перераспределению прилагаемых нагрузок и тем самым в корне изменить расчетную схему работы элементов конструкции. Несимметричное расположение стеновых элементов может вызвать появление крутящих моментов, воспринимаемых симметричной конструкцией рамного каркаса. Аналогично лестничные клетки могут включаться в работу как дополнительные связи, что может привести к положительным или отрицательным последствиям.

Несущие элементы могут также создавать некоторую степень статической неопределимости системы. В качестве иллюстрации изложенных положений можно привести пример работы здания на сейсмическую нагрузку

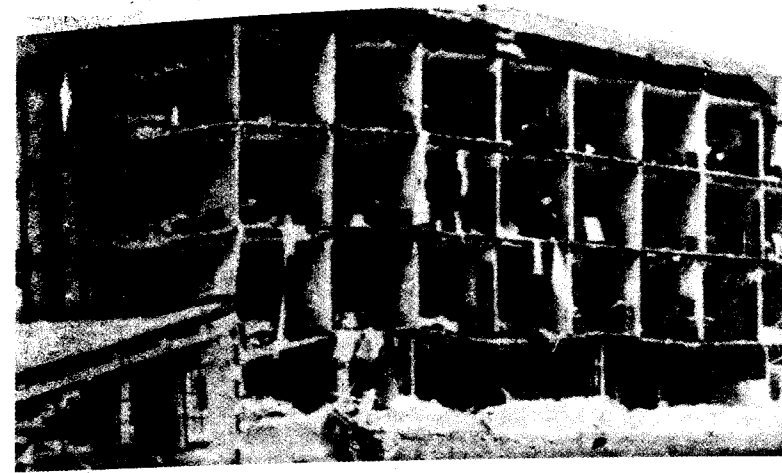


Рис. 3-27. Повреждение перекрытий в здании гостиницы "Отель Калифорния" во время землетрясения в Санта-Барбара, 1925

во время землетрясения, когда несущие кирпичные перегородки с деревянным каркасом позволили сохранить целостность основной части кирпичного здания после полного обрушения наружных несущих стен (рис. 3-27). В старых жилых домах или зданиях гостиниц неразрезные деревянные балки иногда за счет неучтенной работы консолей сохраняют несущую способность после разрушения наружных стеновых элементов. Одно из наиболее важных преимуществ обычных зданий жилого фонда, имеющих деревянный каркас, заключается в том, что в этих конструкциях достигается многовариантность путей передачи нагрузки при большом разнообразии типов соединений.

Выводы

Суммируя изложенное относительно реакции здания на перемещение грунта во время землетрясения, можно сказать, что большое количество соответствующих параметров не поддается прогнозированию. Генри Дегенколб пишет [8]: "Уровень решения проблемы определяется опытом инженера, поскольку ему приходится иметь дело с нагрузками, характер которых не достаточно хорошо понятен, имеющаяся информация о свойствах материалов не является исчерпывающей, а работа элементов конструкции определяется в диапазоне предельных, а не эксплуатационных нагрузок. Наиболее важным положением является значительное отличие расчетных концепций, принятых в проектировании сейсмостойких конструкций, от концепций расчета других типов зданий и сооружений, для которых расчетные усилия представляют лишь небольшую часть от тех нагрузок, которые действуют на сооружения во время сильных землетрясений".

Глава IV. ВЛИЯНИЕ КОНФИГУРАЦИИ ЗДАНИЯ НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ

Введение

Для определения характеристик конфигурации, которая оказывает влияние на поведение конструкций зданий в условиях воздействия землетрясения, следует напомнить, что такое конфигурация. В нашей книге этот термин относится как к форме всего здания, так и к его габаритам, типам и проектному положению несущих и ненесущих элементов конструкций. В настоящем разделе рассматриваются общие аспекты влияния конфигурации здания на его поведение в условиях воздействия сейсмических нагрузок. До начала детального изучения данного вопроса следует проанализировать виды ответных реакций здания на динамическое воздействие, возникающее при перемещении грунта.

Во время землетрясения возникают быстро изменяющиеся динамические нагрузки и для определения величины сейсмических нагрузок необходимо знать динамические характеристики здания. Но даже располагая этими данными, трудно определить последовательность возможных событий и характер взаимодействия различных элементов конструкции здания в условиях воздействия динамических нагрузок, поскольку природа сейсмических воздействий включает большое количество пока еще неизвестных параметров.

Об этом факте нельзя забывать при рассмотрении воздействия горизонтальных нагрузок совместно с влиянием, оказываемым конфигурацией здания на его работу. Модель воздействия горизонтальных нагрузок показана на рис. 4-1. За основу построения такой модели взяты положения типового расчета на сейсмические нагрузки, действующие отдельно по каждой из главных осей здания. В случае решения плана здания в форме прямоугольника целесообразно, для рассмотрения соответствующих нагрузок, выбрать две оси — вдоль и поперек здания; для здания круглого в плане направление осей не имеет значения; для сложного плана здания следует рассматривать несколько осей приложения нагрузки (рис. 4-2). Основная концепция расчета заключается в том, что, принимая во внимание возможность приложения сейсмической нагрузки по любому из направлений, действие нагрузок перпендикулярно основным осям стен или рам обычно моделирует два наиболее неблагоприятных случая. В случае перемещения грунта и воздействия результирующего усилия в диагональном направлении, конструкции стеновых элементов и каркаса вдоль обеих осей будут работать на меньшие усилия. Этот вопрос уже описывался в гл. III (выбор проектного положения диафрагм).

Следует отметить, что в случае реального землетрясения фактические сейсмические нагрузки имеют значительно более сложный характер по сравнению с теми, которые приведены в указанных рисунках. Перемещение грунта по своей природе не является организованным, и выбор направления воздействия сейсмических нагрузок по осям здания или сооружения часто не совпадает с реальной ситуацией. В любом случае полное перемещение грунта всегда включает внецентренные нагрузки, что наглядно продемонстрировано на рис. 4-3. Конструкция здания не является однородной, она состоит из отдельных частей, каждая из которых воспринимает горизонтальные и вертикальные нагрузки, воздействующие на соседние элементы через соответствующие соединения. Если взять сечение металлического или деревянного Т-образного профиля, то его работа будет существенно отличаться от работы полноразмерного здания в том же масштабе (рис. 4-4). При одно-

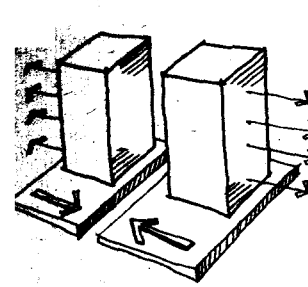


Рис. 4-1. Схема воздействия сейсмических нагрузок

Рис. 4-2. Соответствующие расчетные оси для сложных конфигураций плана (1)

Рис. 4-3. Фактические направления сейсмических движений

Рис. 4-4. Тавровый профиль и модель реального здания

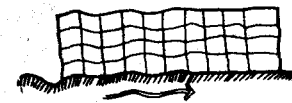
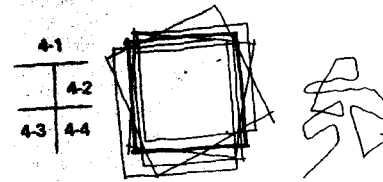
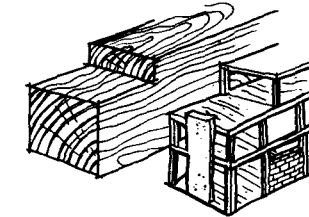
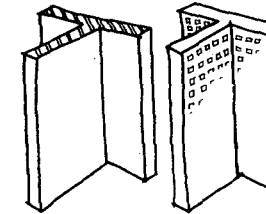
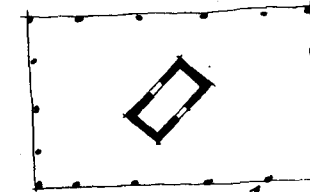
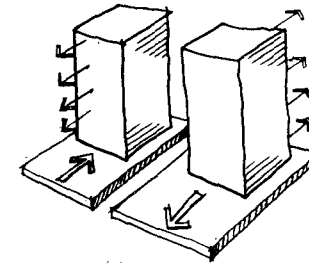


Рис. 4-5. Крупномасштабное здание

Рис. 4-6. Локализованная прочность и жесткость



родности сечения Т-образный элемент имеет достаточную прочность относительно оси, перпендикулярной полке. Для реального здания или сооружения повышение сопротивления, достигаемое за счет работы Т-образного плана, ничтожно. Наоборот, свесы полки Т способствуют увеличению кручения и росту деформаций.

В крупномасштабных зданиях и сооружениях перемещение грунта оказывает влияние на различные части не одновременно, что вызывает кручение или несовместные перемещения даже в зданиях с геометрически симметрич-

ным планом (рис. 4-5). Здание, состоящее из отдельных частей и соединительных элементов, в различных местах будет иметь различную прочность и жесткость, что может быть оценено в процессе расчета. Дополнительные изменения жесткостей могут возникнуть при взаимодействии несущих элементов с несущими или влиянии на них конфигурации здания. Все это создает еще большее отличие работы конструкции в реальных условиях от работы по идеализированной схеме (рис. 4-6).

Размеры зданий

Для малых зданий с деревянным каркасом влияние конфигурации на работу при сейсмическом воздействии может быть невелико, но для больших зданий эта проблема очень важна. Причина различного влияния конфигурации на сейсмостойкость зданий разного размера заключается в том, что малый дом с деревянным каркасом имеет небольшую массу, и возникающие в ней силы инерции будут также небольшими. Кроме того, в таких домах размеры пролетов малы относительно площади пола; прилагаемая к конструкциям здания нагрузка распределяется среди большого количества стеновых элементов, а в случае необходимости объема ремонта, определенные квалифицированным проектировщиком, будут невелики. Во время землетрясения в г. Анкоридж, 1964, небольшие дома, расположенные в районе оползней, в результате воздействия сильных толчков переместились на несколько метров в различных направлениях, но благодаря небольшой массе и размеру не были существенно повреждены, хотя их конструкция проектировалась без расчета на воздействие сейсмических нагрузок; но это не означает, что небольшие здания, работающие в подобных условиях, не создают проблем. Алекс Тарикс провел сравнение конструкций зданий различных размеров. Оказалось, что нарушение общих принципов и основ разработки объемно-планировочного решения неизменно вызывает существенное увеличение стоимости, а по мере роста воздействующих нагрузок работа конструкций ухудшается по сравнению с эквивалентным зданием с лучшей конфигурацией.

При увеличении абсолютного размера сооружения количество возможных альтернатив его конструктивного решения уменьшается. Мост пролетом в 91,4 м можно построить в виде балочной, арочной, висячей конструкции и со сквозными фермами, в то время как мост пролетом в 914 м может быть только подвесным. Нельзя изменить габариты сооружения и размеры элементов и сохранить при этом прежнюю работу конструкции. По этому поводу Галилеем в 1637 г. сказано следующее [1]: "... природа не может создать деревья очень больших размеров, так как ветки под действием собственного веса будут обламываться и падать на землю; так же как не могут существовать люди, лошади или другие животные с очень большими костями; для осуществления своих функций материал, из которого сделаны кости, должен быть значительно прочнее, или сечение костей необходимо увеличить во много раз, т.е. изменяя при этом их форму".

При испытании моделей неполного размера на вибрационном столе их размеры следует принимать во внимание в соответствии с принципами динамического подобия. На массу, а следовательно, и на нагрузку необходимо вводить поправочный коэффициент; в обратном случае прочности конструкций будут несоизмеримы с установленными размерами, подобно тому, как муравей, неся веточку, не может служить уменьшенной моделью человека, несущего дерево.

Высота здания

На первый взгляд увеличение высоты здания может показаться эквивалентным увеличению пролета консольной балки. Однако это не совсем так, с увеличением высоты здания обычно растет и значение периода собственных колебаний здания, а изменение периода колебаний означает изменение (в верхнем или нижнем уровне) ответных реакций здания и величины соответствующих усилий. Маловероятно, что землетрясение может вызвать соответствующих перемещения грунта с высоким ускорением и периодом основных колебаний, равным 2 с; обычно для наблюдавшихся землетрясений эта величина составляла не более 0,5 с.

Следовательно, здание высотой более 20 этажей с фундаментальным периодом колебаний более 1 с или даже около 2 с будет испытывать меньшее ускорение массы, чем здание высотой в 5-10 этажей с периодом колебаний в 0,5 с. Период собственных колебаний зданий является функцией не только высоты, но также гибкости, высоты этажей, типа конструктивной системы, используемого строительного материала, распределения масс. Поэтому изменение размера здания может одновременно вызвать изменение периодов собственных колебаний, что соответственно способствует увеличению или уменьшению величин сейсмических нагрузок.

Несмотря на то что в Японии ограничение высоты зданий до 30,4 м существовало до 1964 г., в Лос-Анджелесе — до 45,6 м (или 13 этажей) до 1957 г., в Сан-Франциско — 24,4 м и позднее 30,4 м, высота здания редко выбирается в качестве величины, используемой в целях уменьшения риска, связанного с разрушением зданий во время землетрясений. В настоящее время основной принцип подхода к решению этой проблемы заключается не в градостроительных ограничениях предельной высоты здания, а в определении и принятии наиболее целесообразных основ расчета на сейсмическую нагрузку, а также критериев работы здания в условиях ее воздействия. Обычно вопросы, связанные с планировочной структурой городов, недвижимым имуществом и долгосрочным или краткосрочным прогнозированием являются более важными факторами. Когда выбирается строительная площадка в зоне повышенной сейсмичности, высота зданий может быть существенно ограничена: так, больница Лома-Линда, описание которой приведено в приложении А.2, и комплекс зданий фирмы ИБМ в Санта-Тереза, Калифорния [2] — два больших комплекса, высота которых по условиям сейсмической опасности была снижена до 4 этажей (рис. 4-7). Многими специалистами признана целесообразность строительства в районах с высокой сейсмичностью зданий только средней высоты от 5 до 15 этажей. Здания повышенной этажности, помимо прочего, оказываются намного дороже. В соответствии с требованиями нормативных документов в зонах с высокой сейсмической активностью здания, высота которых превышает 48,8 м, выполняются с применением рамных каркасов, имеющих резервы пластических деформаций.

Горизонтальные размеры

Кроме опрокидывающих усилий, возрастающих с увеличением высоты зданий и сооружений, при действии землетрясения на их сейсмостойкость отрицательно сказываются слишком большие размеры плана. Если план велик, даже если он симметричен и имеет простую форму, здание как единое целое не всегда может оказывать сопротивление воздействию сейсмических волн.

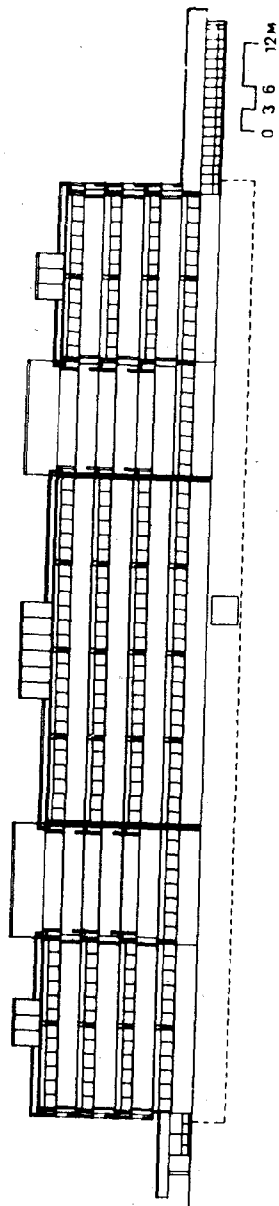


Рис. 4-7. Продольное сечение здания больницы Лома-Линда, Калифорния

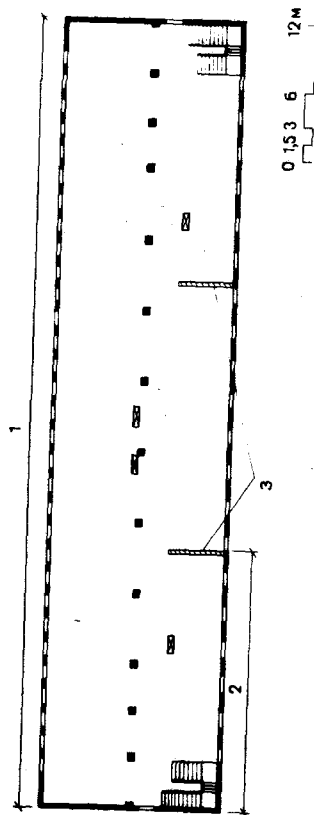


Рис. 4-8. Здание Веймeyer Холл, Калифорнийский университет
1 — первоначальный проект перекрытия; 2 — полученный новый пролет; 3 — дополнительные поперечные диафрагмы

С. Поляков в работе, написанной в 1974 г. о советском опыте в области проектирования сейсмостойких конструкций, указывает на то, что простые допущения, принятые относительно перемещения грунта для чрезвычайно длинных зданий, могут оказаться неверными [3]: "При определении сейсмических воздействий обычно исходят из предположения, что сооружение колеблется как система, у которой на одном и том же уровне в любой момент времени все точки плана находятся в одинаковой фазе по перемещениям, скорости и ускорениям при их одинаковой амплитуде. В действительности в связи с тем, что прохождение сейсмических волн не мгновенно, а происходит с определенной конечной скоростью, зависящей от плотности грунта и характеристик конструкции, различные участки основания по длине здания колеблются асинхронно с разными величинами ускорений, что вызывает в здании дополнительные продольные усилия сжатия-растяжения и горизонтального сдвига. Естественно, что при равных других условиях эти усилия будут тем более вероятны и тем более существенны, чем большей будет длина сооружения . . ."

Строительные нормы и правила СССР включают перечень максимально допустимых длин зданий в плане для различных сейсмических зон и типов конструкций. Существующие до начала воздействия сейсмических нагрузок температурные и осадочные напряжения, а также те, которые вызываются во время землетрясения, имеют значительно большую величину в зданиях с большими размерами в плане и являются дополнительными к тем напряжениям, которые создаются при действии поперечных нагрузок. С. Поляков также отмечает [4]: "Жесткость перекрытий может оказаться недостаточной, чтобы перераспределить в момент землетрясения горизонтальную нагрузку с более слабых или поврежденных несущих конструкций здания на конструкции более прочные или менее поврежденные".

Если в конструкции здания не предусмотрено достаточное количество внутренних несущих элементов, то для здания с большими размерами в плане должны выполняться определенные требования по расчету перекрытий, имеющих большие горизонтальные пролеты, что приводит к возникновению значительных усилий, воспринимаемых поперечными диафрагмами или рамами. Часто принимаемое решение предусматривает уменьшение пролета за счет установки дополнительных несущих перегородок и рам, хотя это может привести к трудностям функционального характера при эксплуатации здания. Во время недавней реконструкции старого здания университета, пострадавшего во время землетрясения, длинного и узкого в плане, с малым количеством этажей, с поперечными несущими стенами по торцам, в результате проведения тщательного конструктивного анализа было решено добавить две внутренние поперечные стены, разделившие один длинный пролет перекрытия на три более коротких (рис. 4-8). Стоимость реализации этого решения составляла 90% полных затрат, выделенных на реконструкцию здания. При более оптимальном объемно-планировочном решении здания (лучшем отношении стенового заполнения к диафрагме) этой проблемы бы не возникло.

Геометрические пропорции

При проектировании сейсмостойких конструкций геометрическая пропорция здания важнее его абсолютных размеров. Для зданий повышенной этажности гибкость здания, определяемая по той же методике, что и гибкость отдельно стоящей колонны, имеет большее значение, чем просто высота. Доурик предлагает принять величину гибкости не более 3 или 4, объясняя

при этом [5]: "Чем больше гибкость, тем пагубнее воздействие опрокидывающего момента во время землетрясения и больше вызываемые им усилия в конструкциях наружных колонн; в особенности отрицательное влияние на работу здания оказывают усилия сжатия, возникающие при действии опрокидывающей нагрузки". Так как требования внутренней архитектурно-планировочной структуры административных зданий и жилых домов предусматривают минимальную ширину здания в плане, равную 18,3 м, то ограничение гибкости величиной 4 допускает возможность осуществления строительства приблизительно 20-этажных зданий, что характерно для большинства проектов обычного функционального назначения и, следовательно, указанное требование в этих случаях соблюдается автоматически.

Вопреки зрительным впечатлениям американские небоскребы не всегда имеют высокую гибкость. Сравнительные гибкости некоторых многоэтажных зданий составляют: для памятника Вашингтону — 10 : 1; здания Вулворт Билдинг — 8,7 : 1, здания Пирелли Билдинг — 7 : 1, Центра международной торговли — 6,8 : 1, здания Сиерс — 6,4 : 1, здание Эмпайр Стейт Билдинг — 5 : 1, здания Ю. С. Стил Билдинг — 3,6 : 1. Многоэтажные здания Центра международной торговли в Нью-Йорке с гибкостью, равной 6,8, можно считать исключением, для таких зданий требуется высокий уровень инженерного проектирования. Иногда размеры строительной площадки предопределяют сравнительно высокую гибкость здания даже небольшой этажности.

Отношение длины здания к высоте весьма важно при разработке архитектурных решений, при этом обычно избегают нецелесообразных удлиненных форм. При расположении связей по наружному периметру здания обеспечивается достаточная жесткость вдоль продольной оси, но вдоль поперечной оси жесткость здания будет недостаточной, поскольку ее обеспечивают только две торцевые стены или рамы, расположенные на большом расстоянии друг от друга. В результате этого горизонтальная диафрагма имеет очень большой пролет и работает подобно гибкой плите, что идет в противоречие с допущениями расчета. На основе изучения поведения конструкций пятнадцати школьных зданий, расположенных в Калифорнии, Дж. Блюм, Р. Шарп и Э. Эльсесер обнаружили, что типовое решение плана этих зданий выполнено в виде удлиненного прямоугольника с классными комнатами, расположенными по периметру. Однако в этом случае, жесткость вдоль короткой оси больше, чем вдоль длинной [6]: "Одноэтажные здания школ обычно имеют больший показатель жесткости в поперечном или коротком направлении, поскольку в этом направлении расположены многочисленные поперечные диафрагмы, в то время как жесткость многоэтажных зданий отличается более или менее равномерным распределением в каждом из направлений. Поэтому в одноэтажных зданиях более опасным является воздействие сейсмических волн вдоль продольной оси".

Частота колебаний зданий в направлении их поперечной оси обычно выше доминантной частоты колебаний ожидаемого перемещения грунта, и поэтому состояние квазирезонанса в этом направлении не возникает. В направлении продольной оси имеется значительная площадь остекления стенового заполнения, в то время как по поперечной оси здания на одинаковом расстоянии расположены сплошные перегородки, разделяющие классные комнаты; как следствие период колебаний вдоль продольной оси может быть достаточно большим и достаточно близким перемещениям грунта, с последующим возникновением квазирезонанса.

На основе проведенного изучения эксплуатации школьных зданий сделано еще два важных вывода относительно влияния конфигурации на сей-

смостойкость [7, 8]: "Типовые школьные здания в отличие от зданий повышенной этажности с большим периодом собственных колебаний имеют более высокую сейсмостойкость и более высокие показатели жесткости и прочности, но после повреждений, возникающих при действии сейсмической нагрузки, увеличивающийся период собственных колебаний оказывается ближе к неблагоприятному диапазону спектра сейсмических нагрузок. Частота колебаний длинных узких диафрагм часто оказывается в наиболее критической части спектра землетрясения. Такие элементы не только сами подвержены значительным повреждениям, их реакции оказывают воздействие на близлежащие конструкции.

Симметрия

Термин "симметрия" означает одно из геометрических свойств, относящихся к конфигурации здания. Здание или сооружение считается симметричным относительно двух осей в плане, если его геометрические параметры идентичны с каждой стороны рассматриваемой оси. Симметричность здания может быть по одной оси (рис. 4-9). Конструктивная симметрия означает совпадение местоположения центра тяжести и центра жесткостей.

Симметрия относительно вертикальной оси имеет меньшее значение для динамики здания или сооружения, чем симметрия плана. Фактически с точки зрения абсолютных динамических свойств здания оно не может быть абсолютно симметричным, так как с одной стороны в месте опирания на грунт оно неподвижно, а с другой стороны — свободно. Кроме того, является спорным вопрос, касающийся преимуществ геометрической симметричности относительно двух осей вертикального разреза здания по сравнению с формами, образуемыми на основе одноосной симметрии (рис. 4-10). Например, пирамидальная форма зданий отличается преимуществом равномерного уменьшения массы по мере увеличения высоты.

Единственное указание, включенное во все нормативные документы по этому вопросу, заключается в выдерживании симметрии форм, асимметричность способствует возникновению эксцентриситета между центром тяжести и центром жесткости, в результате чего появляется кручение. Кручение может также возникнуть и по другим причинам, например, при неравномерном распределении массы в сооружении, симметричном в плане; однако асимметричность решения плана почти всегда ведет к кручению. Кроме того, несимметричность конструкций часто приводит к концентрации напряжений. Концентрация напряжений возникает у надрезов входящих углов зданий. Однако решение плана здания с входящими углами не обязательно должно быть асимметричным (здание крестообразное в плане может иметь симметричную форму); но в соответствии с положениями норм SEAOC оно определяется как неоптимальное в плане. Таким образом, для уменьшения концентрации напряжений одной симметричности не достаточно; при решении планов здания необходимо соблюдать другое требование — простоту конфигурации (определяемое в приложении А.3 настоящей книги как конфигурация выпуклого типа).

Планы (рис. 4-11) показывают симметричное расположение относительно двух осей. При слишком коротких крыльях зданий (план слева) указанная конфигурация стремится к аппроксимации простой симметричной формы квадрата. При слишком большой длине крыльев входящие углы способствуют концентрации значительных напряжений и возникновению кручения. В соответствии с указанными условиями по мере приближения плана здания к симметричной форме возможность концентрации напряжений и появления

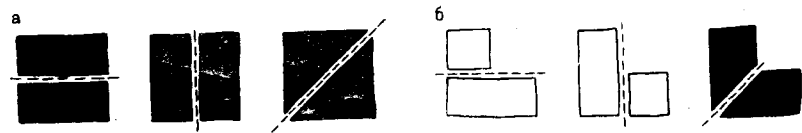


Рис. 4-9. Симметрия в плане
а — симметрия относительно двух или более осей; б — симметрия относительно одной оси; в — отсутствие симметрии

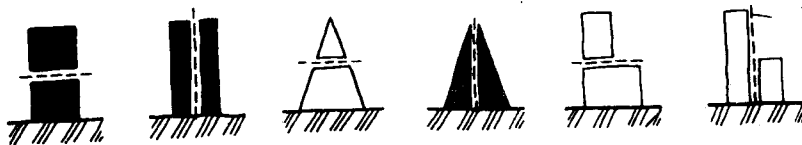
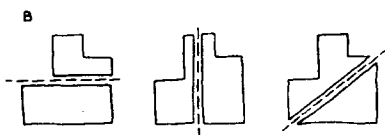


Рис. 4-10. Симметрия в разрезе

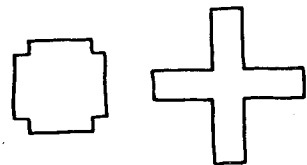


Рис. 4-11. Планы зданий

кручения уменьшается, а работа конструкций при воздействии сейсмической нагрузки легче поддается анализу и долгосрочному прогнозированию. Поэтому при выборе в качестве критерия проектирования параметров надежности и экономичности рекомендуют использовать симметричные формы зданий в плане, которые не подвергаются воздействию кручения.

Симметрия определяется не только решением плана всего здания, но и отдельными элементами и узлами, создаваемыми в процессе проектирования и строительства. Изучение работы конструкций зданий в период предшествующих землетрясений указывает на сравнительно высокую их чувствительность к небольшим изменениям симметричности плана. В особенности это относится к конструктивным решениям, предусматривающим использование несущих диафрагм и стволов (ядер жесткости). Иногда основные конструктивные элементы, такие, как ядра жесткости, имеют несимметричное размещение в общей симметричной конфигурации здания (рис. 4-12). В этом случае используется термин "псевдосимметрия", который подчеркивает, что в понятие симметрии вкладывается не только геометрия геометрической формы плана и расположения наружных элементов, но и внутренняя компоновка несущих и несущих элементов конструкций зданий и сооружений. Более подробно этот вопрос описывается в гл. V.

С другой стороны, для здания с несимметричным решением плана конструктивная система может быть спроектирована таким образом, что его динамическая реакция соответствует симметричному расположению элементов, а возможность появления кручения сведена до минимума. Следует отметить, что такое решение и должно применяться при несимметричном решении плана, если последнее нельзя изменить на симметричное (рис. 4-13).

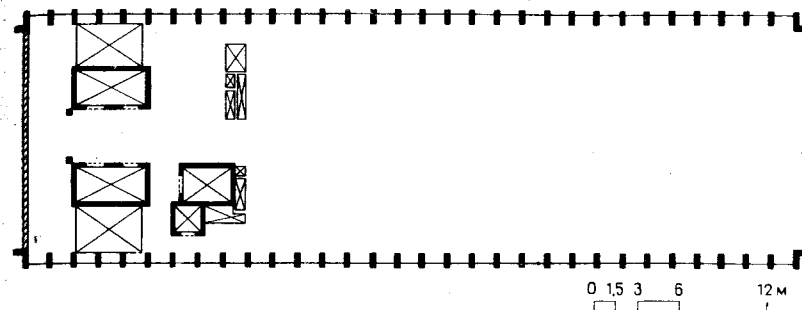


Рис. 4-12. Псевдосимметрия: здание Банко Централь, Манагуа

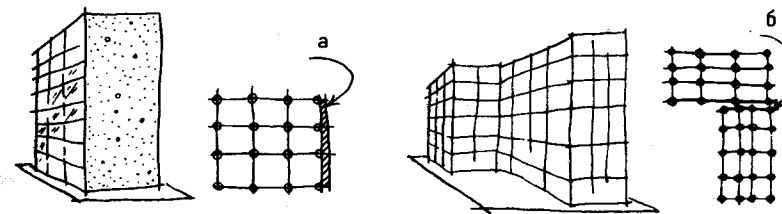


Рис. 4-13. Асимметричные конфигурации, которые фактически являются симметричными
а — несущее заполнение; б — антисейсмические разделительные швы

Распределение и концентрация усилий

Из двух симметричных без входящих углов и с одинаковыми размерами планов (рис. 4-14) при условии использования одинаковых материалов, элементов конструкций и качества строительства — правый наиболее подходит для сейсмостойких зданий и сооружений. Он предусматривает большее количество колонн и стыковых соединений колонн с балками, которые наиболее равномерно распределяют прилагаемую нагрузку; кроме того, пролеты балок оказываются значительно короче, а несущие элементы расположены на одинаковом расстоянии друг от друга. Две идентичные железобетонные балки в ходе испытаний в лабораторных условиях при приложении одинаковой предельной нагрузки разрушаются в разное время. В условиях воздействия реальной сейсмической нагрузки возможны различные варианты разрушения элементов конструкции; однако при правильном распределении нагрузки на несущие элементы обеспечивается равномерная работа всего здания. Если из большого количества несущих элементов один начинает разрушаться, то требуемое сопротивление прилагаемым нагрузкам по-прежнему оказывают оставшиеся элементы. Поэтому конфигурации зданий, при которых происходит концентрация сейсмических нагрузок, вызывающая последовательное накопление значительных усилий в постепенно уменьшающемся количестве несущих элементов конструкции, применять нецелесообразно.

Характерным примером является конструкция резервуара для хранения воды, показанная на рис. 4-15, представляющая собой перевернутый

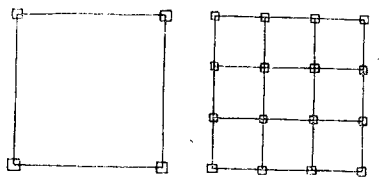


Рис. 4-14. Планы зданий с различным насыщением конструктивными элементами

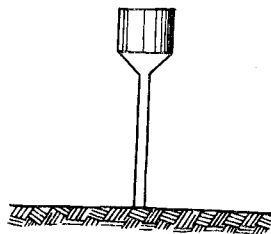


Рис. 4-15. Конструкция типа перевернутого маятника

маятник, в котором 100% прилагаемой поперечной и вертикальной нагрузок приходится на один несущий элемент. Здесь путь перемещения нагрузки один. Проектирование конструкций такого типа может быть вызвано различными причинами, однако более равномерное распределение нагрузки всегда остается важным принципом.

Конструктивные решения (плотность плана)

Размер и количество несущих элементов в зданиях и сооружениях, построенных в предыдущие столетия, значительно превышают те, которые предусматриваются в современных архитектурно-планировочных решениях. Постоянное совершенствование основ конструктивного расчета, эстетические требования способствуют продолжению разработок по уменьшению размеров и количества несущих элементов. В зданиях повышенной этажности с большой гибкостью наблюдаются также колебания, соответствующие более высоким тонам, и при этом максимальные усилия могут возникнуть там, где их появление казалось бы не очевидно, поскольку обычно наиболее значительные нагрузки при землетрясении действуют на уровне основания грунта. Конструкции нижнего этажа воспринимают вертикальные и горизонтальные нагрузки, действующие в верхних уровнях. В то же время эстетические требования, предъявляемые к нижнему этажу, определяют максимальное освобождение планировочного пространства. В качестве хорошо известных примеров такого решения плана первого этажа следует привести консольно нависающую коробку здания, опирающуюся на стойки, жилой дом или гостиницу, в нижнем этаже которых находится просторное помещение гаража с колоннами, расположенными на большом расстоянии друг от друга и т.д.

Конструктивные решения таких зданий не отвечают требованиям оптимальной сейсмостойкости конфигурации, которая требует иметь в нижнем ярусе здания или сооружения мощные вертикальные несущие элементы для восприятия сейсмических нагрузок. Критерии эстетического восприятия, таким образом, входят в противоречие с требованиями сейсмостойкого проектирования.

Интересной статистической оценкой конструктивно-планировочного решения нижнего этажа является "плотность конструктивной схемы (плана)", определяемая отношением полной площади вертикальных несущих элементов — колонн, стен, связей жесткости — к полной площади пола. В типовом современном здании величина этого отношения является минимальной для рамных каркасов даже с учетом огнезащиты колонн, если конструкции выполнены в металле. Например, типовое 10- или 20-этажное здание с несущим

металлическим или железобетонным рамным каркасом соприкасается с поверхностью грунта своими колоннами по площади, равной 1% или менее от площади перекрытия; в случае комбинированной конструкции со связевым каркасом площадь несущих элементов на уровне грунта составит не более 2%. Для многоэтажных административных зданий, конструкции которых включают большое количество стен-диафрагм, это отношение не превышает 3%. Плотность конструктивного плана оснований зданий, построенных в предшествующие столетия, существенно отличается от современной: так, например, для 16-этажного здания Монаднок Билдинг, стены которого выполнены из кирпича толщиной 1,83 м, построенного перед тем, как появились небоскребы с полностью металлическим каркасом, это отношение равно 15% (рис. 4-16).

Специалисты, работающие в области реконструкции зданий, пострадавших во время землетрясений, знают о том, что старые здания имеют большую прочность и в большинстве случаев остаются почти неповрежденными после воздействия сейсмических нагрузок. Хотя то, что подразумевается под словом почти, может оказаться довольно серьезным и дорогостоящим. Тем не менее основной фактор, обеспечивающий требуемую сейсмостойкость старых зданий относится, как правило, к их архитектурно-планировочному решению (конфигурации). Основной объем строительного материала в таком здании находится в нижней части, а конструкции верхних ярусов обеспечивают наиболее рациональные траектории передачи нагрузки. Простые конструктивно логичные конфигурации часто способствуют сохранности зданий во время землетрясений, которые, согласно результатам прогноза, должны были бы разрушиться.

Понятием, аналогичным плотности конструктивной схемы, является количественный показатель протяженности стен здания. Изучения поврежденных зданий в Японии и Турции подтвердили существующую взаимосвязь между длиной стен зданий каркасной системы и объемом повреждений, вызванных землетрясением. Эта взаимосвязь учитывается при разработке нормативных документов в ряде стран, включая Японию и Турцию. После землетрясений в Турции, в Калдриане, 1976, и в Палу, 1977, повреждения пятиэтажных кирпичных зданий с несущими поперечными диафрагмами были тщательно проанализированы и соотнесены с двумя показателями: процентом проемов в наружном стеновом заполнении и отношением длины поперечных несущих перегородок и стен к площади перекрытия, для обеих осей в отдельности. Поскольку все здания находились в одном регионе, их строительные системы были практически подобны. Согласно полученным результатам [9]: "При объеме проемов в наружных стенах свыше 40% возникали повреждения стен".

Изучение железобетонных зданий, поврежденных во время землетрясения Токачи-оки, 1968, Япония, позволило обнаружить, что [10]: "В каркасных конструкциях с некоторым количеством стен, воспринимающих сейсмическую нагрузку, объем повреждений зависит от их количества. В зданиях с достаточно большим количеством стен по отношению к перекрытиям в самих стенах возникает много трещин от сдвига, но в колоннах и балках каркаса были замечены только незначительные трещины". Тошио Шига [11] усовершенствовал этот подход, введя понятие номинальных усредненных касательных напряжений, возникающих в колоннах и стенах первого этажа при воздействии сейсмических нагрузок. Для определения значения номинальных усредненных касательных напряжений вес здания выше уровня грунта принимают равным произведению площади всех перекрытий на некоторый удельный вес, после чего выбирается коэффициент поперечной силы

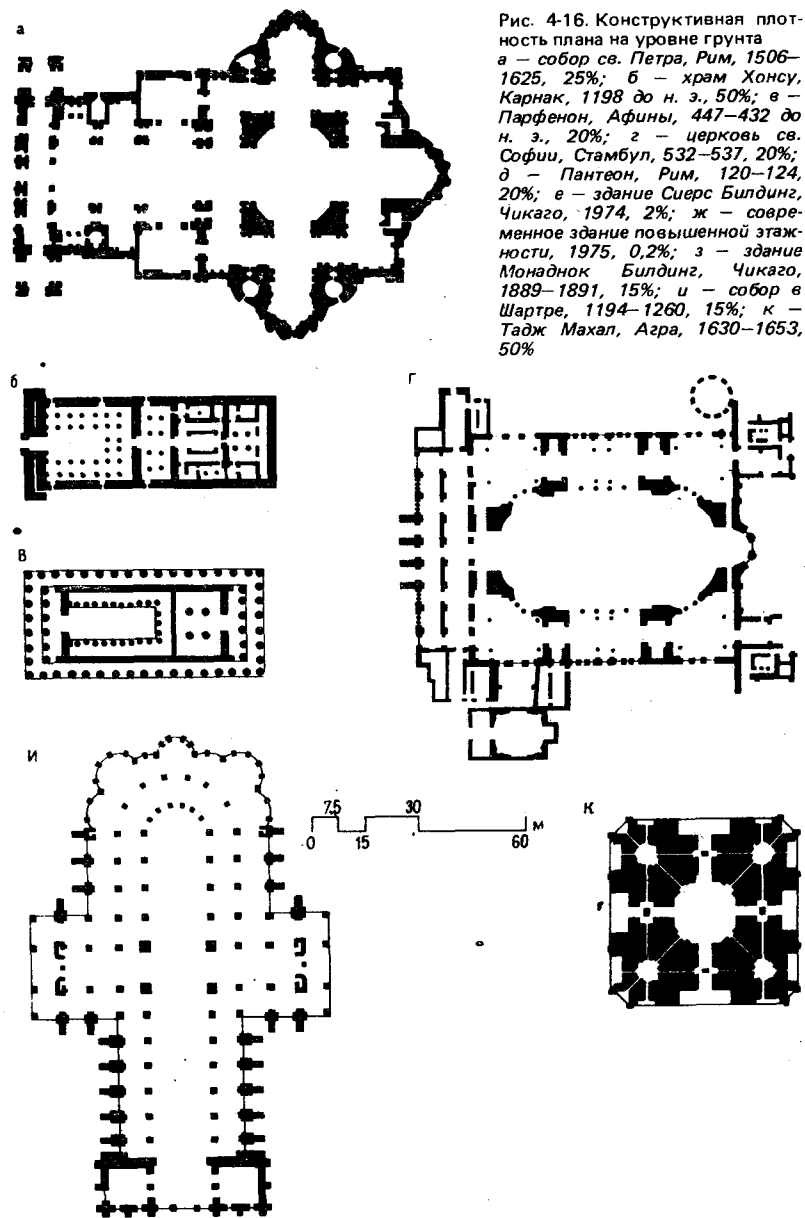
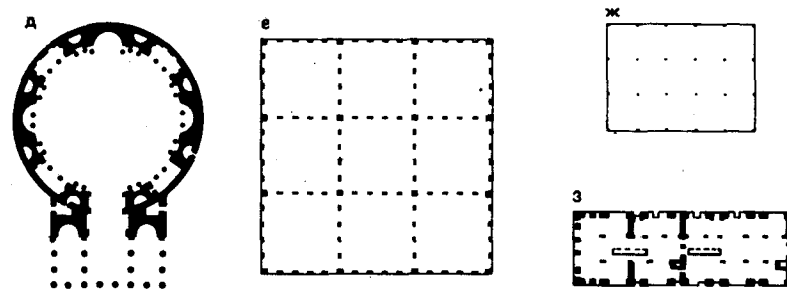


Рис. 4-16. Конструктивная плотность плана на уровне грунта
 а — собор св. Петра, Рим, 1506—1625, 25%; б — храм Хонсу, Карнак, 1198 до н. э., 50%; в — Парфенон, Афины, 447—432 до н. э., 20%; г — церковь св. Софии, Стамбул, 532—537, 20%; д — Пантеон, Рим, 120—124, 20%; е — здание Сиерс Билдинг, Чикаго, 1974, 2%; ж — современное здание повышенной этажности, 1975, 0,2%; з — здание Монаднок Билдинг, Чикаго, 1889—1891, 15%; и — собор в Шартре, 1194—1260, 15%; к — Тадж Махал, Агра, 1630—1653, 50%



в основании и вычисляется площадь, занимаемая колоннами и стеновыми элементами первого этажа. Сравнение приведенных примеров подтверждает различие результатов в зависимости от конструктивного и архитектурно-планировочного решений зданий. В настоящее время такие методы определения сейсмостойкости зданий и сооружений следует рассматривать в качестве научно-исследовательских разработок, но в перспективе они смогут предложить потенциально пригодный способ оценки сейсмостойких конфигураций.

Целесообразность использования простого отношения длины стенового заполнения к площади перекрытия зависит от двух основных факторов: площадь перекрытия должна находиться в требуемом соответствии с массой здания, а следовательно, и с прилагаемыми нагрузками; длина стен должна быть точным индикатором несущей способности, обеспечиваемой связевой системой. Изменения в объемно-планировочной компоновке стеновых элементов (наличие симметричности расположения, несимметричности и др.) в свойствах используемых строительных материалов, а также в типе стыковых соединений, других конструктивных деталях, абсолютных размерах и характеристиках диафрагм оказывают существенное влияние на работу всего здания; однако отношение длины стен к площади перекрытия, благодаря простоте определения и однозначности трактования, является полезным



Рис. 4-17. Отношение длины стенового заполнения к площади пола для двух зданий

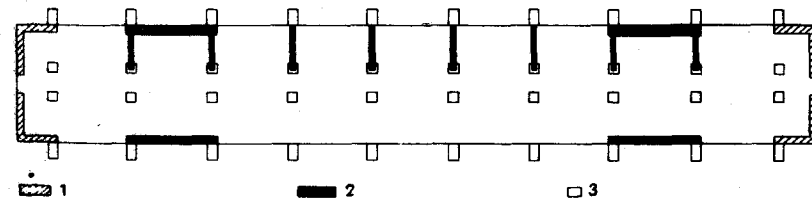


Рис. 4-18. Здание Норд Холл, Калифорнийский университет, Санта-Барбара
 1 — первоначальные стены из бетонных блоков, толщина 20 см; 2 — встроены в 1976 г. новые железобетонные стены, толщина 15 и 30 см; 3 — внутренние и наружные колонны каркаса

критерием и от него не следует отказываться. Указанное отношение принадлежит к перспективным аспектам проектирования с учетом его установления применительно к различным строительным системам, архитектурно-планировочным решениям, сейсмическим зонам и другим параметрам (рис. 4-17 и 4-18).

Углы зданий

Углы зданий являются особой проблемой проектирования сейсмостойких конструкций. Входящие или внутренние углы формы L описываются в последующих главах. Что касается наружных углов зданий, то за счет возникновения "ортогонального эффекта" они также создают определенные сложности расчета конструкций на сейсмические нагрузки. Движение грунта по диагонали к зданию может создавать напряжения в его конструкциях, величина которых меньше по сравнению с той, которая приводилась выше; однако движения такого типа способствуют созданию напряжений в углах зданий, которые значительно больше тех, которые возникают вдоль основных осей. Кларксон Пинкам указывает в своей работе по изучению характера землетрясения в Сан-Фернандо, 1971 [12]: "Особое внимание следует уделять угловым колоннам каркасов при рассмотрении одновременных перемещений как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях".

В углах здания прогиб стены в одной плоскости может вызывать недопустимый прогиб стены перпендикулярного направления. Такое взаимодействие может быть усилено при отсутствии сплошной стены у рассматриваемого угла, как и было в одном из зданий, пострадавших во время землетрясения на Аляске, 1964.

Несущая способность элементов, расположенных по периметру здания

В примерах на рис. 4-19, несмотря на одинаково симметричное решение плана с равным количеством диафрагм, проектные положения последних существенно отличаются друг от друга. На плане справа они образуют плечо рычага большей длины для сопротивления действию опрокидывающих и крутящих моментов. Блюм, Ньюмарк и Корнинг являются сторонниками той конструктивной схемы, где предусматривается усиление периметра здания (хотя не обязательно за счет диафрагм) [13]: "При проектировании сейсмостойких конструкций рекомендуется уделять особое внимание явлению кручения. Рекомендуется также предусматривать в конструктивных решениях зданий повышенной этажности симметрично расположенные каркасы, работающие на восприятие моментов (независимо от типа стеновых элементов); при этом в каждом здании обеспечивается такое сопротивление горизонтальным нагрузкам, которое допустимо для несущих конструкций периферийных зон. В особенности это важно для зданий с навесными панелями, в которых необходимо компенсировать отсутствие несущих элементов в периферийной зоне, что было характерно для зданий старой постройки, надежная работа которых послужила основой при разработке нормативных документов на проектирование сейсмостойких конструкций".

При сопротивлении крутящему моменту, когда центр кручения здания с симметричным планом совпадает с геометрическим центром, увеличению расстояния расположения элементов от этого центра соответствует большая длина плеча рычага, а следовательно, и восприятие большего момента. Отсюда следует, что с точки зрения геометрических параметров наиболее оптимальным архитектурно-планировочным решением следует считать круглый

Рис. 4-19. Проектное положение вертикальных диафрагм для восприятия моментов кручения и опрокидывания
1 — плечо рычага

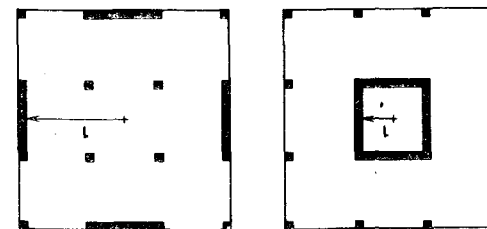
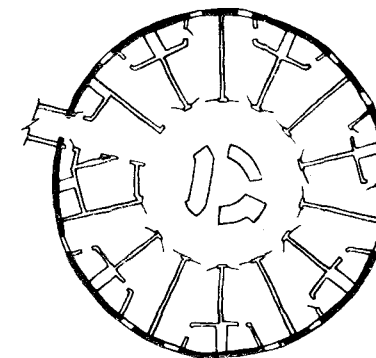


Рис. 4-20. Целесообразное расположение несущих элементов по периметру здания



план здания (рис. 4-20), хотя существует множество других достаточно эффективных конфигураций. Во всех случаях наиболее целесообразным является конструктивное решение, предусматривающее расположение несущих элементов по периметру здания, независимо от того, будут ли это стеновые перегородки, каркасы, рамы с элементами жесткости, а воспринимаемые нагрузки — горизонтальные усилия, кручение или и то и другое вместе.

Здания круглые в плане, имеющие одинаковую несущую способность во всех направлениях, в наибольшей степени отвечают требованиям сейсмостойкого проектирования, учитывающим те неопределенности, которые могут возникнуть во время землетрясения. Принимая вероятность воздействия сейсмических нагрузок по любому из возможных направлений, следует также говорить о неодинаковости сейсмических движений грунта в разных направлениях. Если бы мы могли точно знать направление оси, по которой ожидается воздействие сейсмической нагрузки, то именно в этом направлении следовало бы усилить несущие конструкции. Это подобно случаю, когда учитываются гравитационные нагрузки, поскольку направление их воздействия точно прогнозируется; поэтому балки выполняются из двутавровых профилей, а не круглых, которые для этого типа нагрузки не были бы достаточно эффективны. При одинаковой массе материала жесткость двутавра в 1,5 раза больше, чем жесткость трубчатого элемента на изгиб относительно оси. Однако на сдвиг жесткость трубы выше в пять раз по сравнению с жесткостью двутавра, и еще выше при кручении. Круглый план здания скорее можно считать компромиссным, а не идеальным решением; он способствует максимальному сокращению отрицательных явлений, которые могут возникнуть при воздействии сейсмической нагрузки.

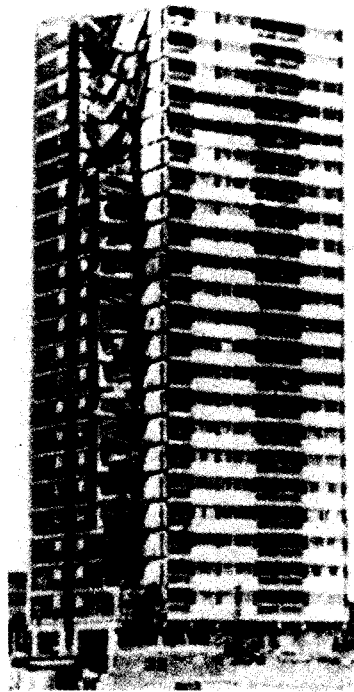


Рис. 4-21. Здание Ронан Пойнт, Лондон

Статическая неопределимость конструкций

Понятие статической неопределимости не следует путать с вынужденным включением в работу несущих элементов. Статически неопределимые элементы конструкции в условиях воздействия обычных расчетных нагрузок не испытывают предельного напряжения; их дополнительная несущая способность проявляется только в необходимом случае, при воздействии сейсмических горизонтальных нагрузок. Они являются полезным дополнительным средством повышения надежности конструкции, так как в расчете не возможен учет всех отрицательных факторов.

Уильям Зак [14] считает присутствие статически неопределимых элементов в конструкции зданий или сооружений одним из наиболее важных условий их надежности. Он приводит множество примеров. Стенка балки с крестообразной решеткой не разрушается даже в случае разрыва более половины всего количества подкосов. Самолеты с отверстиями в конструкции корпуса продолжают свой полет. Одной из наиболее удачных моделей была решетчатая конструкция фюзеляжа самолета, сконструированная Барнсом Уоллисом в Англии и использованная первоначально в 1930-х гг. для корпусов дирижаблей. Подобная конструкция решетчатых куполов была разработана Букминстером Фуллером, в которой в случае повреждения создавалось множество альтернативных путей передачи напряжений; этот самолет послужил прототипом английского бомбардировщика Веллингтон, который принимал участие во второй мировой войне.

Включение в конструкцию статически неопределимых элементов явля-

ется поводом для дискуссии, поскольку многие специалисты считают это нарушением основных концепций инженерной экономики и эстетики проектируемых зданий, так как часть элементов во время эксплуатации здания или сооружения загружается не полностью или работает вхолостую. Тем не менее этот прием используется в конструкциях, проектируемых для восприятия случайных непрогнозируемых нагрузок, а также и для обычных условий эксплуатации.

Катастрофическое разрушение угла жилого дома Ронан Пойнт, в конструкцию которого не были включены статически неопределимые элементы, произошло в Лондоне в 1968 г. В результате взрыва, вызванного скоплением газа, была выбита одна сборная панель на восемнадцатом этаже, что повлекло обрушение угловых панелей четырех верхних этажей. Это произошло потому, что для восприятия возникших нагрузок не было альтернативного пути. Падающие панели затем последовательно разрушили углы нижних 17 этажей (рис. 4-21). При действии сейсмических нагрузок могут возникнуть подобные проблемы для крупнопанельных зданий, если они не включают статически неопределимые элементы. Статическая неопределимость сейсмостойких конструкций важна для сейсмостойкости по нескольким причинам. Она определяется качеством стыковых соединений, поскольку чем больше целостность и взаимосоотносимость конструкции, тем возможнее перераспределение нагрузки. Не менее важным является и архитектурно-планировочное решение (конфигурация) здания, так как количество и проектное положение несущих элементов, которые определяются в процессе архитектурного проектирования, устанавливают потенциальную основу для создания резерва статической неопределимости, которая затем подробно прорабатывается при проектировании конструкций.

Глава 5 НАРУШЕНИЕ СИММЕТРИИ ПРОСТЫХ ПЛАНОВ

Изменение прочности и жесткости по периметру конструкции

В настоящей главе рассматриваются здания с простым решением плана, которые, однако, не оптимальны в части обеспечения сейсмостойкости (см. приложение А.3 — геометрическое определение понятий "простое решение").

Нагрузки здания в условиях воздействия сейсмических нагрузок оказывают конструктивные особенности элементов по периметру. В случае большого изменения прочности и жесткости в элементах, расположенных по периметру здания или сооружения, центр распределения масс совпадает с центром жесткостей, в результате чего крутящие моменты будут стремиться повернуть здание вокруг центра жесткостей, что показано на рис. 5-1.

Такие нагрузки часто вызывают повреждение и разрушение здания. Эри Декенколб, рассматривая этот вопрос, подчеркивает его большое значение для проектирования сейсмостойких конструкций [1]: "Влияние кручения наилучшим образом можно проиллюстрировать на одном из наиболее характерных зданий, построенных в США. Боковые и задние стены почти не имеют проемов, а стена фасада с многочисленными окнами, выходящими на улицу, является достаточно открытой. При действии сейсмической нагрузки конструкции задних и боковых стен сохраняют свою жесткость, но стена фасада становится гибкой, а кровельное покрытие стремится к скручиванию. Проведенные исследования показали, что колонны, расположенные в конструкции стены фасада, будут дополнительно испыты-

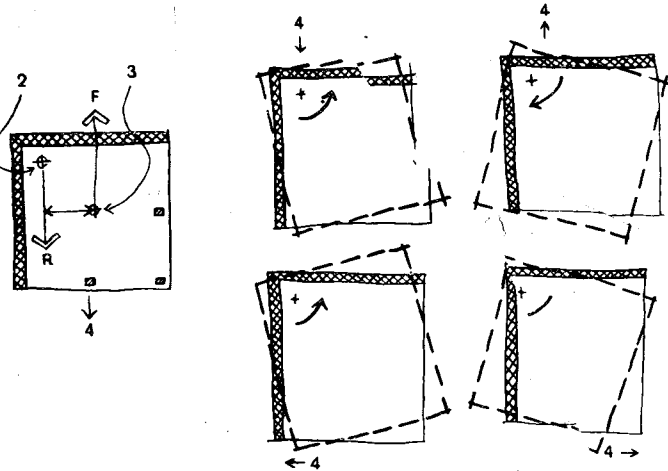
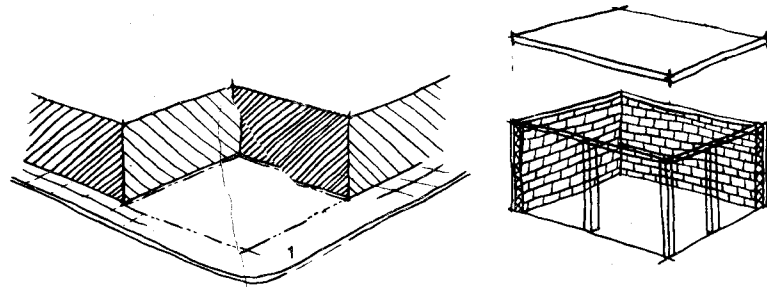


Рис. 5-1. Неуравновешенное сопротивление в горизонтальной плоскости реактивное усилие H и инерционная нагрузка F приложены внецентренно
1 — угловой участок; 2 — центр вращения; 3 — центр масс в горизонтальной плоскости; 4 — перемещение грунта

вать большие напряжения от кручения. На рис. 5-2 показаны план трех подобных зданий, периметр которых образуют три несущие стены, расположенные так, что один торец здания остается открытым, в связи с чем и возникает основное кручение. Если здания с одинаковым решением плана имеют равномерно распределенные диафрагмы жесткости, то при рассмотрении только поперечных деформаций легко определить, что прогиб открытого торца здания при кручении изменяется пропорционально квадрату длины здания. Здания с величиной отношения длины к ширине, равной 1 : 2 или менее, вероятно, не будут иметь больших разрушений от кручения во время землетрясения, так как полный прогиб от кручения увеличивается незначительно по сравнению со случаем, когда сейсмическая нагрузка действует только в перпендикулярном направлении. При увеличении отношения длины к ширине выше 1 : 2 величины дополнительного прогиба от кручения возрастают очень быстро и при отсутствии специальных антисейсмических мероприятий свободный торец здания подвергнется интенсивному разрушению.

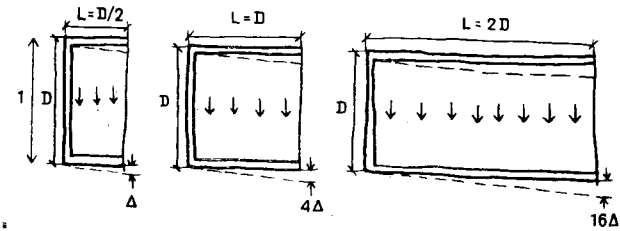


Рис. 5-2. Прогиб при кручении здания с гибкой стеной фасада
1 — перемещение

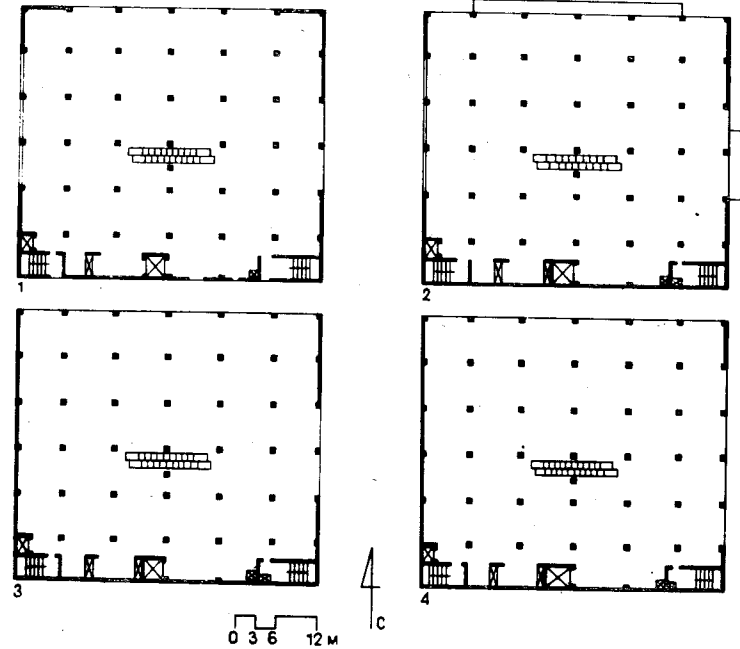


Рис. 5-3. Планы здания универсального магазина Дж. С. Пенни
1, 2, 3 — 1-, 2- и 3-й этажи; 4 — 4- и 5-й этажи

Здание магазина Дж. С. Пенни в г. Анкоридж, пострадавшее во время землетрясения на Аляске в 1964 г., является классическим примером проявления описанного эффекта. Разрушение здания произошло от скручивания и было настолько велико, что его пришлось снести (рис. 5-3). Это пятиэтажное здание было выполнено из железобетона. В качестве наружного стенового заполнения использовалось сочетание монолитных конструкций, железобетонных блоков и сборных железобетонных несущих панелей, которые были достаточно массивными, но не были предназначены для больших нагрузок. Штейнбругге, Маннинг и Декенколб объясняют источник возникновения кручения следующим образом [2]: "На уровне первого этажа несущие стены были расположены по периметру всего здания, поэтому влияние

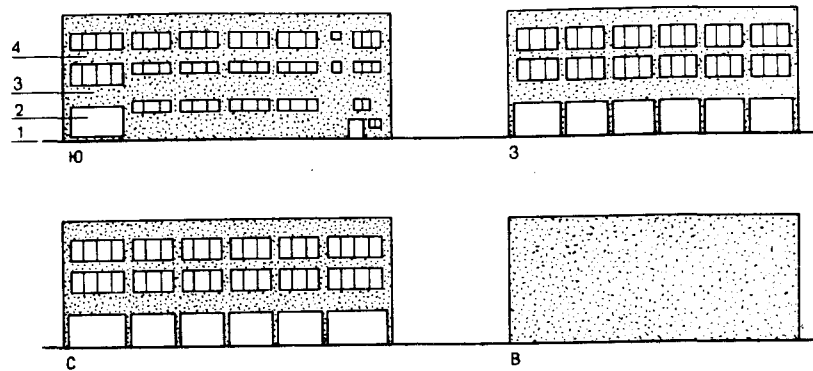


Рис. 5-4. Фасады здания магазина Брока, показывающие различные варианты расположения оконных проемов
1 — 1-й этаж; 2 — мезонин; 3 — 2-й этаж; 4 — 3-й этаж

кручения на конструкции первого этажа было незначительно. Однако верхние этажи имели конструктивно открытую северную стену, поэтому при воздействии горизонтальных нагрузок в направлении восток-запад могли возникнуть большие усилия кручения вследствие U-образной системы жесткости, образуемой остальными несущими стенами”.

Магазин Брока, план которого в некоторой степени подобен плану магазина Дж. С. Пенни, серьезно пострадал во время землетрясения в 1952 г. в Керн-Каунти, Калифорния. Причины разрушения также сходны с теми, которые были зарегистрированы при разрушении здания магазина Дж. С. Пенни. Фасады этого здания выходят на три улицы и поэтому конструктивное решение включало каркасную систему с оконными проемами. Четвертая сторона периметра здания примыкала к соседнему дому и была выполнена сплошной (рис. 5-4). Неравномерное распределение жесткости элементов в плане вызвало большие разрушения в результате кручения. Штейнбурге и Моран в результате изучения этого случая указывают [3]: “Согласно проведенным расчетам на жесткость южной стены второго этажа приходилось от 80 до 90% суммарной жесткости элементов этого этажа в направлении запад-восток”.

Во время землетрясения на о. Минданао, Филиппины, 1976, было разрушено здание гостиницы Нью Сосаети. Оно имело две стены в виде жестких диафрагм и две в виде рамного каркаса с большой гибкостью. Помимо разрушения за счет перемещения грунта большое влияние оказало кручение. Решение плана с открытым фасадом характерно для таких зданий, как станции пожарной охраны и авторемонтные мастерские, в которых необходимо предусмотреть большие въездные ворота для перемещения транспортных средств. Для станций пожарной охраны важно сохранение прямолинейности фасада, так как в случае срочного вызова передние ворота должны немедленно открываться. Станция пожарной охраны в г. Сендай, Япония, имела непрозрачные стеновые элементы, выполненные в виде связевых каркасов с легкой облицовкой и создающие общую каркасную систему. Более легкие каркасные конструкции уменьшают действующие усилия; расчет всего каркаса следует осуществлять исходя из минимального сдвига.

Основная цель любого решения данной проблемы заключается в умень-

Рис. 5-5. Решение 1. Рамная конструкция с равной прочностью и жесткостью по периметру

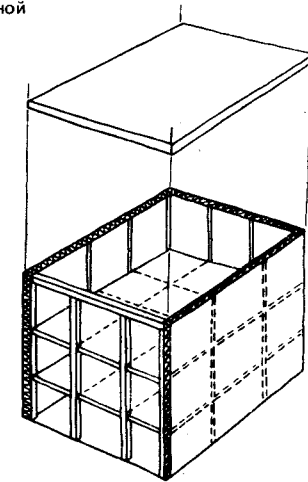
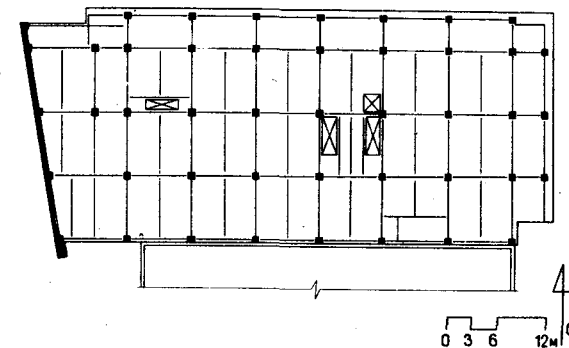


Рис. 5-6. Здание КБ Вэлли Сентер, Лос-Анджелес



шении вероятности появления кручения. Для осуществления этого можно использовать одно из следующих четырех решений. Первое — разработка каркасной конструкции с приблизительно равной жесткостью и прочностью элементов по всему периметру здания. Сплошные конструкции периметра могут выполняться из несущих элементов, не оказывающих влияния на работу каркаса при воздействии сейсмических нагрузок (рис. 5-5). В этом случае могут использоваться легкие материалы или полностью изолированное от каркаса заполнение из тяжелых материалов, таких, как железобетон или кирпичная кладка. Жесткая диафрагма отделена от трех гибких стен, усиленных каркасом с разделительным швом, который позволяет независимое перемещение (рис. 5-6). Второе — увеличение жесткости открытых фасадов за счет установки дополнительных диафрагм, располагаемых у открытых фасадов или вблизи них (рис. 5-7). Выбор решения зависит от особенностей данного проекта. Третье — использование в конструкции открытых фасадов усиленных рамных или связевых каркасов, которые по прочности и жесткости приближаются к сплошным стеновым элементам (рис. 5-8). Выбор этого решения зависит от размера фасада в плане: жесткость длинноразмер-

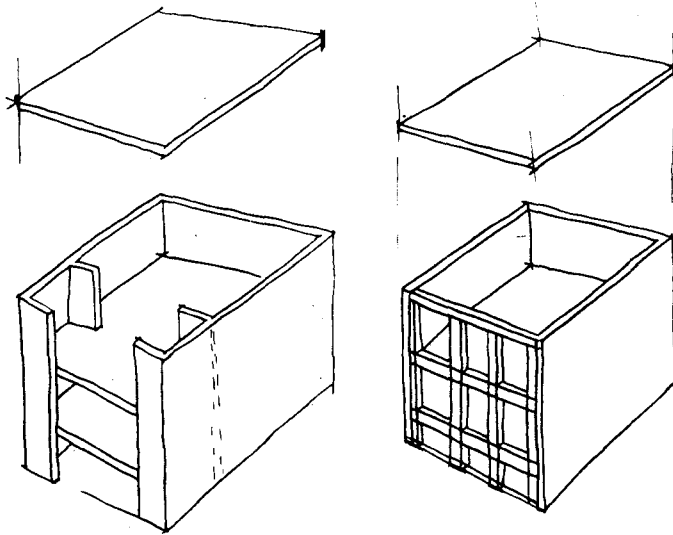


Рис. 5-8. Решение 3. Жесткие рамные или связевые каркасы встроены в стену фасада

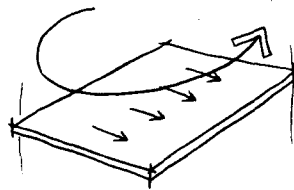


Рис. 5-7. Решение 2. Поперечные диафрагмы добавлены вблизи открытого фасада

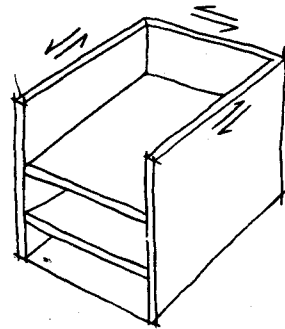


Рис. 5-9. Решение 4. Открытый фасад, фактор кручения учтен в расчете

5-7	5-8
5-9	

ной металлической рамы не может приблизиться по жесткости к такой же железобетонной стеновой панели. Удачным конструктивным решением можно считать здания жилых домов, имеющих деревянный каркас и гараж в нижнем этаже, так как жесткость даже длинноразмерной металлической рамы может быть равной жесткости диафрагм, т.е. перегородок, выполненных из клееной фанеры. Четвертое: расчет конструкций осуществляется на

основе допущения о возможности кручения (рис. 5-9). Такое решение пригодно только для сравнительно небольших сооружений с жесткими диафрагмами, конструкция которых обеспечивает совместность их работы.

Проектное положение ядер (стволов) жесткости. Псевдосимметрия

Размещение внутренних жестких вертикальных диафрагм обычно вступает в противоречие с требованиями функционального назначения, гибкости планировочного решения и открытого пространства; наружные стены при допущении большого количества оконных проемов могут превратиться в раму. Поэтому наиболее часто у многоэтажных зданий роль диафрагм жесткости выполняют ядра (стволы) жесткости. Конструирование и расчет этих массивных элементов жесткости приобретает особенно большое значение при оценке работы здания или сооружения в условиях воздействия сейсмической нагрузки. Большое внимание при этом следует уделять вопросу расположения ядер жесткости относительно общей симметрии здания, так как в случае асимметричного местоположения возможность появления кручения резко возрастает. Таким образом, при определении симметрии конфигурации здания следует учитывать не только общую форму здания, но и местоположение всех основных несущих элементов конструкции.

В архитектурном проектировании часто используется термин "псевдосимметрия", определяющий решение плана зданий, которые с внешней стороны кажутся простыми, правильными по форме и симметричными по конфигурации, однако за счет компоновки несущих элементов являются конструктивно асимметричными. Справедливость этой концепции подтверждается следующими примерами. Здание Банко Сентрал в Манагуа представляет 15-этажную железобетонную конструкцию, возведенную в 1962 г. (рис. 5-10). План здания представляет простой прямоугольник с несущей рамой, работающей на горизонтальные нагрузки. В направлении восток-запад ствол лифтовой шахты, расположенный в одном конце здания, имеет достаточную жесткость для сопротивления воздействию поперечной нагрузки, величина которой приблизительно равна 35% полной горизонтальной нагрузки. В 1972 г. во время землетрясения в Манагуа это здание подверглось серьезным повреждениям; при этом разрушены были как несущие, так и ненесущие элементы конструкции. К наиболее серьезным конструктивным повреждениям следует отнести появление трещин в плите перекрытия вблизи шахт лифтов и лестничных клеток. Основные перемещения зарегистрированы в направлении восток-запад; жесткость железобетонных стен лифтовых шахт была значительно больше, чем жесткость рам, в результате чего в этих зонах перекрытие "разорвалось". Кроме этого, почти на всей площади перекрытия были обнаружены трещины толщиной 12,7 мм. Особенно сильно во время этого землетрясения пострадали ненесущие элементы, что произошло в результате интенсивных толчков, воздействующих на сравнительно гибкую раму (каркас), увеличивающихся за счет внецентренного расположения инженерного ствола здания. Так как в основном толчки грунта проходили в направлении восток-запад, здание не подверглось сильноному воздействию кручения, которое могло бы возникнуть в связи с тем, что жесткое несущее ядро здания было смещено от центра.

Здание жилого дома Фор Сизонз в г. Анкоридж, Аляска, представляло собой шестизэтажную железобетонную конструкцию, возведенную методом подъема этажей, с простым прямоугольным планом и двумя симметрично расположенными железобетонными стволами жесткости: один — для лифта и другой — для лестничной клетки. Ствол, расположенный в южной части

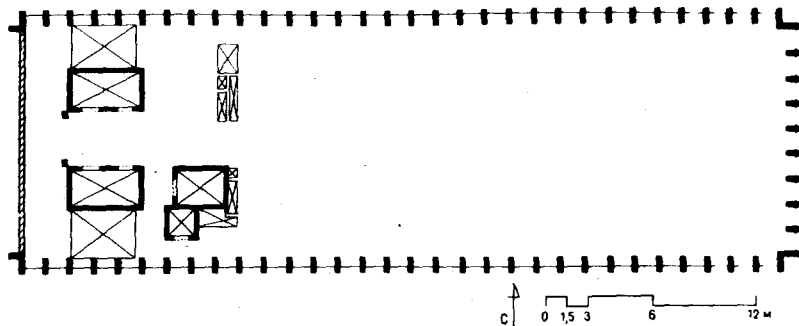


Рис. 5-10. План здания Банко Централь

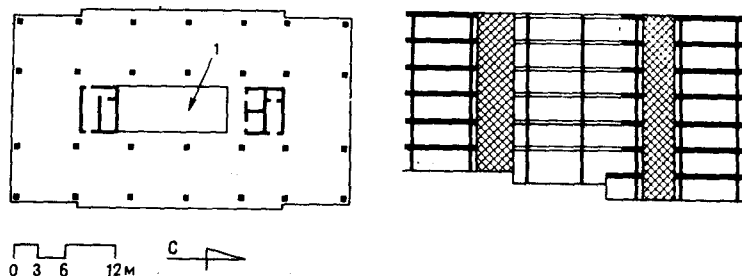


Рис. 5-11. План и разрез жилого дома Фор Сизонс, землетрясение в г. Анкоридж
1 — проем

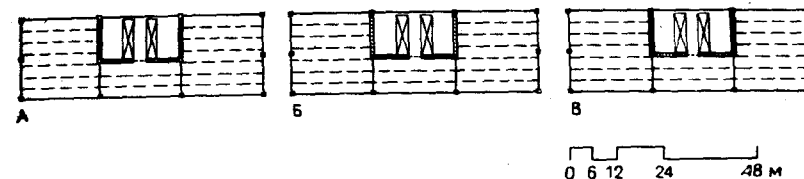
здания, был частично изолирован от перекрытия вырезом по каждому этажу (рис. 5-11). В 1964 г. во время землетрясения на Аляске это совершенно новое здание было полностью разрушено. По свидетельству очевидцев [4]: "Здание разрушилось перед самым концом землетрясения, после сильных толчков, продолжавшихся, может быть, 2—3 мин. До того как здание упало на землю разрушения начались на уровне второго этажа в зоне северо-восточного угла. Затем, слегка наклоняясь в северном направлении, оно разрушилось по вертикали и упало в большом облаке пыли. Металлические несущие колонны также упали на землю в северном направлении, а плиты перекрытия, падая, ложились одна на другую подобно испеченным блинам".

Специалисты по-разному истолковывают причины разрушения этого здания. Однако с точки зрения архитектурно-планировочного решения оно имеет три основных недостатка: две шахты не были соединены между собой в уровне основания или фундамента (рис. 5-11, сечение); несмотря на то что внешне обе шахты кажутся одинаковыми, стены северной шахты создают значительно большую жесткость сечения, а следовательно, и псевдосимметрию, в результате чего несущая способность на действие изгибающих нагрузок этой шахты превышала на одну четверть несущую способность южной шахты (рис. 5-12). За счет проема атриума в перекрытиях, которой расположен между двумя стволами жесткости здания, уменьшилась площадь контакта перекрытия и ядра.

Рис. 5-12. Жилой дом Фор Сизонс
1 — южное ядро; 2 — северное ядро



Рис. 5-13. Здание Нортон Билдинг, Сиэтл, шт. Вашингтон



Очевидно, что одной из наиболее важных проблем при проектировании сейсмостойких конструкций следует считать создание баланса несущих элементов с точки зрения их расположения относительно всей конструкции здания, а также их локального расположения на каждом из этажей или между отдельными конструктивными частями здания. В случае центрального или периферийного расположения ствола или стволов жесткости в здании с симметричным решением плана уменьшается потенциальная возможность появления кручения и воздействия толчков землетрясения на те конструктивные части, которые находятся далеко от этих ядер. Если особенности решения плана здания не позволяют разместить ядра жесткости симметрично, то в конструкцию следует включить некоторое количество дополнительных несущих элементов — что, однако, может быть трудно осуществить, учитывая характер возможных толчков без определенного и заранее известного направления их действия. В то же время нельзя допускать, чтобы в проектируемой конструкции ядро жесткости являлось единственным несущим элементом; следует предусмотреть жесткую несущую раму (каркас) или диафрагмы, которые рекомендуется располагать по периметру здания. Необходимо учитывать, что инженерные стволы — шахты лифтов, лестничные клетки, коммуникационные каналы и другие подобные элементы создают многочисленные отверстия в конструкции перекрытия, и поэтому решение о несущей способности этих элементов относится непосредственно к компетенции инженера-проектировщика.

Для обеспечения достаточной динамической симметрии полная геометрическая симметрия не обязательна. На рис. 5-13 показано проектное решение административного здания, которое, на первый взгляд, представляет собой типичный пример псевдосимметрии с большим смещенным ядром жесткости (А). Однако при более тщательном рассмотрении становится ясно, что продольные несущие элементы симметрично расположены относительно центра здания и воспринимают горизонтальные усилия без создания кручения (Б), а поперечные диафрагмы соответственно сбалансированы для восприятия поперечных нагрузок (В).

Глава УІ. КОНФИГУРАЦИИ ВХОДЯЩИХ УГЛОВ

Определение

Входящие углы составляют одну из общих характеристик здания, а точнее его конфигурации, которая в плане имеет форму L-, T-, U-, H- и крестообразную или некоторое сочетание из этих форм (рис. 6-1). Последние относятся к категории сложных, определение которых дано в прил. А. 3. Такие формы используются наиболее часто, обеспечивая при этом компактность организации обширных пространств с большим количеством светлых и просторных помещений по периметру здания. Системы кондиционирования воздуха, предусматриваемые в проекте, до некоторой степени снижают необходимость доступа воздуха через проемы периметра здания, и за счет этого создается характерная "глубокая" форма плана, типичная для архитектуры середины XX в. Возвращение к естественной вентиляции и фонарям дневного света при решении планов зданий и сооружений может способствовать вторичному появлению в практике строительства узких конфигураций с традиционными простыми входящими углами. По-прежнему целесообразна форма здания с внутренним двориком в плане, в особенности для гостиниц и застройки городских районов с высокой плотностью; с современной точки зрения на вопросы сохранения энергии такой дворик превращается в застекленный атриум, при этом сохраняется запроектированное конструктивное решение.

Расчетные концепции

Следует упомянуть об основных трудностях, которые возникают в процессе проектирования при использовании упомянутых выше проектных решений. Первая относится к переменной величине жесткости различных элементов конструкций, а следовательно, и дифференциации перемещения отдельных частей здания, что вызывает концентрацию местных напряжений в зоне входящего угла.

Рассмотрим здание, имеющее L-образную форму в плане, показанную на рис. 6-2. При перемещении грунта в направлении север-юг жесткость крыла здания, имеющего эту ориентацию, исходя из обычных принципов геометрического построения будет значительно больше, чем жесткость элементов конструкции, расположенных в направлении восток-запад. Если крыло, расположенное с ориентацией север-юг, является отдельным зданием, то его конструкции будут иметь меньший прогиб по сравнению с прогибом крыла, которое расположено в направлении восток-запад. Однако в случае, когда оба крыла объединены в одно здание, каждое из них стремится к собственному перемещению в месте соединения, в результате чего происходит искажение конфигурации элементов с последующим возможным разрушением (рис. 6-3). Такие условия подобны тем, которые создаются за счет влияния эффекта надрезов в элементах конструкции, рассматриваемого в гл. УП. В этом случае следует помнить о динамическом характере действующих усилий; последующее разрушение обычно вызывается знакопеременным перемещением. При перемещении грунта вдоль другой оси работа конструкций крыльев здания соответственно меняется; однако проблема разнонаправленности их перемещений по-прежнему сохраняется.

Вторая сложность, возникающая при проектировании зданий указанных конфигураций, — это проблема кручения или скручивания. Она появляется

Рис. 6-1. Входящие углы в различных конфигурациях

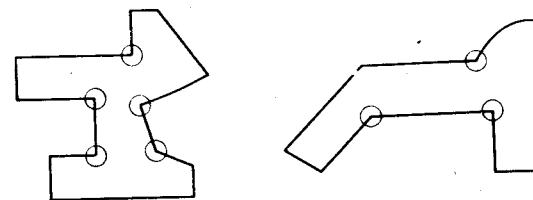


Рис. 6-2. Усилия, действующие на L-образное в плане здание
1 — усилия; 2 — перемещение грунта; Δ — деформация здания

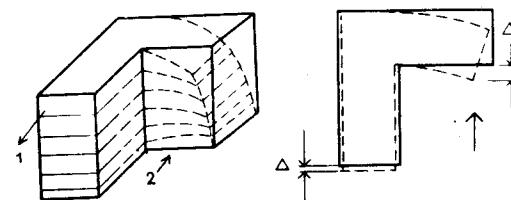
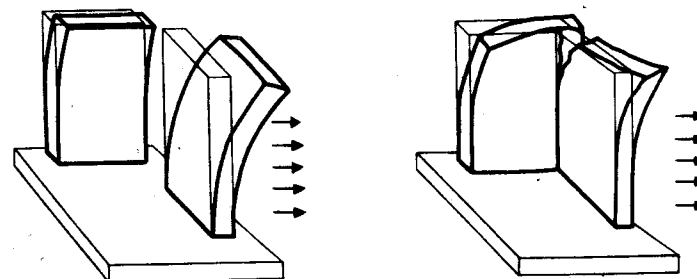


Рис. 6-3. Две схемы L-образного плана



в связи с невозможностью совпадения центра распределения массы конструкций с центром жесткости для всех потенциально возможных направлений действия сейсмических нагрузок во время землетрясения. В результате возникает вращение, которое различными способами и с различной интенсивностью воздействия (что зависит от характера и направления перемещения грунта) стремится исказить форму здания в плане; в итоге появляются силы, направление и величину которых трудно предсказать. Явления, вызываемые эффектом кручения и напряжения, концентрация которых наблюдается в местах переломов плана, взаимно увязаны. Величина сил и степень влияния данного фактора зависят от массы здания, типа конструктивной системы, длины и высоты крыльев здания и отношения их длины к ширине. Часто крылья здания из входящих углов имеют различную высоту, поэтому различность вертикальных размеров, наличие уступов здания в сочетании с горизонтальной неравномерностью формы входящего угла в плане создают еще большую проблему обеспечения сейсмостойкости сооружений.

Примеры поврежденных зданий

Повреждения зданий с входящими углами при воздействии сейсмической нагрузки происходят довольно часто, поэтому возникающие в этих случаях проблемы широко освещаются в технической литературе начиная с

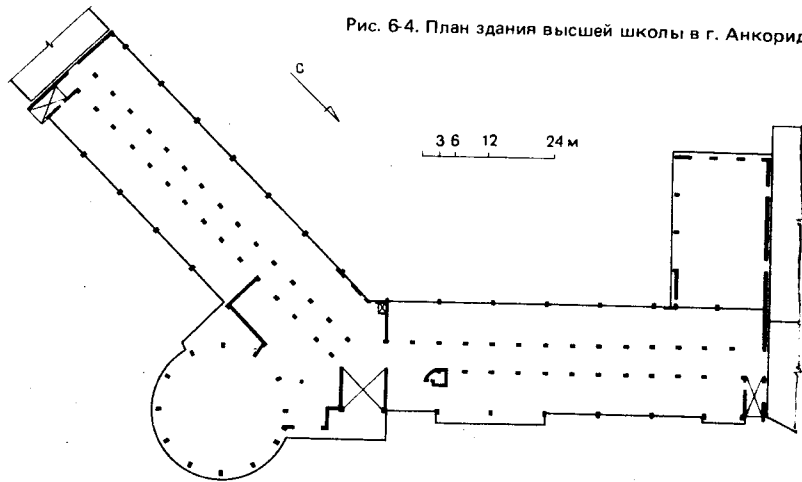


Рис. 6-4. План здания высшей школы в г. Анкоридж

XX в. Наито и Сано [1] большой объем разрушений после землетрясения в Токио, 1923, относят именно к фактору наличия входящих углов.

Р. Клаф провел тщательный анализ разрушения L-образного здания школы во время землетрясения в Чили, 1960, [2]: "Как правило, поврежденные здания и сооружения включают большое количество крыльев или других конструктивных пристроек, а также имеют L-образную форму в плане. Здания с правильной и простой формой в плане отличаются хорошей работой в условиях воздействия сейсмической нагрузки. В рассматриваемом здании школы повреждение наступило в месте конструктивного соединения двух отдельных частей (крыльев) здания. Правая сторона крыла была выдвинута относительно переднего плана; перпендикулярно была расположена система перекрытий другого крыла. При обследовании было замечено, что плиты перекрытия по мере того, как отдельные корпуса здания перемещались относительно друг друга, выдавливались из своей плоскости, нарушая при этом устойчивость колонн с последующим их разрушением. . . Разрушение в рассматриваемом крыле здания происходило, в основном, по причине изменения прямого угла, характерного для конструкций L-образной формы; плиты перекрытий выбивали стеновые элементы. Это не было следствием ошибки, допущенной при проектировании, однако изменение сейсмического коэффициента в нормативной документации могло бы улучшить положение. Проектировщики должны учитывать все аспекты проблемы при разработке основного конструктивного решения".

Повреждения здания высшей школы в г. Анкоридж (рис. 6-4) во время землетрясения на Аляске, 1964, являются типичными для такого вида конструкций, и, поскольку полного разрушения здания не произошло, последовательность событий была восстановлена и проанализирована инженером Дж. Миханом [3]: "Нельзя точно определить последовательность или направление разрушения; однако можно предположить, что повреждение конструкции началось с покрытия, у вершины угла, образованного двумя частями крыла здания с расположенными в нем классными комнатами за счет возникновения в этой конструкции покрытия крутящего момента. Кроме того, после отделения диска кровельного покрытия в этой точке каждая часть



Рис. 6-5. Высшая школа в г. Анкоридж. Повреждение диафрагм в месте пересечения крыльев здания

крыла с расположенными в нем классными комнатами начала работать как отдельное здание, что вызвало перераспределение нагрузки в стенах-диафрагмах. Такие диафрагмы показаны на рис. 6-5; их несущая способность была недостаточной для восприятия перераспределенной нагрузки, в результате чего они были повреждены. Несущая способность колонн наружной части здания, расположенных на уровне второго этажа, оказалась также недостаточной для восприятия всей нагрузки, поэтому они тоже были повреждены. В этот момент разрушающее действие сейсмической нагрузки прекратилось. Более гибкие колонны центральной части коридора не пострадали".

Со слов очевидца, видевшего разрушение этого здания, было записано следующее [4]: "Я только что сел в свой автомобиль, когда началось землетрясение. Перед моими глазами стояло здание школы, но толчки продолжались уже сравнительно долго и я подумал, что землетрясение должно скоро кончиться. Однако оно продолжалось с заметным увеличением интенсивности воздействия. В конце концов через некоторое время все остекление второго этажа, казалось, взорвалось и разбилось вдребезги. Затем с двух концов V-образных крыльев здания с расположенными в них классными комнатами появились "волны" и начали распространяться по направлению к центру и обратно. Это продолжалось несколько раз, после чего крыша как бы "вздохнула", приподнявшись, а когда она села на место, все колонны второго этажа разрушились".

Концентрация напряжений в острие входящего угла имела место в здании Сан-Маркос, которое пострадало во время землетрясения в Санта-Барбара, 1925. Разрушение угла этого L-образного в плане четырехэтажного железобетонного каркасного здания произошло во время сотрясения его крыльев, в результате чего они ударили друг друга в зоне примыкания



Рис. 6-6. Разрушение входящего угла здания Сан-Маркос, землетрясение в г. Санта-Барбара, Калифорния, 1925

(рис. 6-6). Левое крыло и соединяющий угол здания были построены позднее, чем правое крыло. Плохое качество используемых строительных материалов и арматурных деталей также явились одной из причин разрушения. Б. Уиллис и Г. Дьюэлл в то время отметили [5]: "Разрушение главным образом было обусловлено формой плана нижнего этажа и положением нижнего этажа относительно направления толчков землетрясения".

План входящего угла наглядно демонстрирует опасность, возникающую при передаче нагрузки между элементами конструкции разного масштаба. Нельзя сравнивать работу сплошного металлического H-образного профиля, сторона которого равна всего 305 мм, с поведением здания, имеющего два крыла длиной 30 м или более, соединенных плитами перекрытия. Работа последних не будет однородной и возникающие усилия будут передаваться через большое количество колонн, балок, плит перекрытий и различных соединительных элементов, прочностные свойства и жесткость которых отличаются друг от друга, в результате чего передача нагрузок осуществляется по разным направлениям при изменяющемся эксцентриситете. Поэтому если полки H-образной колонны определяют ее жесткость и прочность на поперечную силу, то работа крыльев H-образного в плане здания будет подобна полкам такой колонны.

Даже небольшому отклонению от размеров H-образного профиля или двутаврового сечения соответствует появление ограничений во взаимодействии полок и стенок конструктивных элементов. Конструкция, состоящая из монолитной железобетонной плиты и железобетонных балок, должна быть аналогична профилю тавровой балки. Работа плиты подобна работе верхней полки и заключается в восприятии сжимающих усилий в зонах положительного момента, в то время как арматура нижней зоны балки воспринимает растяжение. Однако при расстоянии между балками, равном, например, 6,1 м, такая аналогия будет неправомерна, так как составляющие элементы не будут работать совместно. Пример разрушения школьного здания в г. Анкоридж подтверждает, что диафрагма в зоне угла подвергается воздействию значительных сил, поэтому фактор прочности в этом месте имеет большое значение. Одновременно по соображениям эксплуатации здесь наиболее удобно создать зону вертикальных коммуникаций, таких,

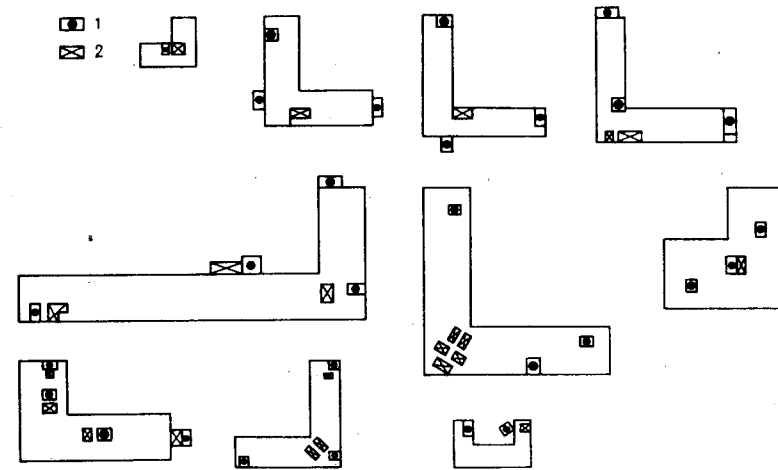


Рис. 6-7. Схематический план существующего L-образного здания
1 — лестницы; 2 — лифты

как лестничные клетки или лифты в многоэтажных зданиях. Таким образом, лестничные клетки и лифты устанавливаются в проеме диска перекрытия в наименее целесообразном месте (рис. 6-7).

Решения

Существуют два основных альтернативных метода подхода к рассмотрению проблемы, связанной с решениями планов зданий, имеющих входящие углы: конструктивное разделение здания на более простые формы и более прочное и жесткое соединение отдельных частей здания (рис. 6-8). В случае использования антисейсмических швов их проектирование и устройство должно осуществляться с высоким качеством и надежностью, обеспечивающими требуемую работу в условиях воздействия сейсмической нагрузки. Конструктивно разделенные части здания должны иметь достаточную несущую способность для восприятия вертикальных и горизонтальных нагрузок, а их собственные формы планов следует уравнивать как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. Важность этой проблемы подтверждается примером полного разрушения отдельно стоящих блоков лестничных клеток здания госпиталя Олив Вью во время землетрясения в Сан-Франциско, 1971 (см. гл. VIII). При подобной конфигурации отделение вспомогательных блоков от основного здания должно выполняться с учетом обеспечения расстояния между ними, достаточного для предотвращения соударения. Например, расстояние в 10,16 см между основным зданием больницы Олив Вью и блоками лестничных клеток оказалось небольшим и произошло разрушение от соударения.

О недостаточном внимании, уделяемом обеим проблемам, наглядно свидетельствует разрушение зданий во время землетрясения Токачи-оки в Японии, 1968. Так, здания средней школы Нохейи и высшей коммерческой школы Мисава были повреждены в результате соударений слишком близкорасположенных отдельных частей. В здании начальной школы Гонохе с H-образной формой плана возникло большое количество серьезных трещин в мес-

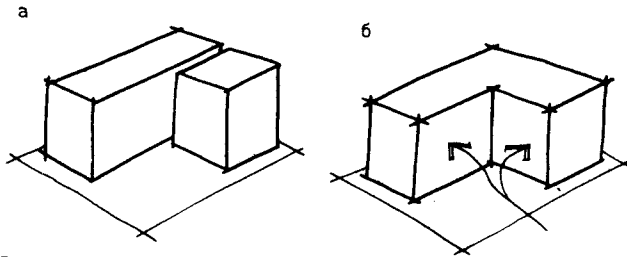


Рис. 6-8. Два основных решения входящих углов здания
а — разделение здания; б — соединение крыльев здания

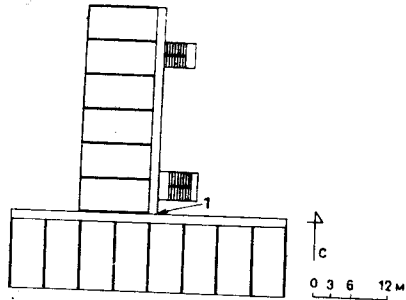
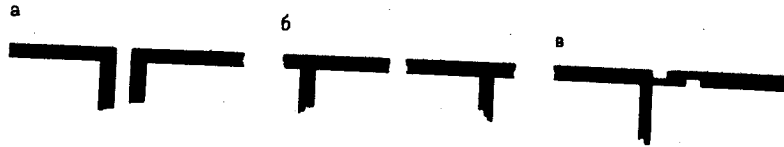


Рис. 6-9. План здания Санничайтс, показывающий расположение антисейсмических швов
1 — антисейсмический разделительный шов

Рис. 6-10. Способы решения разделительных швов
а — колонны или стены; б — консоль; в — соединение типа "скользящий шов"



те примыкания двух отдельных крыльев, так как эта зона не обладала достаточной несущей способностью как единый элемент. В качестве другого примера из практики японских проектировщиков можно привести многоэтажное жилое здание Санничайтс с L-образным планом, разделенное антисейсмическими швами на два прямоугольных сооружения (рис. 6-9), чья работа соответствовала прогнозируемой модели, приводимой в учебниках по расчету сейсмостойких конструкций на действие возникающих во время землетрясения нагрузок. В данном случае сейсмические нагрузки были достаточно большими для повреждения внешнего облика здания, однако антисейсмические швы между отдельными блоками предотвратили возникновения соударений, а следовательно, и повреждений конструктивного характера.

При проектировании антисейсмических швов следует определить максимальную величину возможного сдвига обеих частей здания. В худшем случае обе конструктивные части наклоняются в направлении друг к другу одновременно, и поэтому размер разделяющего их пространства должен перекрывать величину суммы прогибов обоих зданий. Антисейсмические швы могут быть различных типов, но во всех случаях они должны обеспечивать полное конструктивное разделение систем перекрытий и стеновых элементов соседних блоков (рис. 6-10). Неконструктивные элементы, такие, как перегородки, подвесные потолки, коммуникационные трубы и каналы также проек-

Рис. 6-11. Разделение сложного плана Медицинского центра Калифорнийского университета на отдельные части

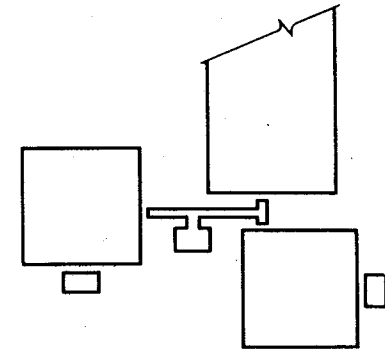


Рис. 6-12. Соединение здания в единое целое
а — связевые балки; б — диафрагмы

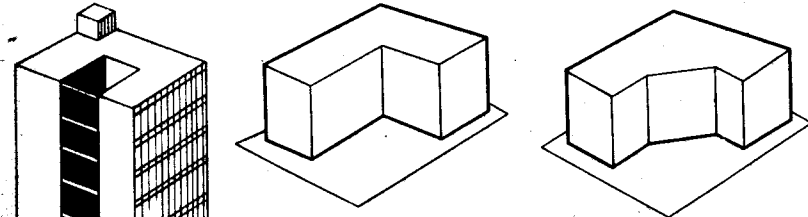
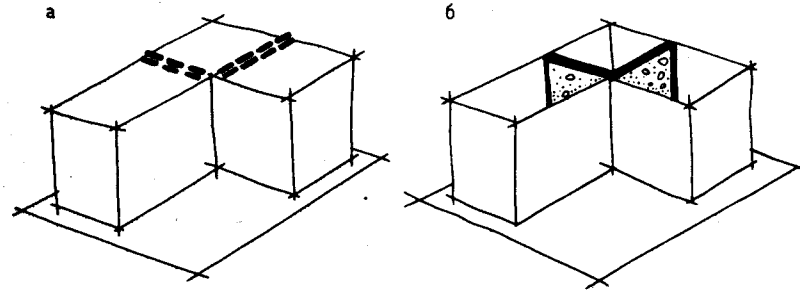


Рис. 6-13. Решение конструктивной схемы U-образного в плане здания Парк Роу, Нью-Йорк, рассчитанного на сопротивление ветровым нагрузкам

Рис. 6-14. Скошенный входящий угол

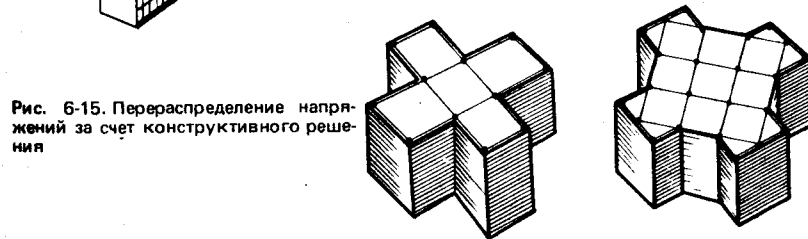


Рис. 6-15. Перераспределение напряжений за счет конструктивного решения

тируются с учетом возможного перемещения, кроме тех случаев, когда можно без особого экономического ущерба пожертвовать некоторыми второстепенными элементами. (Например, можно пожертвовать снимаемыми листовыми металлическими секциями навесных стеновых панелей, но нельзя обычным остеклением навесных панелей.) Конструкция антисейсмических разделительных швов подобна конструкции температурных швов, однако первые имеют несколько большие размеры и более однородную работу в условиях горизонтальных и вертикальных колебаний. Разрушение конструкций также наблюдалось в местах швов (при возникновении ударов одной части здания о другую), которые рассчитывали по типу температурных, а фактически они работали в качестве антисейсмических (с неправильным определением размеров). На рис. 6-11 показан пример здания, конструкция которого включает антисейсмические швы.

Если в процессе проектирования принято решение выполнить конструкцию здания единой, без антисейсмических швов, то необходимо учесть следующие факторы. Как уже указывалось в гл. III, в зонах пересечения для передачи соответствующих усилий связевые элементы могут использоваться только в том случае, когда проект допускает включение в конструкцию стержневых элементов, развитых на всю ширину здания. Вместо связевых элементов возможно использование диафрагм, устанавливаемых в тех же местах (рис. 6-12). Наиболее уязвимая часть крыла здания — его открытый торец, поэтому рекомендуется в этом месте сооружения устанавливать элементы жесткости (рис. 6-13).

Использование в планах зданий и сооружений входящих скошенных углов снижает влияние концентраторов (рис. 6-14), так же как круглое отверстие в металлической пластине создает меньшую концентрацию напряжений по сравнению с прямоугольным. На рис. 6-15 показаны примеры конструктивных решений, включающих компромиссное сочетание форм: крестообразной или вписанной в простой квадрат.

Глава VII. КОНФИГУРАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ УСТУПОВ ЗДАНИЙ

Определение

Вертикальная неравномерность геометрии здания включает одно или несколько изменений размера перекрытий в пределах высоты здания. В настоящей книге, рассматривающей влияние сейсмических нагрузок на архитектурно-планировочные решения зданий и сооружений, конфигурация уступа определяется как геометрическая проекция на вертикальную плоскость; некоторые характерные типы конфигураций уступов представлены в прил. А.3, табл. А.3-6, а также на рис. 7-1. Вертикальные уступы могут присутствовать и в сложных очертаниях, что показано в прил. А.3, табл. А.3-8. Размеры вертикальных уступов могут быть различными и зависят от типов используемых строительных систем. Вертикальные уступы вводятся исходя из требований зонирования верхних этажей, которые отклоняются от красной линии для того, чтобы обеспечить поступление воздуха и лучшую освещенность примыкающих территорий, а также требований, предусматривающих уменьшение площади пола на верхних уровнях. Проектирование вертикальных уступов, в основном, определяется архитектурным решением здания (рис. 7-2). Например, в очертаниях зданий Эмпайр Стейт Билдинг и Левер Билдинг имеются незаполненные объемы, что объясняется как их архитектурным стилем, так и коммерческими соображениями.

Включение в планировочное решение уступов по соображениям зониро-

Рис. 7-1. Характерные конфигурации уступов

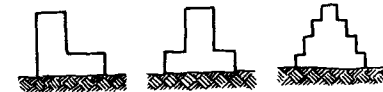


Рис. 7-2. Здания Эмпайр Стейт Билдинг (а) и Левер Билдинг (б) (не в масштабе)

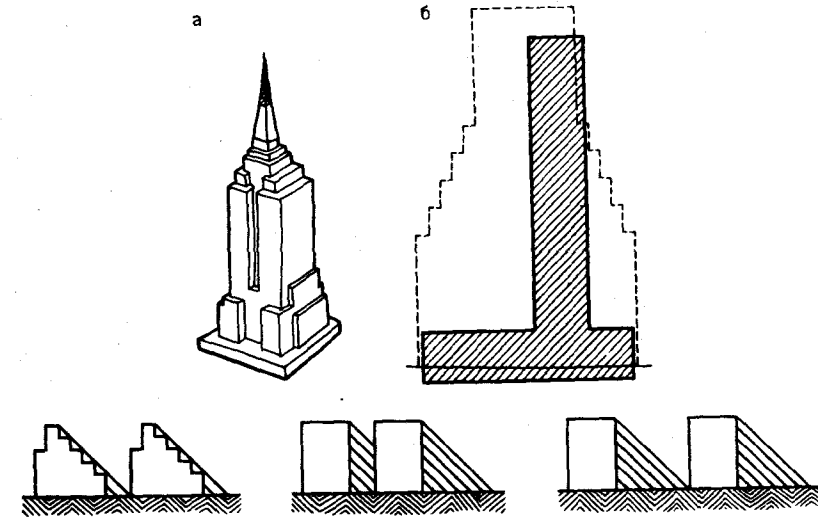


Рис. 7-3. Использование формы уступов для уменьшения затенения

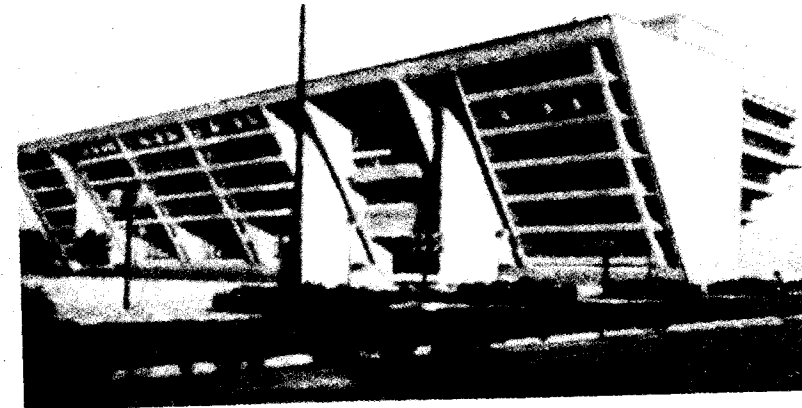


Рис. 7-4. Здание Даллас Сити Холл

вания верхних этажей было характерно для технологии строительного проектирования несколько десятков лет назад, так как вопросу обеспечения естественной освещенности помещений придавалось большое значение. Примерами такого архитектурно-планировочного решения являются здания повышенной этажности в Нью-Йорке. В результате последующего влияния архитектурных стилей эти формы были заменены на простые четырехугольные массивные закрытые пространства, которые получили развитие благодаря внедрению средств искусственного освещения и кондиционирования воздуха. В настоящее время требования, относящиеся к необходимости сохранения естественной освещенности, находят свое отражение в новой архитектурной концепции включения в конструкцию зданий фонарей верхнего света, что, в свою очередь, возрождает интерес проектировщиков к формам вертикальных уступов; эта обновленная концепция означает отказ от прямоугольных сплошных форм (рис. 7-3). Новый тип конфигурации вертикальных уступов характерен для зданий, площадь пола которых увеличивается с ростом высоты; такая конфигурация называется обратным уступом. Геометрические пропорции обратных уступов, необходимые для обеспечения общей устойчивости сооружений, менее выражены, чем пропорции прямых уступов. В последнее время было спроектировано и построено несколько интересных, сложной формы зданий, а некоторые из них стали образцами современных архитектурных стилей (рис. 7-4).

Проблемы, возникающие в ходе проектирования

Наличие вертикальных уступов в здании и сооружении определяет изменение прочности и жесткости по вертикали. Степень влияния вертикального уступа на работу здания зависит от относительных пропорций и абсолютных размеров частей здания. Кроме того, симметрия или асимметрия плана части здания, расположенной выше и ниже уступа, также оказывает влияние на характер возникающих усилий. Если башня или основание здания (или и то и другое) динамически асимметричны, то в конструкции возникают скручивающие усилия, значительно осложняющие анализ работы здания.

Концентрация усилий возникает в месте перелома вертикального очертания здания. Чем меньше ступени в вертикальном уступе, тем меньше влияние концентратора. Трапециевидная форма помогает практически полностью избежать влияния концентрации напряжений (рис. 7-5). В прямом или обратном уступе с равномерным наклоном (если каркас и заполнение обладают свойством неразрезности) почти нет резкого изменения жесткости (хотя работа таких уступов не может быть оценена с помощью стандартных методов и требует специального анализа). В случае если в верхней части здания имеются диафрагмы, то в месте их сопряжения с основной конструкцией возникает ступень изменения жесткости и эти диафрагмы передают значительные усилия на диск перекрытия (рис. 7-6). Если диафрагмы не сплошные, то опрокидывающие моменты так же, как и поперечные силы, должны находить альтернативные пути восприятия. Таким образом, вертикальный уступ с разрезными поперечными диафрагмами создает различные аномалии взаимодействия, которые могут дополнять и усиливать друг друга.

Обычно вертикальные уступы характерны для конструкции отдельного стоящего здания, однако может возникнуть ситуация, когда их включают в комплекс соединенных между собой зданий, имеющих различную высоту. Например, в 1972 г. в Манатюа во время землетрясения шестизэтажное здание Ланг Билдинг с одной стороны примыкало к трехэтажному зданию, а с другой — к двухэтажному. Особенно сильное повреждение произошло на уровне

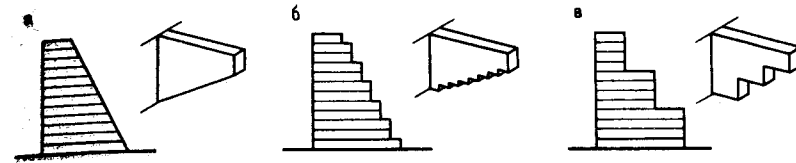


Рис. 7-5. Уступы: аналогия перехода от конусообразной конструкции балки к ступенчатой
 а — суживающаяся кверху; б — суживающаяся кверху, с неглубокими ступенями; в — ступенчатая балка: резкое изменение жесткости

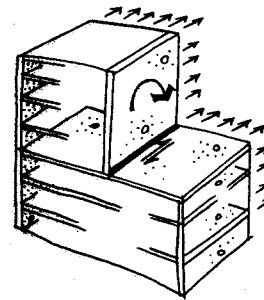


Рис. 7-6. Уступы, включающие диафрагмы, могут искажать траекторию передачи нагрузок на конструкцию фундаментов

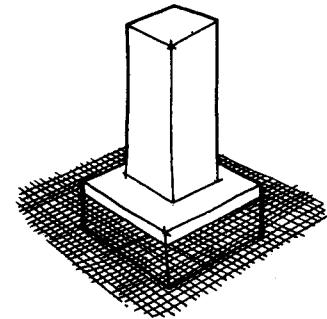


Рис. 7-7. Конструкция, состоящая из узкой башни на широком подиуме, часто используемая для зданий с встроенным гаражом

чуть выше второго этажа, со стороны примыкания шестизэтажного здания к двухэтажному; в то время как выше второго этажа серьезных повреждений замечено не было. Такое повреждение частично можно отнести за счет независимых колебаний примыкающих зданий, в результате которых одно здание ударилось о другое; однако основное повреждение произошло по причине ступенчатого изменения жесткости на уровне кровельного покрытия примыкающего двухэтажного здания. Поскольку нижние этажи здания Ланг Билдинг сжимались примыкающими зданиями, то в этой части и наблюдалось максимальное повреждение.

Инженером С. Б. Барнсом был проведен анализ работы зданий башенного типа, опирающихся на широкие стилобаты, возведение которых обусловлено обеспечением парковочных пространств [1]: "Этот тип зданий наиболее распространен в южной части Калифорнии, где требуется большое количество парковочных мест, обеспечение которых предусматривается законодательством штата. Конструкция зданий башенного типа обычно включает рамный каркас без диафрагм. Конструкция стилобата, имеющего большие размеры в плане, как правило, состоит из нескольких подземных уровней (этажей) со своими стеновыми элементами, жесткость которых почти бесконечна по сравнению с более гибким каркасом башни (рис. 7-7). На уровне передачи поперечных нагрузок с конструкции башни на элементы периметра стилобата следует предусмотреть специальную массивную горизонтальную диафрагму с соединениями в виде специальных связей".

Как обычные вертикальные, так и обратные уступы создают условия для

изменения жесткости и концентрации напряжений; что касается соответствующих характеристик общей формы, то их воздействие различно. Так, например, при замене одного большого уступа несколькими меньшего раз- мером, или при придании трапециевидной формы зданию с обычным верти- кальным уступом, можно сгладить те сложности, которые возникают при резком изменении жесткости. Однако для здания с обратным уступом такая замена только создаст дополнительные трудности, так как наиболее целе- сообразно центр массы здания или центр тяжести по возможности прибли- зить к уровню грунта. Действие сил на более низком уровне означает мень- шую длину плеча силы, а следовательно, и меньший опрокидывающий мо- мент. Обычный вертикальный уступ или пирамидальная конфигурация рас- пределяет массу здания правильно, в то время как при наличии обратных выступов распределение массы происходит вразрез с основными расчетными критериями.

В здании, имеющем форму перевернутой пирамиды, происходит умень- шение массы на единицу высоты здания по направлению к поверхности грун- та, что не соответствует оптимальности конфигурации зданий для сейсмо- стойкого строительства.

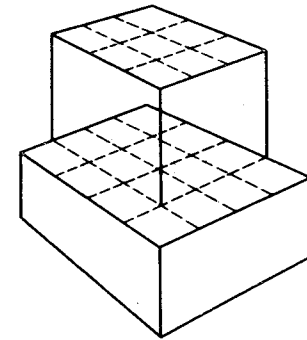
Специфика проектирования вертикальных уступов в соответствии со строительными нормами

На протяжении многих лет проектирование вертикальных уступов считается одной из наиболее сложных проблем архитектурно-строительной технологии, поэтому строительные нормы предусматривают для этого случая специальные положения. В действующих сегодня строительных нормах по проектированию сейсмостойких конструкций указывается [2]: "Здания, в конструкцию которых включены вертикальные уступы с размерами ба- шенной части в плане в каждом из направлений равными по меньшей мере 75% соответствующего размера нижней части здания в плане, могут рас- сматриваться как однородные, без каких-либо уступов и других отклонений от правильной формы. Для прямоугольников это правило выдерживается, когда площадь плана башенной части составляет 9/16 от площади плана подиума (рис. 7-8). В Комментариях SEAOC (1975 г.) по этому разделу добавляется [3]: "Иногда при наличии уступа требуется передать попереч- ную нагрузку с верхнего стенового элемента, образующего вертикальный уступ; на стеновой элемент, расположенный ниже. Включение вертикальных уступов требует специального анализа возможности возникновения опроки- дывающего момента. Во многих случаях вертикальные уступы создают определенную степень неравномерности распределения жесткостей, требу- ющей специального анализа динамических характеристик конструкции. Это необходимо для обеспечения наиболее оптимального распределения попереч- ных нагрузок". В дополнение в этом же документе дается ссылка на прило- жение С отчета 1958 г. Подкомитета по вертикальным уступам сооруже- ний. Таким образом, согласно положениям нормативных документов, в слу- чае наличия в сооружении уступов инженеру-проектировщику предоставля- ется большая свобода в проведении анализа и выбора соответствующего решения.

Подкомитет по вертикальным уступам сооружений

В 1958 г. Подкомитет по вертикальным уступам сооружений, образова- нный в рамках SEAOC, возглавляемый Дж. Блюмом, сделал попытку созда-

Рис. 7-8. Соотношение площадей уступов по верти- кали



ния основных положений, которые могли быть приняты за основу при составлении строительных норм по проектированию конфигураций верти- кальных уступов. Написанные предложения не были одобрены, хотя по-преж- нему включены в "Голубую книгу" Комментариев SEAOC к нормативным документам и являются полезным руководством для проектировщиков.

Подкомитет определил четыре основных расчетных состояния [4], краткое описание которых приводится на рис. 7-9 и в табл. 7-1.

Таблица 7-1

АНАЛИЗ МЕТОДОВ, ПРЕДЛОЖЕННЫХ ПОДКОМИТЕТОМ ПО ВЕРТИКАЛЬНЫМ УСТУПАМ СООРУЖЕНИЙ SEAOC

$\frac{b_2}{b}$	$\frac{h_2}{h}$	Расчетный вариант
от 0,8 до 1	Любая	A – средняя ширина
" 0,6 " 0,8	> 0,35	B – основание и недостройка
" 0,4 " 0,6	> 0,25	" " " " " "
" 0 " 0,4	> 0,4	B – башня и пристройки
" 0,6 " 0,8	от 0,65 до 1	" " " " " "
" 0,4 " 0,6	" 0,75 " 1,	Г – все, что подходит для любого
> 0,4	" 0,8 " 1	элемента; средняя ширина, 120%
> 0,4	> от 0,4 до 0,8	нагрузок, основание и башня как в
от 0,6 до 0,8	> от 0,35 до 0,65	случае B

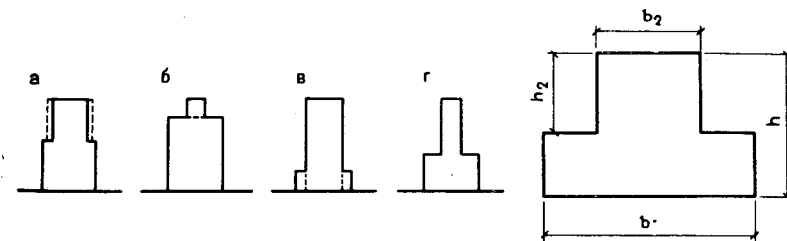


Рис. 7-9. Категории уступов, определенные SEAOC 1958 г. по предложению Под- комитета по уступам сооружений

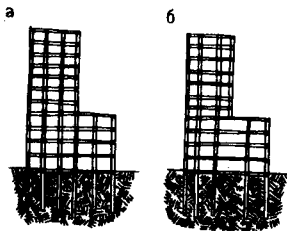


Рис. 7-10. Уступы в каркасных зданиях
а — сплошные колонны; б — разрывы колонны по вертикали

А. Уступ здания выдается не настолько, чтобы изменить работу здания. Для определения периода колебаний и горизонтальных нагрузок, действующих у стилобата, здание следует рассматривать, как одно целое (одной полной длины), с шириной, величина которой равна средневзвешенной сумме размеров башенной части и стилобата.

Б. Конструкция стилобата является основной, а башенную часть можно считать дополнительным элементом, который подвергается воздействию перемещения грунта при ускорении, которое равно ускорению верхнего диска стилобата. Стилобат следует рассматривать как отдельное здание со своей собственной высотой и приданной массой башни при приложении горизонтальной нагрузки в уровне покрытия. Смещение основания башни принимается увеличенным на 40%, чем при допущении, что башня является отдельным зданием, стоящим на грунте. Горизонтальные нагрузки определяются для случая отдельно стоящего здания и далее пропорционально увеличиваются.

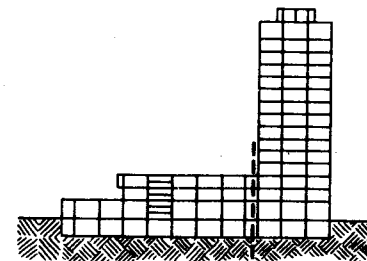
В. Башенная часть в здании преобладает и та часть стилобата, которая не находится в пределах проекции плана башни на поверхность грунта, представляет собой пристройку, дополнительная масса и несущая способность которой должна приниматься в расчет... (для определения сейсмических коэффициентов следует мысленно продлить башенную часть через стилобат до уровня фундамента и рассматривать ее как отдельно стоящее здание полной высоты). Дополнительная масса частей стилобата, не включенных в "удлиненную" башню, учитывается при сейсмическом расчете фиктивного здания, с высотой, равной высоте стилобата только для определения величин дополнительных горизонтальных нагрузок, действующих в уровне нижних этажей. По меньшей мере 70% всех нагрузок будет действовать в пределах размеров плана удлиненной башни.

Г. Промежуточные случаи наиболее трудно поддаются определению. Эти категории конструкций предусматривают рассмотрение ситуаций, при которых обе части здания работают как единая конструкция полной высоты.

Для определения горизонтальной нагрузки, действующей в любом месте или элементе, следует применять один из следующих способов: принимается, что башня и стилобат составляют одно здание полной высоты, со средневзвешенной величиной ширины; значение сейсмического коэффициента при этом увеличивают на 20%; рассматривают стилобат и башенную часть как два отдельных здания с использованием метода Б, приведенного выше".

Подкомитет в качестве рекомендации предложил предусматривать конструктивные каркасы как рамные, так и связевые или их сочетание в конструкции башни и стилобата любого здания, имеющего вертикальные уступы высотой более одного этажа. Кроме того, рекомендуется предусматривать в конструкции здания колонны, которые, ограничивая уступ, проходят вниз до уровня фундамента (рис. 7-10).

Рис. 7-11. Башня административного здания Кэйяма Интернешнл Билдинг, Лос-Анджелес, отделенная антисейсмическими швами от гаража



Решения

Конструктивные решения конфигураций вертикальных уступов аналогичны решениям, принимаемым в случае проектирования планов с входящими углами. Первый тип решения заключается в обеспечении антисейсмических швов, позволяющих отдельным частям здания проявлять свою реакцию в ответ на воздействие сейсмической нагрузки (рис. 7-11). В этом случае следует принять во внимание рекомендации, приведенные выше. Если конструкции здания не разделяются антисейсмическими швами, то необходимо при расчете руководствоваться рекомендациями, предложенными Подкомитетом по вертикальным уступам сооружений SEAOC. Особое внимание следует уделить обеспечению в вертикальных колоннах неразрезности конструкций так, чтобы размер уступов мог соответствовать нормальным размерам пролета. Динамические характеристики работы конструкции любого крупномасштабного здания с преобладанием вертикальных уступов должны тщательно изучаться. При проектировании сейсмостойких зданий и сооружений следует избегать включения в решение плана протяженных обратных уступов сложной формы.

Глава УЩ. КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ С РЕЗКИМ ИЗМЕНЕНИЕМ ПРОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ

Общие положения

Перенос трудностей, которые возникают в процессе проектирования сейсмостойких конструкций при изменяющихся прочностных или жесткостных характеристиках, дан Хансоном и Дегенколбом [1]: "Если на пути прохождения сейсмической силы имеется даже один единственный ослабленный участок или внезапное изменение жесткости, то эта зона уже может считаться опасной. Даже при работе конструкции в упругой стадии ответная реакция на воздействие сейсмической нагрузки по высоте может существенно отличаться от принятого распределения усилий по треугольнику. Ситуация становится еще более критической при деформации элементов в неупругой стадии. Распределение горизонтальных нагрузок в соответствии с требованиями нормативных документов принимается для некоторой конструкции, в которой отсутствует внезапное изменение жесткости, и поглощение энергии при землетрясении распределяется по конструкции равномерно или по некоторой непрерывной зависимости. В том случае, если конструкция состоит из жесткой верхней и гибкой нижней части, больший объем поглощаемой энергии концентрируется в гибкой части, и только очень небольшое количество энергии поглощается конструкциями верхней, более жесткой части".

Одна из наиболее серьезных проблем, возникающих при изменении прочности и жесткости в конструкции здания, связана с наличием в конструкции здания или сооружения так называемого гибкого этажа. Это термин применяется обычно к тем зданиям, нижний этаж которых имеет более низкую прочность или жесткость по сравнению с верхними этажами. Следует заметить, однако, что гибкий этаж, создаваемый за счет соответствующих свойств конструктивных элементов на любом уровне здания, способствует возникновению ряда сложностей, относящихся к его работе, но так как максимальные нагрузки обычно действуют в основании, то неравномерность жесткости элементов конструкции между первым и вторым этажами считают наиболее опасным результатом расчета (рис. 8-1). Гибкий этаж характеризуется тем, что между значениями прочности и жесткости его вертикальных элементов и остальной части здания существует большая разница. Это, как правило, возникает потому, что один этаж, обычно первый, имеет существенно большую высоту, чем остальные этажи здания, и в результате уменьшается жесткость.

Неравномерность жесткости и прочности конструкции может также возникнуть, если, согласно проектному решению, не все вертикальные элементы каркаса продолжают до фундамента; некоторые из них кончаются на уровне второго этажа, создавая тем самым увеличение площади пола нижнего этажа (рис. 8-2). При таких условиях возникает неоднородность траектории прохождения прилагаемой нагрузки, в результате чего в точке перелома этой траектории появляется ступенчатое изменение прочности и жесткости. Появление в конструкции гибкого этажа обусловливается также наличием перекрытия с консолями, которые служат опорами массивных несущих или ненесущих стеновых элементов, расположенных выше. Такой случай приобретает более серьезный характер, если стеновые элементы, расположенные выше перекрытия, являются диафрагмами — основными несущими элементами, воспринимающими горизонтальную нагрузку. (Данный вопрос более подробно рассматривается в этой главе позднее, так как представляет особый случай расчета конструкций с гибким этажом.) Основная трудность проектирования конструкций с гибким этажом заключается в том, что большая часть сейсмических нагрузок и последующих деформаций сосредоточивается в элементах этажа с меньшей прочностью и жесткостью, а не распределяется равномерно среди элементов всех этажей. Конструкции горизонтальных диафрагм при перемещении осуществляют распределение нагрузки на вертикальные элементы пропорционально жесткостям. Однако, если имеются этажи, формирующие гибкую часть здания, значения их прогибов будут значительно превышать прогибы остальных этажей, в результате чего они будут наиболее подвержены воздействию перенапряжений и последующему разрушению.

Проблематичность конструктивных решений зданий и сооружений, включающих гибкий первый этаж, отмечалась ранее. Повреждения первого гибкого этажа здания, пострадавшего во время землетрясения в Санта-Барбара в 1925 г. было описано Фриманом на основе обследования, проведенного Г. Деуэллом и Б. Уиллисом. И в настоящее время специалисты в области сейсмостойкого строительства считают правильными сделанные тогда выводы [2]: "Гостиница Каррилло. Это здание представляет особый интерес, так как его конструкция включает высокие колонны первого этажа, служащие полугибкими опорами. После землетрясения они дали необратимый прогиб за счет действия инерционных сил, переданных с верх-

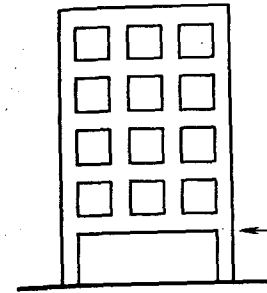


Рис. 8-1. Нарушение сплошности элементов жесткости создает зону ослабленного сечения или гибкий этаж 1 — точка разрезности

Рис. 8-2. Траектория передачи нагрузки при наличии прерывистости колонн или простенков

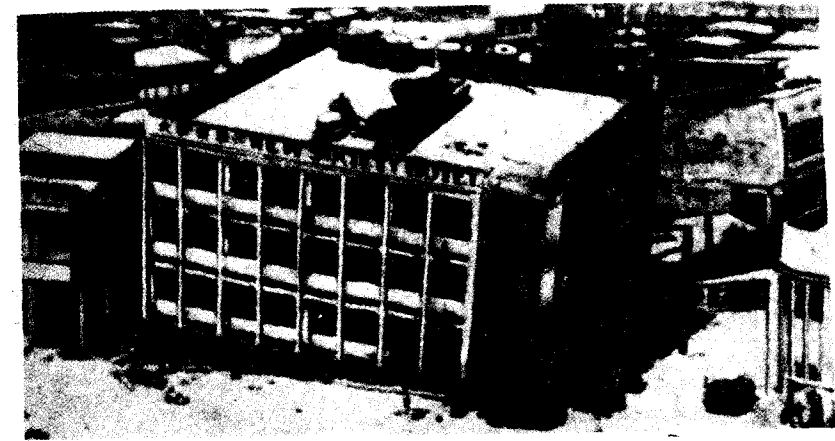
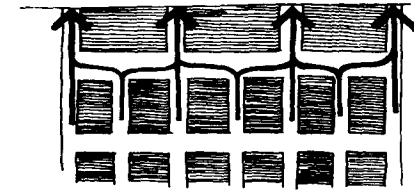


Рис. 8-3. Здание гостиницы Нью Сосаети, землетрясение на о. Минданао

них этажей, которые в свою очередь, не подверглись серьезному повреждению, в то время как стены и перекрытия нижней части здания были разрушены настолько, что кирпичное заполнение и облицовка вывалились из конструкции. Стыки в верхней части колонн первого высокого этажа были сильно повреждены и разрушены. Это здание с поврежденными колоннами первого этажа не опрокинулось только потому, что амплитуда перемещения грунта оказалась для этого недостаточной".

Современные специалисты по инженерной сейсмологии имеют определенное мнение относительно влияния, оказываемого гибким первым этажом на работу конструкции всего здания или сооружения. Хансон и Дегенколб пишут [3]: "Во всем мире сейчас наблюдается единое архитектурное направление, относящееся к строительству современных зданий и сооружений: создание открытого пространства в пределах нижнего этажа, стремление поставить здание на "ходули". . . Нельзя сказать, что требования современных нормативных документов к проектированию сейсмостойких конструкций не предусматривают подобное распределение жесткости в условиях динамического воздействия прилагаемой нагрузки; поэтому потенциально возможное разрушение следует ожидать там, где проектирование осуществляется

с учетом минимальных требований норм для зон с высокой сейсмической активностью. Повреждения многих зданий в Каракасе во время землетрясения в 1967 г. являются наглядным предупреждением специалистам относительно возможной будущей ситуации на западном побережье США".

В здании гостиницы Нью Сосаети на о. Минданао во время землетрясения в 1976 г. значительные разрушения произошли из-за наличия в конструкции высоких колонн в первом этаже, а также неудачной конфигурации, что вызвало появление кручения. Две стены здания, выходящего углом на улицу, представляли каркасную конструкцию без заполнения, другие две стены включали стеновые заполнения, и поэтому отличались большей жесткостью. Значительное смещение в зоне угла вызвало разрушение колонн нижнего этажа. На рис. 8-3 наглядно видно вращение здания по мере его падения на улицу.

Решения

Одно из решений проблемы, связанной с гибким первым этажом, ведет к полному его исключению, т. е. к отказу от использования в объемно-планировочном решении здания элементов, создающих ступенчатое изменение жесткости. Если по соображениям функционального или эстетического характера этого сделать нельзя, то необходимо проработать возможные способы уменьшения неравномерности распределения жесткостей за счет увеличения количества колонн или дополнительных связевых элементов (рис. 8-4). В качестве альтернативного решения можно оставить высокий первый этаж, но основная конструкция будет иметь однородную жесткость по всей высоте за счет устройства через этаж более легких перекрытий, вмонтированных таким образом, чтобы влияние, оказываемое ими на характеристики основного каркаса, было минимальным. Все указанные способы требуют детального анализа в каждом конкретном случае; приведенные схемы лишь иллюстрируют общие концепции, которые могут быть положены в основу дальнейших исследований.

Не следует также забывать о потенциальных возможностях архитектурно-планировочных решений: зрительное впечатление от наличия первого этажа можно усилить использованием соответствующих архитектурных приемов, исключающих ступенчатое изменение жесткости (рис. 8-5). В некоторых случаях преднамеренное использование гибкого первого этажа для изоляции конструкции верхних этажей здания от влияния перемещающегося грунта во время землетрясения теоретически можно считать достаточно целесообразным решением. Однако для обеспечения требуемой надежности работы конструкции необходимо проведение специальных мероприятий и использование специальных строительных материалов. Так, например, Д. П. Клаф, Р. В. Клаф и А. К. Чопра указывают [4]: "Для создания эффективной работы с гибкой конструктивной схемой здания механизм пластических деформаций первого этажа следует проектировать из расчета восприятия очень больших перемещений, более чем 30,48 см". В настоящее время включение первого гибкого этажа в конструкцию здания в качестве антисейсмической меры интересует специалистов в большей степени с теоретической, а не практической точки зрения.

Устройства, обеспечивающие изоляцию основания, являются отдельной темой для изучения. Имеется в виду применение высоко надежных устройств в уровне первого этажа, которые частично или полностью отделяют верхние конструкции от влияния перемещений грунта. Конструктивные предложения, сделанные еще в XIX в. о возведении зданий на слое шариковых под-

Рис. 8-4. Решения конструкции гибкого этажа
1 — основной тип разреза здания; 2 — гибкий этаж; 3 — потенциальные решения; 4 — однородные конструкции; 5 — дополнительные колонны; 6 — разрежение узлов; 7 — подкосы

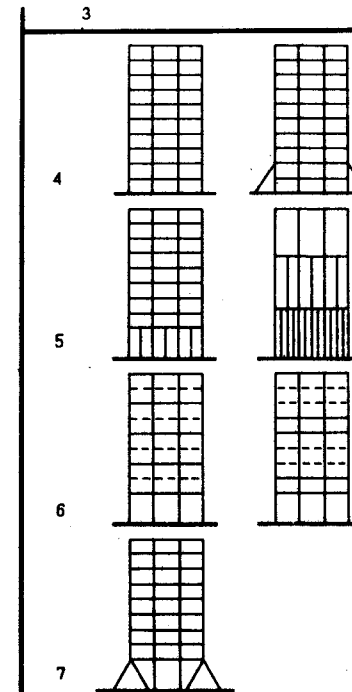
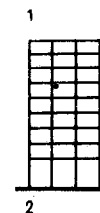
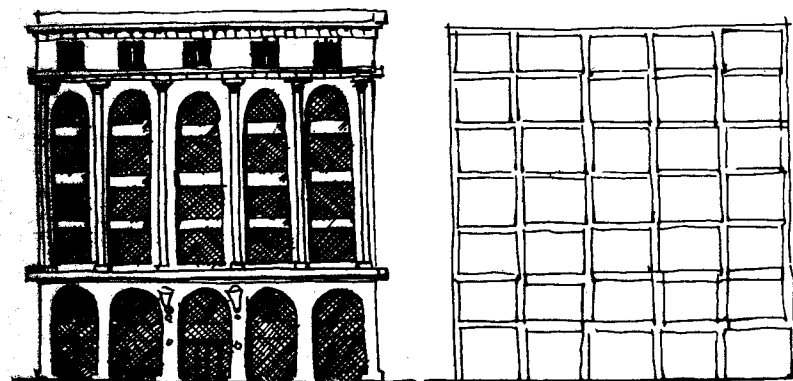


Рис. 8-5. Традиционный архитектурный прием, создающий визуально неоднородный фасад при однородной конструкции



шипников, в настоящее время пересматриваются с учетом современной строительной технологии; плиты оснований колонн изолируются от фундаментов пластиной типа "сэндвич", которая выполнена из металлических листов и резиновых прокладок и работает на сдвиг (рис. 8-6), или используются квазигидравлические амортизаторы ударов, перекачивающие твердый свинец через отверстие и обратно по мере перемещения фундамента вперед

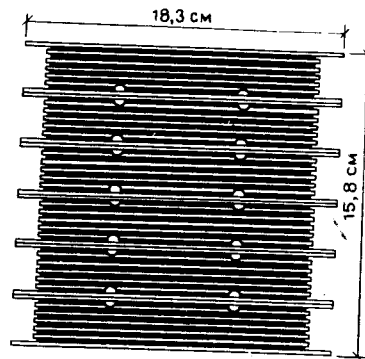


Рис. 8-6. Конструкция сейсмоизоляции фундамента типа "сэндвич", выполненная из стальных пластин и резиновых прокладок

и назад. Такие способы решения проблемы сейсмостойкости зданий и сооружений все еще находятся на экспериментальной стадии разработок, хотя во Франции, Новой Зеландии и Швейцарии уже построены прототипы подобных зданий. До тех пор, пока работа этих устройств отличается практической целесообразностью, они предназначены снижать (но не полностью исключить) уровень нагрузки, воздействующей на конструкцию верхнего строения зданий; анализ предполагаемого действия горизонтальных усилий показал, что принципы влияния конфигурации здания, рассматриваемые ранее, сохраняются.

Несоосные диафрагмы

В том случае, когда перегородки-диафрагмы включены в основную несущую систему здания, нагрузка на них может быть очень высокой. Если такие стеновые элементы в плане не совпадают по осям (от одного этажа к другому), то траектория усилий от приложенных нагрузок от кровли до фундамента будет представлять собой ломаную линию, что приведет к значительным перенапряжениям в точках отклонения. Прерывание по вертикали поперечных перегородок часто предусматривается при наличии первого гибкого этажа. Функциональность первого этажа здания, требующая большого открытого пространства, вызывает необходимость исключения из конструкции на этом уровне несущих перегородок с заменой их каркасом. Следует подчеркнуть, что задача несущей перегородки заключается в том, что она собирает нагрузки, воздействующие на перекрытие на каждом этаже, и передает их на фундамент. Прерывание же этого пути передачи нагрузки является ошибкой. Поэтому если несущие перегородки не доходят до уровня первого этажа, имеет место худший случай работы этого этажа.

Здание больницы Олив Вью, сильно пострадавшее в 1971 г. во время землетрясения в Сан-Франциско, является наглядным примером неудачного использования диафрагм в конструктивной схеме. Вертикальная конфигурация основного здания представляла собой гибкий двухэтажный рамный каркас, служащий опорой для четырехэтажного (пятиэтажного, если считать надстройку в верхнем этаже) связевого каркаса с диафрагмами (рис. 8-7). Конструкции второго этажа выступают далеко за пределы основного объема здания, формируя дополнительную площадь снаружи. Поэтому создается впечатление, что основное здание имеет один гибкий этаж, а не два. Сильное повреждение во время землетрясения, как и следовало ожидать, произошло

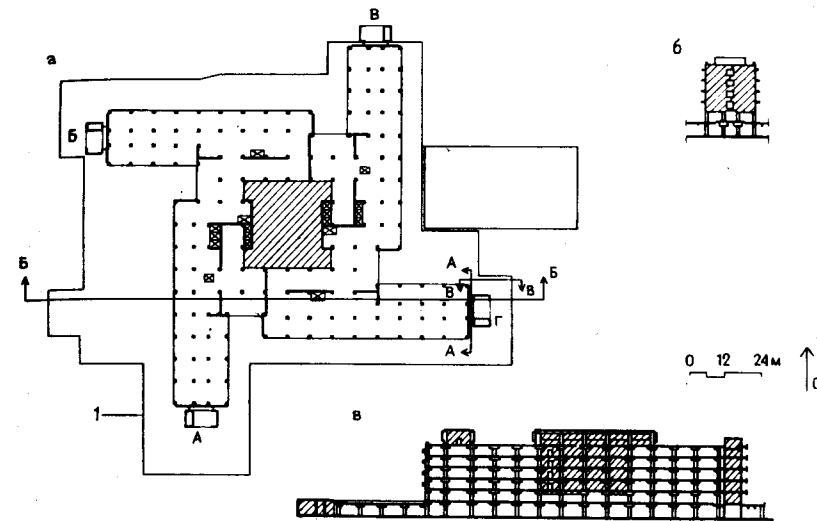


Рис. 8-7. План и сечения здания больницы Олив Вью
а — план: 1 — границы удлиненного 2-го этажа; б — сечения А-А; в — сечение Б-Б; А, Б, В, Г — крылья

в первом гибком этаже. Верхние этажи перемещались как единая конструкция, причем перемещение было настолько значительным, что колонны на уровне грунта не смогли его выдержать (поскольку смещение от вертикали было очень большим) и разрушились. Максимальное значение отклонения колонн от вертикальной линии отвеса составляло 0,76 м. Фраzier и другие пишут [5]: "Сомнительно, чтобы поврежденные колонны смогли бы сопротивляться еще хотя бы 5 с сильным толчкам при движении грунта".

Дискретность прочности и жесткости вертикальных элементов конструкции приводит к концентрации напряжений и последующему повреждению, при этом этаж, который является опорным для всех остальных этажей здания, должен разрушаться последним, а не первым. Если бы колонны здания больницы Олив Вью имели более прочную арматуру, то их разрушение могло наступить несколько позднее, хотя мало вероятно, что они могли остаться совсем неповрежденными. Однако основной причиной разрушения явилось не слабое армирование колонн, а неудачное конструктивное решение здания. Тот факт, что вертикальные диафрагмы не были доведены до фундамента, привел к разрушению отдельно стоящих башен с лестничными клетками здания больницы Олив Вью. Причина разрушения этой части здания не очевидна, поскольку ослабленный нижний этаж скрадывался конструкцией стилобата и зрительно по высоте башни имело шесть этажей, а не семь. Эти семизэтажные башни представляли собой отдельно стоящие независимые от основного здания пристройки и во время землетрясения они обнаружили неспособность противостоять воздействию сейсмических нагрузок: три из них опрокинулись, четвертая наклонилась наружу на 10°. Верхние шесть этажей имели жесткую конструктивную схему, включающую железобетонные стеновые элементы с высоким процентом армирования; нижний гибкий этаж состоял из шести железобетонных колонн, которые разрушились.

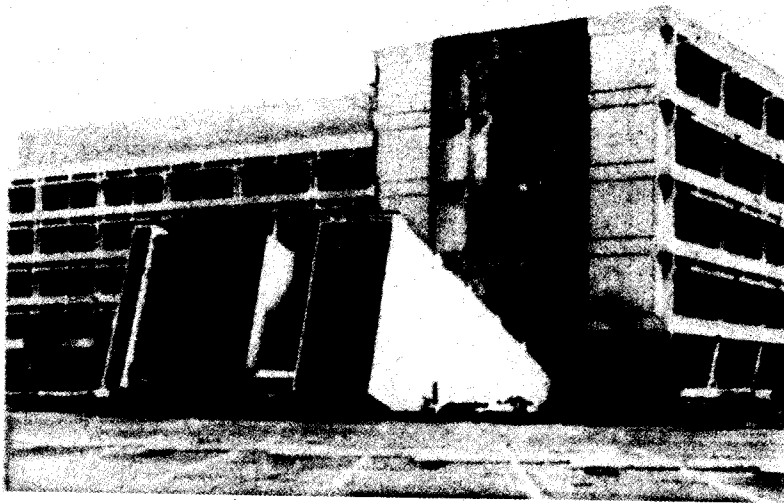


Рис. 8-8. Башня с лестничными клетками, упавшая наружу, здание больницы Олив Вью

Исключение составляла башня, расположенная на северной стороне, стены которой не имели разрезности и доходили до фундамента основания; это была единственная уцелевшая башня. Очевидно, что ни одна башня здания не была спроектирована с учетом возможного опрокидывания при воздействии сейсмической нагрузки, так как отклонение от вертикального отвеса на 10° башни, расположенной на северной стороне, также можно считать разрушением; совершенно ясно, что полное разрушение наступило там, где в конструкцию включен первый гибкий этаж (рис. 8-8). В качестве основных причин, вызвавших разрушение башен лестничных клеток, часто называют недостаточно квалифицированный расчет железобетонных колонн, которые разрушились первыми, или непредусмотренное очень сильное перемещение грунта. В то же время не следует забывать, что неверно выбранная конфигурация здания в плане создает условия для перенапряжения элементов конструкции. Независимо от того, правильно ли подобрана арматура, наиболее надежное решение относится к исключению прерывистости диафрагм и доведение их до фундамента.

Типовой конфигурацией зданий, популярных в практике строительства в последние десятилетия, является конструкция, состоящая из одинаковых прямоугольных в плане этажей, с глухими или почти глухими торцевыми стенами, которые кончаются на уровне второго этажа, создавая открытое пространство внизу. Примером здания такого типа можно считать здание Имperial Каунти Сервис Билдинг в Эль-Сентро. Работа этого здания во время землетрясения, которое произошло в Калифорнии в 1979 г., представляет классический пример влияния архитектурно-планировочного решения на несущую способность конструкций при воздействии сейсмических нагрузок. Шестиэтажное железобетонное здание было построено в 1969 г. В условиях сравнительно небольших сейсмических толчков, под воздействием которых пострадало всего несколько кирпичных неармированных зданий,

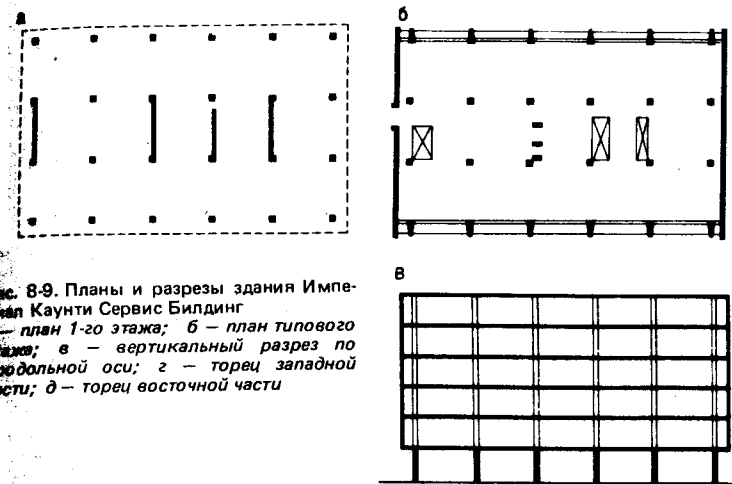
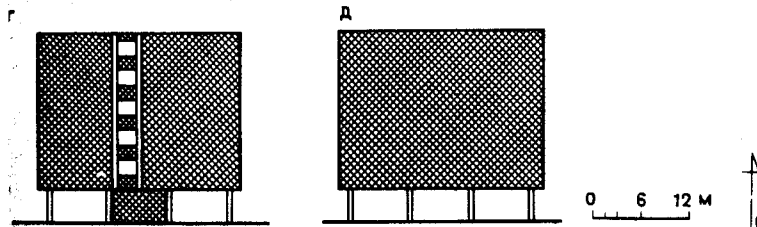


Рис. 8-9. Планы и разрезы здания Имperial Каунти Сервис Билдинг
а — план 1-го этажа; б — план типового этажа; в — вертикальный разрез по продольной оси; г — торец западной части; д — торец восточной части



здание Имperial Каунти Сервис Билдинг было серьезно разрушено; так, были разрушены колонны под действием сжимающих напряжений у восточного торца. Причиной разрушения непосредственно является прерывистость поперечной диафрагмы этого торца здания. Впоследствии все здание пришлось демонтировать. Подтверждением того, что основная причина разрушения заключается в неправильно выбранной конфигурации, является различное архитектурное решение восточного и западного торцов здания (рис. 8-9). В результате различного проектного положения поперечных диафрагм нижнего этажа восточного и западного торцов здания создавалась разная сопротивляемость элементов конструкции при воздействии усилий вращения или опрокидывания (рис. 8-10).

Наилучшее решение проблемы в условиях воздействия сейсмических нагрузок заключается в применении только сплошных диафрагм в конструкции здания или сооружения. Однако это может привести к нарушению архитектурно-планировочного замысла, искажению облика здания или изменению путей эвакуации. Если же допускается расчленение диафрагм, то возможные последствия этого решения уже на стадии эскизного проектирования необходимо тщательно проанализировать с привлечением соответствующих специалистов.

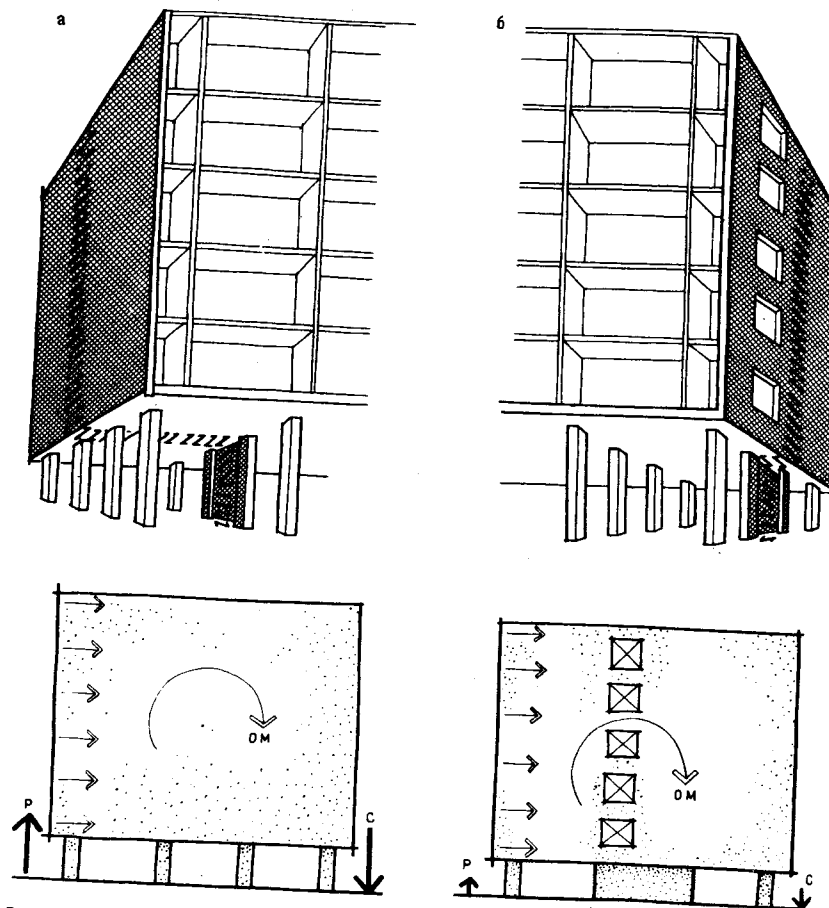


Рис. 8-10. Графическое изображение конструктивных решений торцевой стены здания Империл Каунти Сервис Билдинг
 а — торцевая диафрагма восточной стороны, поступательное смещение; б — торцевая диафрагма западной стороны, поступательное смещение; ОМ — опрокидывающий момент; Р — растяжение; С — сжатие

Изменение жесткости колонн

Основная причина изменения жесткости колонн относится, как правило, к аспектам архитектурно-планировочного решения здания: необходимости учитывать перепад местности; степени заполнения каркаса "неконструктивными", но достаточно жесткими элементами, например, рамами ленточного остекления; стремления поднять одну часть здания на большую высоту от уровня грунта, установив ее на пилоны, оставив другую часть на низких

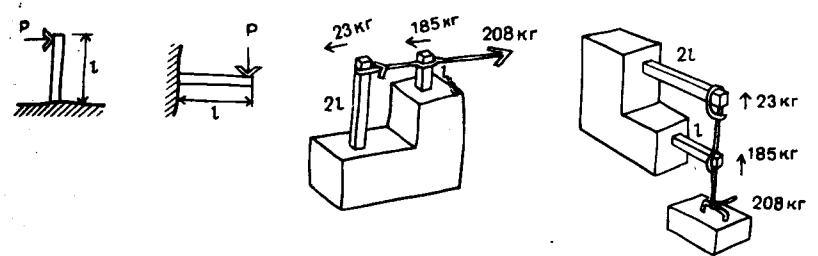


Рис. 8-11. Применение коротких и длинных колонн приводит к различным результатам

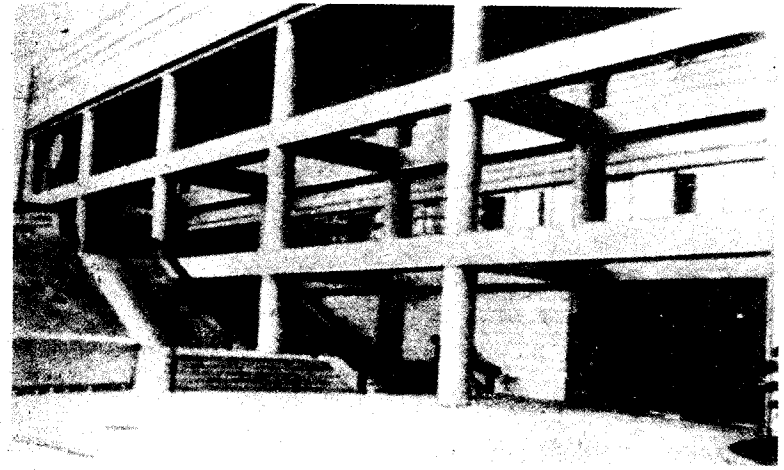


Рис. 8-12. Конструктивное решение здания посольства США в Японии с колоннами равной жесткости

колоннах; включение в работу колонн таких элементов жесткости, как мезонин или чердак, в то время как другие этажи по всей высоте остаются без связей жесткости и т.д. Важность указанных аспектов заключается в том, что их влияние не всегда можно определить интуитивно. Например, стеновое заполнение часто устанавливается с учетом возможной реконструкции здания в будущем и следует принимать во внимание варианты включения этого заполнения в работу всей конструкции; интуиция может неправильно подсказать, что более прочные колонны ведут к большему упрочнению всей конструкции, чем к созданию опасной концентрации напряжений.

На первый взгляд кажется, что прочность низкой колонны будет больше, чем прочность высокой колонны одного и того же поперечного сечения. Конечно, в случае приложения вертикальных нагрузок, короткие колонны менее подвержены потере устойчивости и, следовательно, обладают большей несущей способностью. Однако при достаточно высокой жесткости низкие колонны при действии горизонтальных нагрузок, распределяющихся в соответствии с жесткостью несущих элементов, могут притягивать усилия, действие которых часто превосходит несущую способность колонн. Это явление проиллюстрировано на рис. 8-11, где представлены колонны и консоль

ные балки разной длины. Жесткость изменяется и пропорциональна кубу длины. Если E и I одинаковы для двух консольных конструкций, то та, которая в два раза длиннее, будет иметь в $2^3 = 8$ раз большую гибкость. При одинаковом прогибе та короткая колонна, которая имеет жесткость в 8 раз больше, будет воспринимать нагрузку также в 8 раз больше, чем длинная колонна.

В том случае, если указанная конструктивная схема все же имеет место, следует выровнять гибкость различных колонн за счет дополнительных связей (раскосов), снижающих свободную длину высоких колонн, что иллюстрируется на рис. 8-12, где показано здание американского посольства в Токио. Здание расположено на территории со значительным уклоном, поэтому архитектурно-планировочное решение предусматривало сохранение большого открытого пространства в первом этаже. Приблизительное уравновешивание гибкости колонн достигалось за счет их соединения в горизонтальной плоскости на уровне каждого этажа специальной балкой.

Разнопрочность балок и колонн

Даже в случае полного разрушения здания в нем сохраняется достаточное количество относительно неповрежденного строительного материала. Самый худший случай обрушения, так называемое складывание разрушенных элементов подобно блинам на сковородке с разделяющими их слоями из обломочного материала, наступает только при повреждении вертикальных элементов конструкции. Плиты перекрытий, прочность которых при действии сейсмической нагрузки используется не полностью, не могут оказать какую-либо конструктивную помощь стеновому заполнению и колоннам.

Основной принцип проектирования сейсмостойких конструкций — обеспечение в условиях воздействия сильных нагрузок работы балок в неупругой стадии до того, как в этой стадии начнут работать колонны. Такой подход обусловлен тем, что период работы балок из упругой стадии работы в неупругую достаточно продолжителен и при этом происходит рассеивание и поглощение некоторого количества энергии сейсмического воздействия, подобно тому как разрушение правильно сконструированного переднего капота автомобиля, поглощая энергию при столкновении, предохраняет от разрушения кузов, где находятся пассажиры. Поэтому если колонны начнут первыми деформироваться и терять устойчивость, то действие основных вертикальных (сжимающих) нагрузок может быстро привести к полному разрушению конструкции здания. Как показала практика строительного проектирования, этот принцип хорошо известен и понятен, однако, как ни странно, часто применяются ослабленные колонны и прочные балки, что вызывает серьезные повреждения и даже полные разрушения зданий. К типичному примеру подобной конструкции относится комбинированное решение, включающее ленточное стеновое заполнение между колоннами и железобетонные колонны с большой сеткой для таких зданий, как школы или учреждения, требующие значительного остекления.

В 1970 г. в г. Сендай, Япония, проводился семинар японских и американских специалистов по вопросам инженерной сейсмологии; особое внимание в ходе семинара уделялось надежности школьных зданий в условиях воздействия сейсмической нагрузки. В двух различных докладах, представленных с японской стороны [6], указывалось на специфическую особенность конфигурации школьных зданий, присущую многим японским зданиям этого

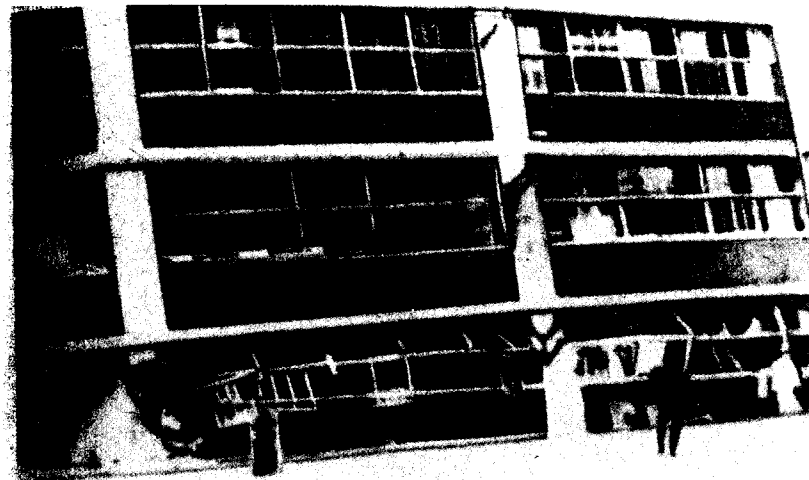


Рис. 8-13. Здание высшей коммерческой школы Мисава, землетрясение Токачи-оки, 1968

функционального назначения: оконные проемы в стене, выходящей на север, меньше, чем в той, которая выходит на юг. За счет уменьшения проемов увеличивается высота стен с-северной стороны, а при использовании строительной системы, в которой эти несущие стены являются частью монолитного железобетонного каркаса, работа северных и южных стен в условиях воздействия сейсмической нагрузки существенно отличается. Колонны, включенные в конструкцию северной стены, короче и жестче, чем колонны южной стены, и в то время, когда длинные и более гибкие колонны южной стороны адаптируются к условиям перемещения при изгибе, колонны северной стороны разрушаются при действии поперечных сил. Так как ригели между колоннами на уровне перекрытия, несущие заполнение каркаса северной стороны, настолько жестки, что практически не деформируются при изгибе каркаса, большая часть деформаций передается на колонны. Различная жесткость колонн двух продольных рядов также приводит к появлению кручения.

В школьных зданиях компоновка классных комнат, как правило, осуществляется по линейной схеме, с организацией передвижения по наружной галерее-коридору. Такое решение обеспечивает поступление дневного света с двух сторон здания и при этом здание получается относительно небольшой ширины (приблизительно 10 м), с каркасом в один пролет. В случае если короткие колонны северной стены подвергнутся серьезному разрушению (обычно колонны нижнего этажа разрушаются больше остальных), здание наклонится в северную сторону. Во время землетрясения Токачи-оки, 1968, во многих пострадавших зданиях были обнаружены повреждения именно такого типа (рис. 8-13).

После семинара в г. Сендай большая часть школьных зданий в Японии еще проектировалась на основе старых принципов. Единственное отличие между школами, пострадавшими во время землетрясения в 1968 г. и теми, которые были построены в 1970-х гг., заключалось в повышенном количестве

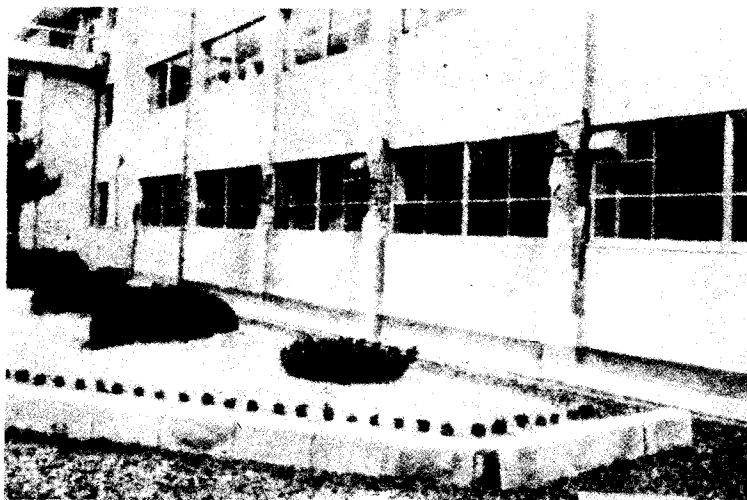


Рис. 8-14. Здание высшей школы Изуми, г. Сендай, Япония, землетрясение Миу-аги-кен оки, 1978

арматуры, предусмотренном в последних, что требовалось в соответствии с действующими тогда нормативными документами. При последующем землетрясении, которое случилось в г. Сендай, 1978, характер разрушения зданий был полностью эквивалентен: школы с указанным решением плана пострадали из-за разрушения коротких колонн. Дополнительная прочность элементов, полученная за счет усиления арматуры, не предотвратила разрушение, а только несколько отсрочила время его наступления. При воздействии достаточно сильных толчков тип и место разрушения определялись конфигурацией здания (рис. 8-14).

Путь, ведущий к правильному решению, заключается в пересмотре основных концепций проектирования, что требует равноправного участия наряду с архитектором и инженером заказчика, который может оказать квалифицированное влияние на осуществление всей программы строительства. Для решения указанной проблемы существуют различные способы. Если проект обычного здания предполагает при решении фасада обеспечение необходимого уровня освещенности помещений, то в проекте сейсмостойкого здания решение той же задачи может осуществляться с более надежными конструктивными характеристиками. Можно, например, использовать систему, состоящую из несущих стеновых панелей, частично остекленных, а частично непрозрачных. Эта конструктивная схема может использоваться при внесении незначительных изменений: обеспечения вертикальных разделительных промежутков между горизонтальными железобетонными несущими балками и колоннами, чтобы полезная длина колонн, расположенных в обеих стенах, была одинаковой (рис. 8-15).

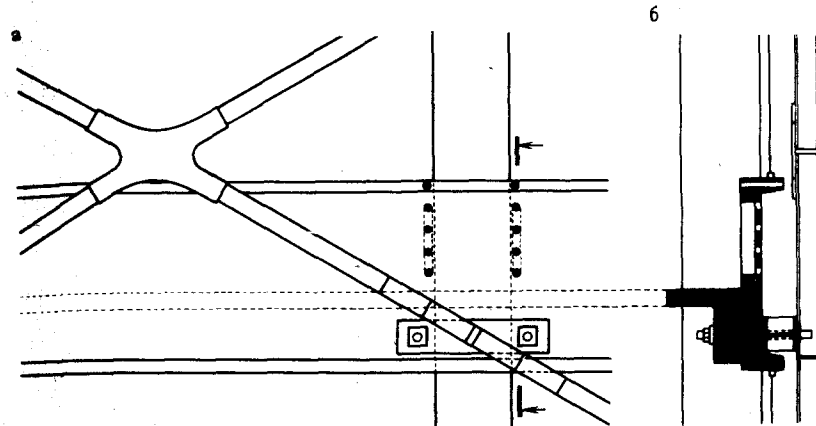


Рис. 8-15. Разделение балки с колонной для восстановления конструкции после землетрясения в г. Сендай, 1978, в здании Технологического института Токоху
 а — вертикальный разрез; б — сечение; в — фотоснимок фасада

Взаимодействие диафрагм

Условия, создаваемые наличием гибких и жестких балок, относятся к особому случаю, который возникает при взаимодействии перегородок-диафрагм с элементами каркаса. Конструктивное решение, использующее

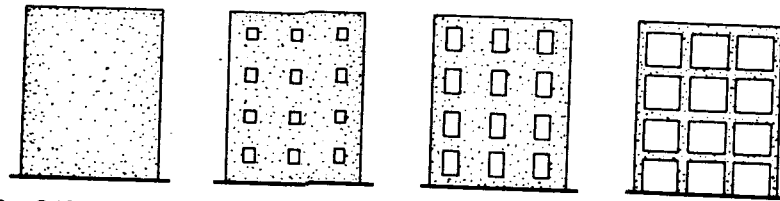


Рис. 8-16. Изменение вида диафрагм по мере увеличения размера проемов

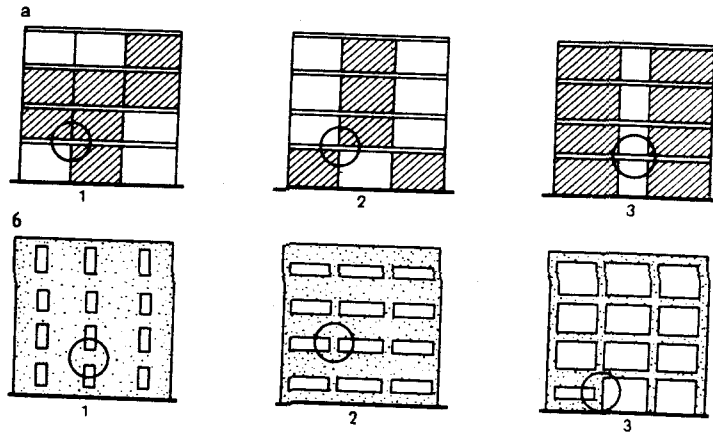
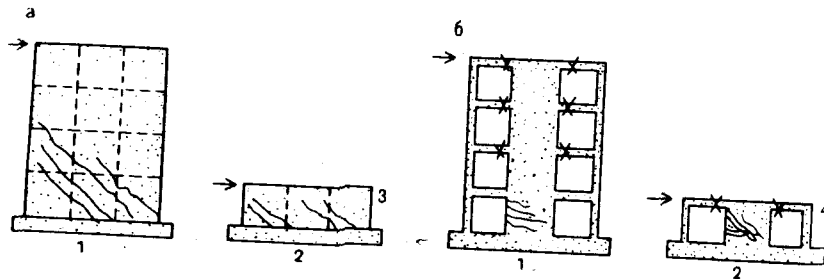


Рис. 8-17. Локализация возможных зон разрушения в диафрагмах, обусловленная размерами и местоположением проемов
 а — расположение внутренних или наружных диафрагм: 1 — случайное; 2 — шахматное; 3 — сдвоенное; б — расположение только наружных диафрагм: 1 — равномерное вертикальное; 2 — равномерное горизонтальное; 3 — неравномерное



такие колонны и балки, можно представить как систему диафрагм, в которых предусмотрены большие проемы существенно снижают их несущую способность. Характер работы диафрагмы с проемами может изменяться до тех пор, пока она сама не начнет работать по типу рамы (рис. 8-16). Различные размеры поперечных диафрагм и местоположения проемов создают локальные зоны ослабления сечения, что приводит к потенциальной

возможности разрушения. На рис. 8-17 показана конструкция (25) состоящая из гибких простенков и жестких перемычек; несущая способность определяется ослабленной зоной простенков. В случае 36 сейсмические нагрузки перераспределяются на укороченные колонны, в результате полученная конструктивная система отличается незначительной несущей способностью.

На рис. 8-18 показан характер разрушения некоторых типов торцевых диафрагм (стен) в условиях проявления пластических деформаций. На первой схеме прочность диафрагмы определяется работой на горизонтальную силу, которая результируется от усилий, возникающих в узлах соединения торцевой стены с каркасом здания. В остальных случаях горизонтальная сила дополняется изгибающим моментом, на который работают перемычки, соединяющие суженную диафрагму с каркасом или две части диафрагмы сходят друг с другом. Конструктивное решение торцевой стены, разделенной на две части вертикальным проемом, определяется архитектурными требованиями и характерно для конфигураций зданий гостиничного и жилого типа (рис. 8-19). Работу торцевой стены, разделенной проемом на всю высоту и повернутой на 90°, можно также рассматривать по аналогии со схемой, когда гибкие колонны соединены с жестким поясом (рис. 8-20). Однако работа диафрагмы, разделенной проемом на всю высоту на изгибающий момент, если обе части стены достаточно высокие и гибкие, будет эффективнее, чем работа по схеме когда гибкие колонны объединены жестким поясом, поскольку в первом случае значительная часть пластической деформации будет поглощаться эффективнее.

Конструктивное сечение поперечных диафрагм и каркаса может быть выполнено несколькими путями (рис. 8-21): предотвращением повреждения каркаса при действии изгибающих моментов за счет создания его свободного перемещения; уменьшением индивидуальных перемещений каркаса и поперечных стен при надежном их соединении в уровне фундамента. Такое решение подходит для низких зданий; для высоких зданий в верхней части необходимо предусмотреть замоноличивание каркаса и диафрагм с помощью дополнительного пояса. В такой каркасно-панельной конструкции пластическая деформация каркаса способствует рассеиванию

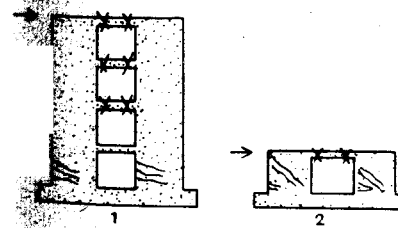


Рис. 8-18. Работа диафрагм в стадии образования трещин, несущая способность определяется прочностью на сдвиг
 а — сплошная диафрагма; б — проемы по бокам; в — проем по середине; 1 — многостажная конструкция; 2 — одноэтажная конструкция; 3 — сдвиг; 4 — горизонтальная сила и изгиб

значительного количества энергии в том случае, когда усилие от сейсмической нагрузки превышает несущую способность диафрагмы. Уменьшение размеров диафрагм, вызванных требованиями экономики и архитектуры, может изменяться в зданиях для районов с умеренной сейсмичностью. В случае непредвиденного сильного землетрясения дополнительная несущая способность обеспечивается за счет поглощения энергии каркасом, что зна-

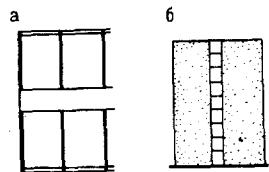


Рис. 8-19. Конструкции диафрагм, имеющих вертикальный проем

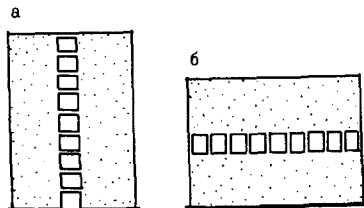


Рис. 8-20. Аналогия гибкой колонны и жесткого пояса
а — план; б — разрез

чительно уменьшает потенциальную опасность разрушения, а в сочетании с определенным архитектурно-планировочным решением и конструктивным детализированием снижает потери при повреждении здания.

Принятие такого подхода к решению проблемы требует дальнейшего изучения характера движений грунта и соответствующей работы конструкции здания, а также взаимодействия между различными элементами конструктивной схемы. Основным критерием при проектировании конструкции должна быть экономичность; в осуществляемой конструкции взаимоотношение стоимости и предполагаемой работы должно максимально соответствовать тем условиям, которые возможны в период эксплуатации построенного здания или сооружения. Такое решение можно сравнить с методом, используемым при конструировании автомобилей: передний и задний капот имеет способность максимального поглощения ударов, в то время как другие детали, такие, например, как рулевые колонки разрушаются (ломаются) до того, как они могут причинить вред сидящим в автомобиле людям.

Элементы заполнения

Влияние, оказываемое элементами заполнения стен на динамическую работу здания или сооружения, уже рассматривалось в гл. III при анализе вариаций длин колонн. Создание жесткости каркаса за счет заполнения из кирпича часто является характерной причиной, вызывающей повреждения конструкций или их разрушения. Механизм воздействия хорошо известен: сейсмические нагрузки концентрируются в зонах с максимальной жесткостью, поэтому там, где несущая способность элементов не рассчитана на восприятие таких нагрузок, происходит разрушение. Подобные разрушения наблюдались в здании больницы Олив Вью. Кирпичное стеновое заполнение должно было выполнять в конструкции роль ненесущего элемента; однако оно воспринимало часть сейсмической нагрузки до тех пор, пока не наступило разрушение в различных частях конструкции из-за неоправданной жесткости некоторых элементов. Предполагалось разделение работы конструктивных и неконструктивных элементов, однако [7]: "Антисейсмические швы, образованные между плитами перекрытия второго этажа и кирпичным стеновым заполнением первого этажа, а также между стеновым ограждением лифтовой шахты первого этажа и несущими элементами, расположенными в уровне второго этажа, были меньше того размера, который бы обеспечил требуемую степень разделения. Значительное повреждение конструкций произошло в результате ударов или неблагоприятного взаимодействия соседних элементов, которые, согласно конструктивной схеме, должны были быть отделены друг от друга во время действия сейсмической на-

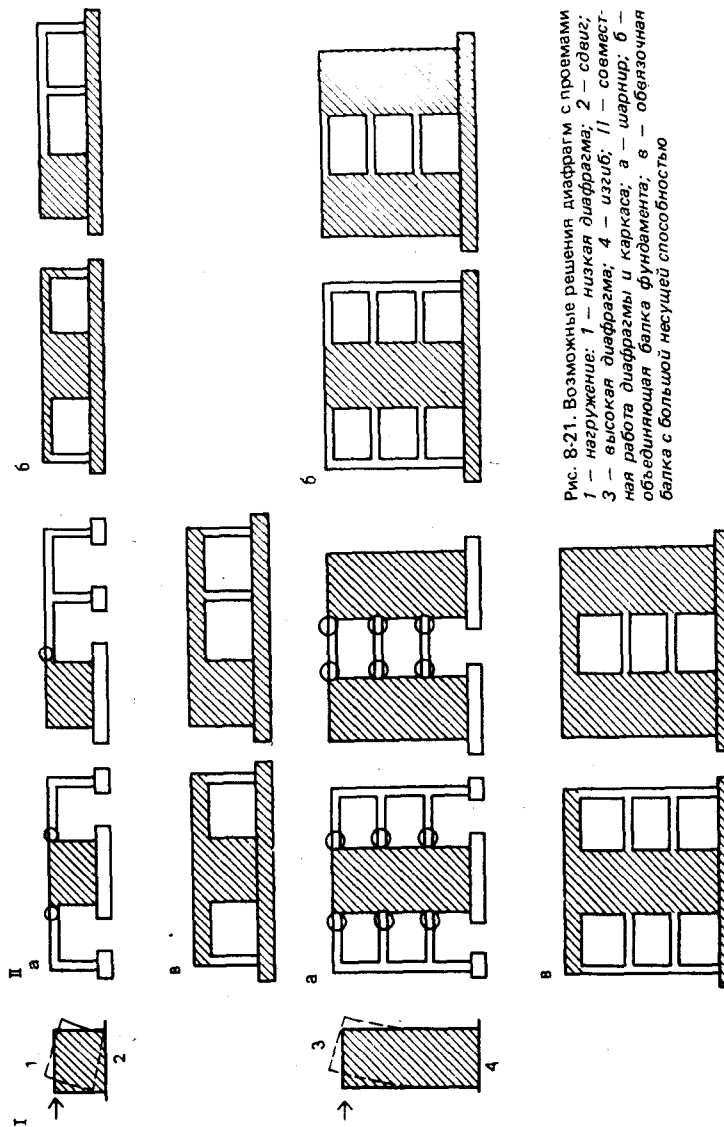


Рис. 8-21. Возможные решения диафрагм с проемами
1 — нагрузка; 2 — свиг; 3 — высокая диафрагма; 4 — изгиб; II — совместная работа диафрагмы и каркаса; а — шарнир; б — объединяющая балка фундамента; в — обвязочная балка с большей несущей способностью

грузки. Поэтому для создания требуемого и эффективного разделения соответствующих элементов во время землетрясения необходимо проведение тщательного расчета конструкций и реальной оценки потенциальных относительных перемещений, которые могут возникнуть в элементах здания”.

Непредвиденное взаимодействие элементов конструкции имеет два отрицательных последствия: во-первых, без необходимости разрушаются несущие элементы конструкции, и, во-вторых, с точки зрения конфигурации, включение в работу жестких элементов в различных местах конструкции может вызвать неравномерное перераспределение нагрузки, что в свою очередь приводит к возникновению кручения. Необоснованного включения в работу несущих элементов можно избежать при тщательной проверке основных концепций расчета на стадии завершения рабочих чертежей разрабатываемой конструкции и при доведении до сведения инженерного персонала, участвующего в проектировании, всех тех особенностей архитектурно-планировочного решения, которые он мог не заметить во время работы над конструктивной схемой объекта. Особое внимание следует уделять так называемым оперативным проектам, в которых рабочее проектирование заканчивается до того, как осуществлен расчет несущих элементов. В стремлении удовлетворить требования дополнений, которые периодически вносятся в основную программу строительства, диафрагмы жесткости могут добавляться к уже законченной конструктивной схеме или к той, которая находится в стадии осуществления.

В общем случае, в пределах конструкции каркаса следует избегать включения “случайных” элементов стенового заполнения, в особенности если они выполнены из тяжелых материалов. Стеновое заполнение даже из гипсовых плит, рассматриваемое в качестве несущего элемента, может иметь достаточную, хотя количественно и не определяемую жесткость. Элементы стенового заполнения следует включать в общую конструктивную схему с соответствующим расчетом или отделять от основных несущих элементов так, чтобы конструктивное разъединение исключало передачу нагрузки на стены. Для этого требуется проведение тщательного анализа предполагаемого перемещения конструкций и создание архитектурных компонентов конструкции, которые смогли бы надежно фиксировать стеновой элемент в установленном проектом положении в условиях воздействия как вертикальных, так и горизонтальных нагрузок с возможным перемещением относительно соответствующего элемента каркаса.

Глава 1X. ПРОБЛЕМЫ СОУДАРЕНИЯ С СОСЕДНИМИ ЗДАНИЯМИ

Вопросы проектирования

Проблемы соударений с соседними зданиями или с частями одного здания, возникающие во время землетрясений, касаются прежде всего проектирования антисейсмических швов (в том случае, если конструктивные элементы с архитектурной точки зрения соединены так, что образуют одно здание) и определения жесткости (так как она оказывает влияние на перемещение конструкций и, следовательно, на количественную величину раздельного промежутка, требуемого для предотвращения контакта соответствующих элементов). Вопрос соударений отдельных элементов конструкций или зданий друг о друга рассматривался в гл. 1У. Взаимные удары конструкций — проблема, которая начала рассматриваться учеными-сейсмологами достаточно давно. Во время землетрясения в Манagua, 1972, в результате



Рис. 9-1. Повреждение здания Ланг Билдинг в результате соударений во время землетрясения в Манagua, 1972.

таранного удара на уровне кровли двухэтажного дома, прилегающего к зданию пятиэтажной гостиницы, был полностью разрушен ее третий этаж. Шестиэтажное здание Ланг Билдинг серьезно пострадало на уровне, к которому примыкала кровля более низкого здания. Разрушение произошло из-за удара одного здания о другое, а также в результате эффекта мгновенного включения жесткости примыкающего здания (рис. 9-1).

Во время землетрясения на Аляске, 1964, четырнадцатизэтажное здание гостиницы Анкоридж Вестворд ударило более низкое здание концертного зала и примыкающее шестиэтажное крыло гостиницы, несмотря на расстояние между ними в 10,16 см. Удар в высотном здании был настолько сильным, что сдвинул металлический настил перекрытия со стальных опор-балок. Между одноэтажным и трехэтажным зданиями университета был предусмотрен антисейсмический зазор, равный 5,08 см; однако изоляционный заполнитель в зазоре оказался, по-видимому, достаточно жестким и разрушение наступило в результате удара. Во время землетрясения в Каракасе, 1967, от удара также пострадало несколько зданий: здание Макуто Шератон в результате соударений отдельных элементов конструкции; два жилых здания и угол здания Нобель в результате разрушения соседнего здания Миджакуал.

Возможные решения

Учеными Блюмом, Ньюмарком и Корнинггом были описаны основные проблемы соударений и предложены возможные решения [2]: “Одна из основных проблем при проектировании любого здания — выбор его месторасположения относительно участков частной собственности и прилегающих зданий. При этом обычно считается, что здания во время землетрясения наклоняются. Однако не всегда учитывается, что наклон прилегающих зданий может осуществляться в разных фазах — сначала в разные стороны по отношению друг к другу, затем в одну, и при различных периодах собствен-

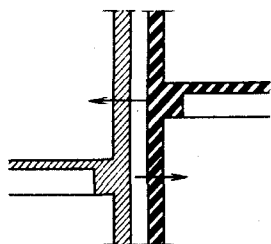


Рис. 9-2. Возможность повреждения в уровне перекрытий расположенных рядом зданий

ных колебаний каждого из них. В том случае, если конструкцию зданий необходимо разделить на отдельные узлы (по причине температурных перемещений или других мотивов), предусматриваемые разделения не должны допускать возможности ударов. Строительные нормы в отношении разделения примыкающих зданий, как правило, содержат общие положения; это можно объяснить тем, что основное внимание уделяется другим вопросам, которые кажутся более важными. В районах большинства городов с плотной застройкой деловой части особую ценность представляет земля. Поэтому при строительстве нового здания в пределах такой застройки требования строительных норм в отношении величины разделения зданий обычно встречают упорное сопротивление. В строительные нормы SEAOC "Определение горизонтальной нагрузки" включено следующее положение, касающееся разделения зданий: "Проектирование и строительство всех частей зданий следует осуществлять исходя из того, что здание в условиях воздействия горизонтальных нагрузок должно работать как единое целое; если же в соответствии с конструктивной схемой предусматривается антисейсмическое разделение, то расчетное расстояние должно быть достаточным для предотвращения контакта при прогибе, возникаемом в результате воздействия сейсмических нагрузок или ветровых нагрузок . . . Ширина разделительного пространства определяется на основе инженерных расчетов. Произвольный выбор этой величины в ряде случаев может вызвать серьезные трудности при работе конструкций, а иногда может оказаться просто недостаточным".

Потенциальная возможность возникновения ударов обуславливается наличием перемещений конструкций или вертикальным отклонением примыкающих зданий (или частей зданий). Смещение определяется расчетным путем, при рассмотрении воздействия расчетных усилий на конструкцию. Поскольку расчетные значения усилий могут оказаться ниже реальных нагрузок, к расчетным величинам прогибов вводятся поправочные коэффициенты. Блюм, Корнинг и Ньюмарк для подсчета ширины антисейсмического шва предлагают [3]: "Требуемая величина находится как сумма значений прогибов, определяемых для каждого здания в отдельности на основе поэтажных прогибов, с учетом развития пластических деформаций, при этом прогибы двух нижних этажей увеличивают умножая полученное значение на коэффициент 2".

В соответствии с Едиными строительными нормами, изданными в 1976 г., значение смещения конструкций не должно превышать 0,5% высоты этажа; для высоты этажа, равной 5,08 м, эта величина будет равна 2,54 см. Более раннее издание Единых строительных норм включало эмпирическое правило для нахождения значения ширины разделительного пространства для конструкций, которые в то время считались достаточно жесткими [4]: "Значение разделения должно быть равно одному дюйму плюс пол-дюйма на каж-

дые десять футов высоты выше двадцати футов". В нормах СССР [5] предлагается значение разделения, равное 3 см для зданий высотой до 5 м, и дополнительные 2 см на каждые следующие 5 м. Несмотря на то что такие эмпирические правила имеют произвольный характер, их применение целесообразно на стадии эскизного проектирования, т.е. до того, как на основе соответствующего расчета будут получены более точные цифровые данные. Следует упомянуть о важности определения местоположения элементов жесткости: если они не примыкают друг к другу, то расчетная ситуация существенно ухудшается (рис. 9-2), кроме того, необходимо уделять особое внимание предотвращению соударений зданий.

Глава X. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНФИГУРАЦИИ

Введение

В предыдущих главах конфигурация определялась как совокупность показателей размера и формы здания, а также размера, типа и местоположения тех элементов конструкции, которые играют важную роль при восприятии сейсмических нагрузок. К таким элементам относятся колонны, стеновые перегородки, перекрытия, инженерные стволы, лестничные клетки, внутренние перегородки (количество и тип); кроме того, учитываются способы создания сплошных или имеющих проемы наружных стеновых элементов, через которые проходят воздух и свет. Для того чтобы понять принципы сейсмостойкого проектирования, требуется некоторое объяснение, касающееся диапазона и характера изменения параметров, которые определяют конфигурацию. Как отмечалось, конфигурации зданий и сооружений настолько разнообразны, что их определение может показаться случайным, однако это не так. Существуют определяемые детерминанты конфигурации, краткое описание которых поможет наиболее правильно понять, что такое конфигурация и возможный диапазон ее модификаций, необходимый для соответствия требованиям сейсмостойких конструкций.

На конфигурацию здания оказывают влияние три основных фактора: требования к условиям строительной площадки; требования, определяющие основу программы производства строительных работ; требования, определяющие архитектурный облик здания (рис. 10-1). Первые требования обуславливаются ограничительными факторами, которые накладываются геометрией строительной площадки и ее местоположением, вторые представляют требования, определяемые внутренней планировкой здания в соответствии с его функциональностью и характером предполагаемого заселения; третьи обусловлены архитектурным замыслом проектировщика, которые отражают вкус заказчика и тех, кто будет работать или жить в здании. Кроме указанных аспектов, в настоящей главе также рассматриваются и другие факторы, влияющие на выбор той или иной конфигурации плана строящегося здания или сооружения. Выбор конфигурации начинается с рассмотрения функционального назначения здания. Поскольку термин "функциональное назначение" используется довольно часто, но, к сожалению, не всегда правильно понимается, необходимо дать его определение с точки зрения многообразия типов зданий. Неправильное понимание назначения здания первоначально исходило от определений, которые противопоставляли этот термин понятию "строительное искусство". Это противопоставление выражалось в виде антитезы: за основу при проектировании принимались или функциональные или эстетические концепции, но не обе вместе. Другая теория провозгласила сосуществование искусства и целесообразности: эта

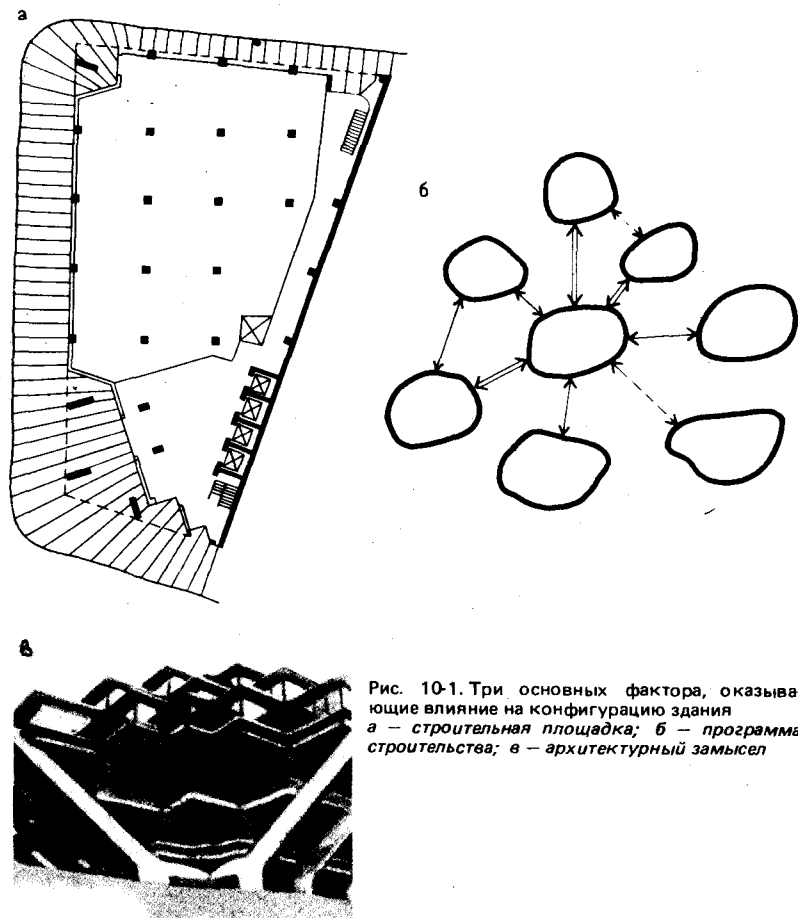


Рис. 10-1. Три основных фактора, оказывающие влияние на конфигурацию здания
 а — строительная площадка; б — программа строительства; в — архитектурный замысел

теория была принята функционалистами 1920-х гг., считавших, что эстетическое восприятие здания определяется его функциональным назначением. Ле Корбюзье в своих книгах, написанных в 1920-х и 1930-х гг. для наглядной иллюстрации данной точки зрения использовал примеры сосуществования этих двух концепций из таких областей, как кораблестроение, автомобилестроение, самолетостроение. Идея совместного существования эстетического и утилитарного начала превратилась в основы архитектурной профессии: архитектурное решение обеспечивает функциональность и внешний облик проектируемого объекта.

Детерминанты

Один из методов, направленных на решение проблемы совместимости функционального и эстетического начал в облике здания, был предложен

двумя английскими учеными [1]. Сущность этого метода заключается в том, что все здания предназначены выполнять четыре функции, которые называются модификаторами. Во-первых, здание является климатическим модификатором, так как оно создает определенный микроклимат для находящихся в нем людей; во-вторых, здание выполняет роль экономического модификатора, поскольку своим существованием определяет данную область экономики. Здание, в-третьих, выполняет роль модификатора поведения, так как оно оказывает влияние на образ жизни людей, которые в нем живут, работают или развлекаются. В-четвертых, здание является модификатором среды, поскольку оно посредством своего внешнего облика оказывает соответствующее влияние на владельцев, жителей и прохожих. Последняя концепция включает традиционное понятие искусства архитектуры.

Такая четырехфункциональная модель представляется наиболее целесообразной, так как она допускает совместное существование показателей различной значимости в концептуальном решении любого здания. Национальный художественный музей в Вашингтоне имеет не большую функциональность, чем здание пригородного склада; однако внимание, уделяемое каждой функции, различно. Относительное внимание к каждой из четырех функций, выполняемых зданием, определяет ту сферу, в пределах которой проектировщик приступает к своей работе. Из четырех функций показатели, относящиеся к стоимости, обычно являются решающими модификаторами, а взаимосвязь между конфигурацией здания и его стоимостью аналогична взаимосвязи между конфигурацией и сейсмостойким проектированием. Простая правильная повторяемая форма является наиболее экономичной и надежной конфигурацией сейсмостойких конструкций. Рассмотрение особого функционального признака в рамках общей модели может привести к рассмотрению тех аспектов разработки проекта, которые далеки от факторов конфигурации зданий, хотя и могут оказать существенное влияние на весь процесс проектирования, например, тип собственности можно считать одним из таких аспектов в рамках экономического подхода.

Здание, предназначенное для сдачи в аренду, является коммерческим. Вся технология производства внутренних элементов конструкции зданий развивалась на основе соответствия требованиям простой реорганизации внутреннего пространства и элементов систем технического обслуживания (например, к таким можно отнести демонтируемые перегородки и технические потолки). При этом потребность в такой организации пространства имеет прямое отношение к конфигурации, что может выражаться в соответствующем решении плана здания с простым и эффективным геометрическим делением площади пола (рис. 10-2). Другое решение может заключаться в предпочтительном включении в проектируемый объект рамных конструкций, что максимально сокращает количество крупногабаритных фиксируемых элементов (таких, как диафрагмы или стены со связями жесткости) во внутренней части здания, что, в свою очередь, может препятствовать предоставлению будущему жильцу того жилого пространства, которое он хотел бы иметь. Такие функциональные предпосылки, безусловно, оказывают существенное влияние на тип несущей системы сейсмостойкой конструкции.

По мере увеличения стоимости строительства зданий и сооружений они становятся более долговременными, так как по соображениям экономического характера их частая замена нецелесообразна. В то же время, изменение вида аренды помещения (соответствующее различному функциональному использованию помещения) требует более оперативной перепланировки

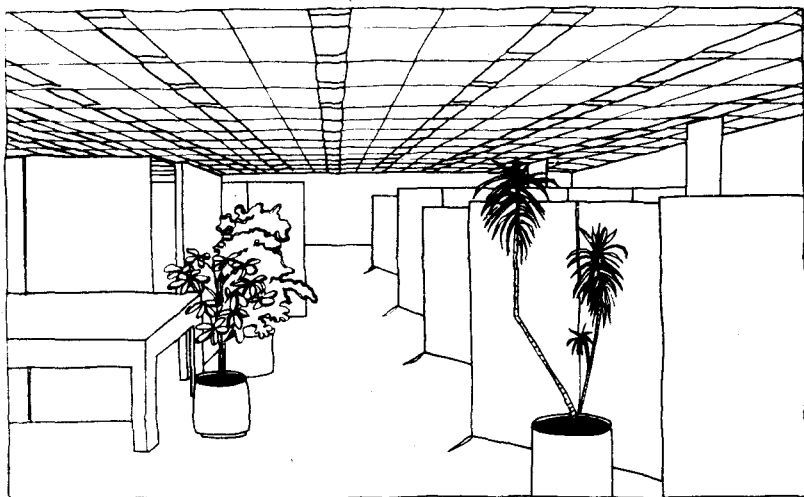


Рис. 10-2. Организация внутреннего пространства административного здания

интерьера здания. Совершенствование строительных норм проектирования сейсмостойких зданий и сооружений оказывает положительное влияние на длительность эксплуатации зданий. Например, несущие конструкции здания больницы Лома-Линда (описание приведено в приложении А.2), возможно, будут иметь полезное использование в течение 200 лет (рис. 10-3). В то же время мало вероятно, что элементы общей планировки будут использоваться в течение более чем 40–50 лет, а временные перегородки и техническая система обслуживания (в особенности в области медицины) устареют уже через 10 лет.

Развитие современных систем кондиционирования воздуха, начавшееся с 1940-х гг., способствовало существенному уменьшению влияния климатических условий на архитектурно-планировочные решения зданий. Однако сейчас ситуация меняется и факторы естественного освещения и воздушной среды снова будут учитываться при разработке планов зданий и сооружений. При этом наиболее предпочтительные изменения должны происходить не за счет создания больших наклонных солнечных коллекторов, а за счет традиционных способов, принимаемых за основу проектирования, т.е. ориентации здания в соответствующем направлении и научного определения пропорций светонепроницаемой и изолированной частей оконного остекления стенового заполнения. В будущем возможно возвращение к решениям фасадов в виде разнообразных сплошных или прерывистых форм, выступов или ниш (в зависимости от ориентации здания), вместо тех однообразных фасадов, к которым мы привыкли за последние десятилетия.

Некоторые зональные требования к проектированию административных зданий основываются на климатических параметрах световой освещенности и воздушной среды. В будущем возможно возвращение к этим критериям как для разработки систем по использованию тепловой энергии солнечных лучей, так и при использовании солнечных лучей в качестве источника света (рис. 10-4). В процессе разработки соответствующих систем одним из важ-

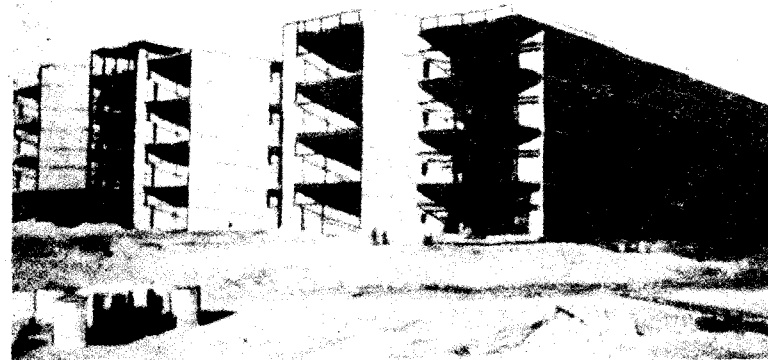


Рис. 10-3. Здание больницы Лома-Линда с предполагаемым сроком службы 200 лет

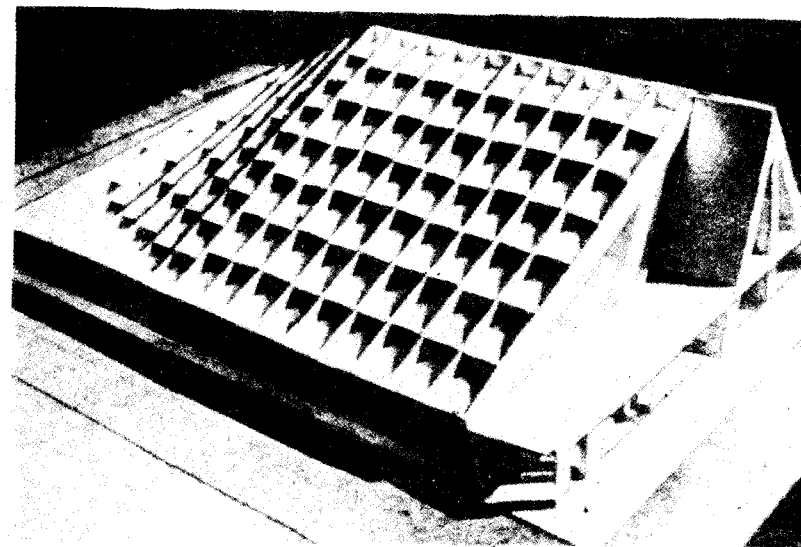


Рис. 10-4. Проект здания с максимальным использованием солнечной энергии

ных вопросов будет конфигурация зданий. Следует отметить, что наиболее общее направление проектирования фасадов зданий и сооружений будет развиваться под влиянием, оказываемым климатическими факторами и конфигурацией, в сторону динамичных решений фасадов и изменения традиционных форм зданий в плане. Одним из условий, определяющих характер возможного перемещения грунта, является геология строительной площадки. При этом ее параметры могут оказывать влияние на выбор конфигурации здания на основе критериев, которые не всегда соответствуют критериям сейсмостойкого проектирования, а иногда и противоречат им. К ним можно отнести характеристики, подобные тем, которые определяют

геометрию и местоположение строительной площадки относительно условий застройки городской среды, но выражаемые в форме зональных требований, касающихся рекомендуемых разрывов между зданиями, значений предельной высоты зданий, площади перекрытий и др.

По мере уменьшения размеров строительных площадок детерминантной, определяющей конфигурацию здания, становятся геометрические параметры, приобретающие весьма важное значение по сравнению с другими критериями. В условиях пригородной застройки, более сильная тенденция наблюдается (даже для многоэтажных зданий) в отношении возведения отдельно стоящих сооружений, на которые геометрические параметры строительной площадки практически влияния не оказывают. Однако, как уже указывалось, для городской среды характерна обратная ситуация: форма строительного участка с учетом требований в отношении проектирования уступов здания определяет конфигурацию строящегося объекта. По мере увеличения стоимости земельных участков наблюдается общая тенденция к уменьшению размеров строительных площадок, а аспекты финансовой деятельности требуют возможно более полного использования площади данного земельного участка, т.е. создание проекта, предусматривающего наибольшее количество этажей максимальной площади. С другой стороны, развитие этих тенденций приводит к возникновению зональных требований, действие которых по соотношениям соразмерности направлено на ограничение площади строительного участка или высоты строящегося здания, или на то и на другое. Зональные нормы, как правило, основаны на требованиях эстетического характера, таких, например, как нецелесообразности застройки свободных участков города или уже сложившегося образования городского типа зданиями и сооружениями неограниченной высоты и максимальной площади плана первого этажа.

За основу при проектировании типичного американского города принимается модель решетки, предусматривающая прямоугольные блоки и прямоугольные строительные площадки, независимо от того, представляют они полные блоки зданий или только одну часть. Однако для планировочного решения американских городов также характерно, что главные улицы могут пересекать по диагонали решетчатую структуру города (например, Бродвей в Нью-Йорке) или различные участки решетчатого плана могут примыкать друг к другу на нелинейной основе, создавая тем самым диагонально пересекающиеся улицы. В месте их пересечения встречаются два отдельных участка (например, Маркет-стрит в Сан-Франциско). В результате осуществления такой планировочной структуры возникает деление города на треугольные или трапециевидные строительные площадки, используемые под застройку; вот почему в итоге появляются здания, форма которых напоминает плоский уют (рис. 10-5).

Несмотря на то что геометрические параметры строительной площадки и зональные требования к планировочной структуре могут до некоторой степени оказывать влияние на решение плана здания, детальная проработка окончательной формы основывается на требованиях внутренней планировки помещений. Концепция внутренней планировки помещений заключается в организации соответствующих пространств — по размеру, форме, оборудованию или мебели и, конечно, качеству — для обеспечения деятельности, а также перемещения людей и материалов по установленным маршрутам. Всему разнообразию и сложности планов зданий и сооружений соответствуют возможные решения планировочной структуры горизонтальных перемещений, основанные на выборе одной из альтернатив или их соответствующем сочетании. Первая — перемещение осуществляется из помещения, занима-

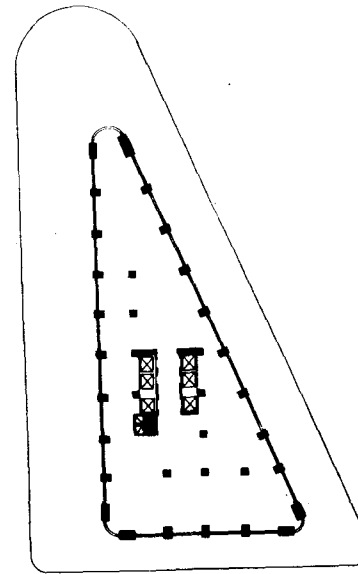


Рис. 10-5. Здание в Нью-Йорке, имеющее форму утюга

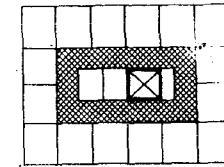


Рис. 10-6. План "беговая дорожка"

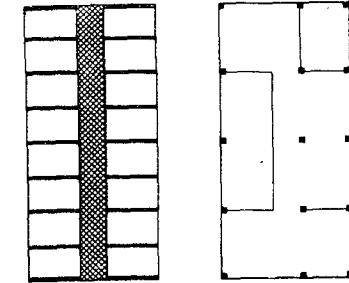


Рис. 10-7. Возможные приемы архитектурно-конструктивных решений

емого одной сферой деятельности, непосредственно в другое; вторая — перемещение из одного помещения в другое осуществляется через третье помещение, предназначенное специально для этого. Основы разработки планировочных решений такого типа хорошо знакомы проектировщикам. При горизонтальной планировочной структуре используются решения типа пространство-к-пространству (помещение-к-помещению), коридоры с одно- или двухсторонним движением.

Иногда, в целях уменьшения отношения площади помещения, занимаемого транспортными коридорами, к площади помещений, используемых для осуществления полезной деятельности, планировочное решение здания включает комбинированные структуры транспортных коридоров с двусторонним движением. Подобный тип планировочных решений в особенности характерен для таких зданий, как школы, лабораторные корпуса и больницы, где эффективность и экономичность производства строительных работ — показатели первостепенной важности. Коридорно-кольцевая форма планировочного решения этой модели была разработана для зданий больниц; ее иногда называют "беговая дорожка", так как движение организовано по кругу. Большая часть зданий, конструкция которых включает внутреннее ядро с лифтовыми шахтами и другими элементами систем инженерно-технического обслуживания, также имеют подобное решение плана (рис. 10-6). Влияние вертикальных конструктивных форм на указанные архитектурно-планировочные концепции осуществляется по двум направлениям. Конструкция может определять планировочную концепцию, подобно тому, как использование несущих стеновых элементов определяет ячеистую повторяющуюся компоновку комнат зданий гостиниц или жилых комплексов.

Конструкция также может оставлять свободной организацию внутреннего пространства, как, например, в административном здании, предназначенном для сдачи во временную аренду (рис. 10-7).

К основным требованиям при проектировании зданий и сооружений различного многофункционального назначения следует отнести требования по технике безопасности в части обеспечения кратчайших и свободных путей эвакуации; препятствия, создаваемые конструктивными элементами в коридорах массового перемещения, весьма нежелательны. Если в соответствии с изменением функционального назначения помещения, можно изменить проектное положение перегородок, то пути эвакуации обычно сохраняются в первоначальной планировке. Поэтому определение маршрута эвакуации на основе компоновки конструктивных элементов, которые по своей природе остаются в проектном положении на протяжении всего срока службы здания, можно считать наиболее разумным подходом.

Архитектор, кроме организации пространства в горизонтальной плоскости, стоит перед проблемой расстановки вертикальных размеров и для любого здания выше одного этажа он должен предусмотреть системы вертикальных коммуникаций. Высота здания относится к показателям, имеющим важное значение при проектировании сейсмостойких конструкций и определяется количеством этажей и высотой каждого этажа. Количество этажей, в свою очередь, определяется на основе анализа различных факторов, таких, как размер строительной площадки, стоимость строительства, полезная площадь здания. Высота между этажами определяется эксплуатационными требованиями или соображениями экономического характера; минимальные затраты, необходимые для осуществления определенных видов деятельности, обычно определяются по соответствующим нормам. В ходе принятия предварительного решения о проектировании многоэтажного здания следует также определить поэтажную планировку путей эвакуации между отдельными этажами. Включение в архитектурно-планировочную схему конструкций мезонинов, галерей и других подобных элементов требует более высоких потолков, широких пролетов, консолей, переходных мостиков и прочих деталей, которые не всегда целесообразны, поскольку являются источником конструктивной разрезности и неуравновешенности системы.

Лестничные клетки в конструкции зданий имеют фиксированное положение и могут являться сосредоточением локальной жесткости и воспринимать несоразмерную часть воздействующих сейсмических нагрузок. Такое явление следует считать отрицательным, поскольку лестничные клетки представляют важный элемент конструкции здания с точки зрения обеспечения безопасности тех, кто в нем живет или работает; поэтому, в случае пожара или землетрясения, они должны оставаться неповрежденными. Лестничная клетка может создать проем или разрыв сплошности в конструкции диафрагмы перекрытия, если не предусмотреть ее размещение вне горизонтальной диафрагмы. Несмотря на то что обычно лифты рассматриваются как шахты, огражденные стеновыми перегородками, фактически требования к проектированию лифтовых подъемников предусматривают отверстие в перекрытии с соответствующим разрывом горизонтальной диафрагмы. Стеновые перегородки, ограждающие шахту, могут составлять часть вертикальной или поперечной конструкции здания; однако этого включения можно избежать, если лифтовая кабина имеет подвеску в верхней части и для перемещения требуются только направляющие рельсы. Таким образом в диапазоне конструктивных ограничений имеется широкая возможность принятия разнообразных решений. На принятие решений основное влияние оказывают эстетические и стилистические факторы. В качестве примера

влияния стиля можно привести хорошо известное формальное течение, распространенное во многих странах мира, для которого характерно создание простых прямолинейных форм многоэтажных зданий, преимущественно административных. Эта тенденция наблюдалась с 1950 по 1965 г. Истоки этого течения можно проследить в том периоде развития современной архитектуры, который находился под сильным влиянием крупных архитектурных авторитетов, оно обусловлено влиянием формы, а не экономических, климатическими или конструктивными факторами и фактически не принимает во внимание климатических особенностей, которые требуют создания различных фасадов в зависимости от уровня инсоляции.

Прямолинейность формы здания представляет концепцию восприятия здания в качестве простого геометрического элемента, в пределах которого заключены (но не выражены в архитектурном смысле) функциональные элементы. Противоположное направление в архитектуре призывает воспринимать здание как сосредоточение элементов, каждый из которых имеет свое формальное отражение. Последнее направление в настоящее время, несомненно, является сильным импульсом для многих проектировщиков и прямоугольная форма здания (коробка) сейчас не пользуется популярностью. Следует отметить, что многие здания включают элементы, спроектированные в соответствии с обеими концепциями; однако здания и сооружения, эстетическое восприятие которых особенно важно, имеют архитектурные решения без каких-либо компромиссов.

Конфигурация административных зданий

Административное здание как тип появилось в США в начале XIX в. Архитектурное решение планов этих зданий прошло четыре этапа. Описание, представленное в настоящей главе, умышленно упрощено, так как распределение по категориям основано лишь на тех аспектах, которые оказывают наибольшее влияние на пространственную форму здания (рис. 10-8).

Первый этап развития архитектурной формы административных зданий продолжался до начала 1940-х гг. В течение этого периода, для которого характерен рост объемов управленческой работы, конфигурация зданий в большей степени определялась параметрами естественной вентиляции и, что более важно, необходимостью в дневном свете. В то время уже существовала принудительная вентиляция, а искусственное охлаждение помещений еще нет; приток воздуха поступал через открываемые окна, а в жаркий период лета дополнительно включались вентиляторы. Электрическое освещение в административных учреждениях появилось в начале XX в., лампы накаливания были неэкономичны и выделяли очень большое количество тепла. К 1940 г. появились первые лампы дневного света, но до этого времени естественное дневное освещение было основным источником света в помещениях. Эти факторы накладывали определенные ограничения на ширину здания в плане, а для внутренней планировочной структуры помещений, в основном, принималась схема транспортных коридоров с движением в обе стороны. Поскольку административные здания строились, как правило, в районах сложившейся городской застройки, то уже тогда влияние, оказываемое увеличивающейся стоимостью земли, было довольно значительным. Появление подъемных лифтов позволило существенно увеличить этажность зданий, но они по-прежнему оставались узкими в плане. Для создания определенного светового и воздушного режимов в условиях небольших городских районов планировочные решения зданий включали узкие многочисленные корпуса (крылья) или световые колодцы, которые на относительно больших терри-

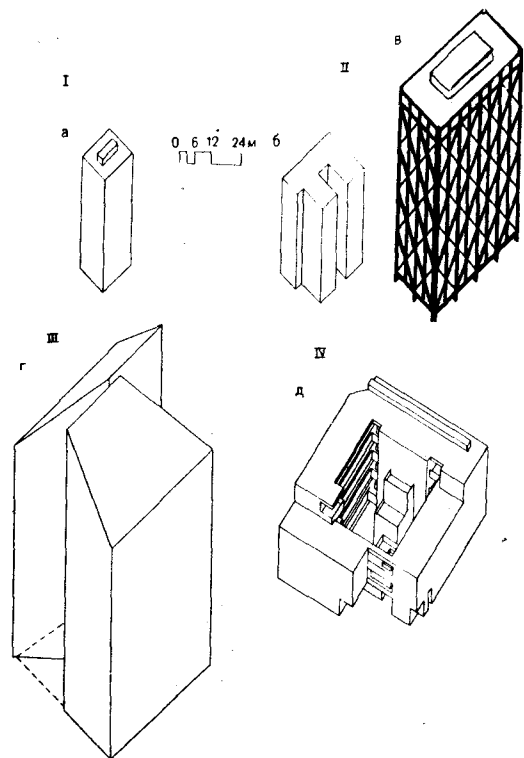
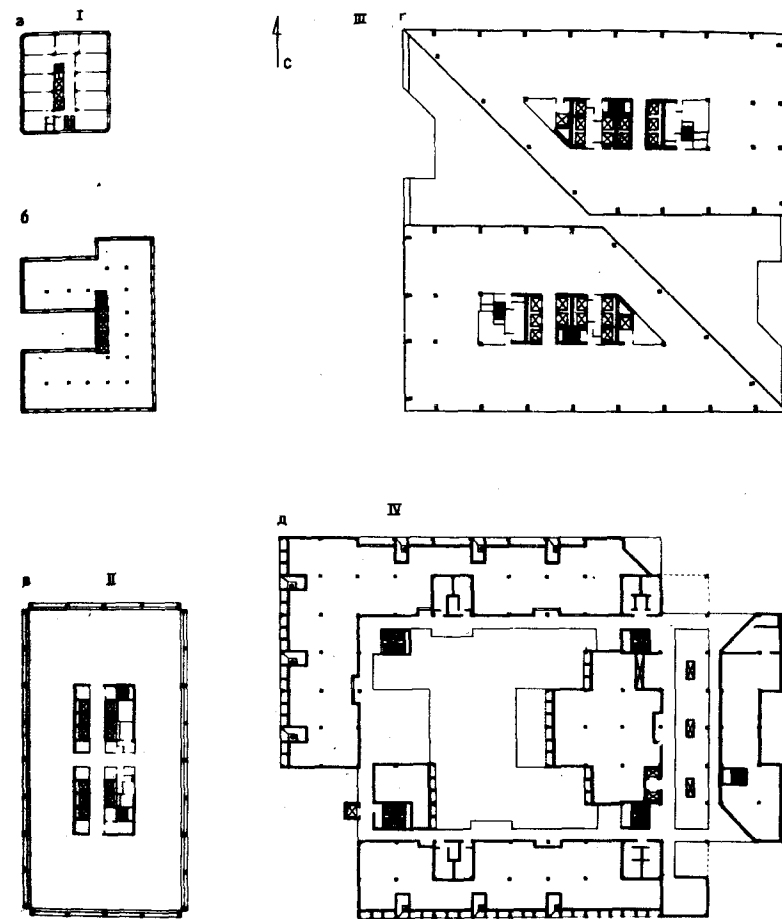


Рис. 10-8. Четыре этапа развития проектирования административных зданий
 а — здание Александр Билдинг, Сан-Франциско, 1920;
 б — здание Гваранти Билдинг, Буффало, 1895; в — здание Алков Билдинг, Сан-Франциско, 1968, г — здание Пенн-зоил Плейс, Хьюстон, 1976;
 д — проект административного здания, Сакраменто, 1979

ториях могли превращаться во внутренние дворики. Такой тип планировки был характерен для административных зданий в течение длительного времени, а форма, являясь традиционной для общественных и учебных зданий, в Европе была усовершенствована до чрезвычайно высокого функционального и эстетического уровня. В городах, подобных Нью-Йорку, перенаселенность вызвала необходимость создания так называемого вторичного элемента конфигурации, который стал характерной деталью архитектурно-планировочных решений многих зданий: это — уступы, основные положения возведения которых включены в строительные нормы в целях сохранения требуемой освещенности и воздушного режима на улицах и между прилегающими зданиями.

Второй этап развития форм является результатом взаимодействия экономического, технологических и эстетического факторов. Экономический фактор определяет стремление наиболее рентабельно использовать территорию застраиваемого участка. В результате такого решения узкие традиционные крылья зданий, которые ограничивали площадь используемого строительного участка и отличались большим количеством внутренних и наружных углов, стали нерациональными. Наряду с этим, усилились требования заказчиков на строительство просторных помещений, которые могли бы соответствовать новой организации рабочих мест административных учреждений. Факторами технологического характера, которые дали



возможность строить здания и сооружения с большими внутренними пространствами, являются создание эффективных систем кондиционирования воздуха и создание эффективных ламп дневного света, которые при достаточно умеренных затратах могли освещать рабочие места, удаленные от оконных проемов. Кроме этого, следует упомянуть о влиянии, оказанном бурно развивающейся в то время отраслью энергетики. Значимость эстетических факторов по-прежнему представляет спорный вопрос. Современные направления в архитектуре и влияния, оказываемые великими европейскими мастерами, такими, как Мис ван дер Роз и Ле Корбюзье, усилили эстетическую ценность простоты решения фасадов зданий и ввели в архитектурно-планировочные решения простые кубические очертания элементов. К 1940-м гг. многие талантливые архитекторы и зодчие считали, что прямолинейность форм и отсутствие каких-либо архитектурных украшений представляют единственно приемлемый стиль, отвечающий духу времени, и после

второй мировой войны здания такого типа начали появляться во всех уголках земного шара.

В начале 1950-х гг. в Нью-Йорке были построены здание Организации Объединенных Наций и здание Лавэр Бразерс Билдинг. Форма этих зданий отвечала новым требованиям в отношении помещений административных зданий и впоследствии была повторена почти в каждом крупном городе мира. Важно отметить, что в то время такое решение соответствовало новым эстетическим представлениям, новым инженерным и экономическим потребностям застраиваемых городов и, кроме того, отличалось простотой воспроизводимости. Осуществление на практике такой конфигурации неизменно оказало большое влияние на развитие сейсмостойкого проектирования. Простая кубическая форма здания привела к необходимости исключения из практики строительного производства традиционных ступенчатых форм многоэтажных зданий, что в свою очередь способствовало пересмотру норм сейсмостойкого строительства в отношении проектирования уступов. В результате в нормах была принята открытая зона в уровне нижнего этажа при отсутствии архитектурных уступов и высоте здания, ограничиваемой только потребностями заказчика. Открытая зона, часто создаваемая за счет установки коробки здания на колонны, имеющая нередко застекленный вестибюль на уровне нижнего этажа, сама по себе являлась выражением одной из догм современного направления в архитектуре, предложенной Ле Корбюзье. Впоследствии такое конструктивное решение было принято при проектировании сейсмостойких зданий и сооружений и выразилось в создании гибких первых этажей, когда основная конструкция не доходила до уровня фундамента или каким-либо другим способом обеспечивалась разрезность жесткости несущих элементов в уровне второго этажа. В то же время исключение из конструкции зданий архитектурных уступов также имело положительный результат с точки зрения сейсмостойкого проектирования. В конце 1940-х гг. изменился ряд нормативных положений, касающихся сейсмостойкого строительства (было разрешено использование сплошного остекления вместо заполнения между колоннами в виде кирпичной кладки или железобетонных перегородок). Стали применяться навесные стеновые панели, которые в сочетании с гибкими каркасными конструкциями вызвали серьезные проблемы в зонах сейсмической активности в связи с возможностью разрушения ненесущих элементов в зданиях средней и повышенной этажности.

Начало третьего этапа проектирования административных зданий можно отнести к середине 1960-х гг. и его элементы присутствуют в современной архитектуре. Стремление к созданию чистой геометрической формы получило дальнейшее развитие. Наиболее примечательным является использование наклонных плоскостей под углом до 45° (рис. 10-9), применение призматической формы с отражающим стеклом, которое улучшает тепловой режим здания. Эти формы достигают более высокой степени геометрической абстракции в 1950-х и 1960-х гг. В наши дни для проектирования административных зданий характерна модификация форм с учетом возросших требований экономии энергии на основе признания того факта, что ранее построенные здания этому требованию не отвечают. В особенности это относится к режимам освещенности помещений: стоимость освещения больших внутренних помещений сравнительно высока, но, кроме этого, требуются дополнительные затраты для систем кондиционирования воздуха. Одновременно с этими недостатками технологического и экономического характера, вызывает недовольство сам тип административного здания и оформление

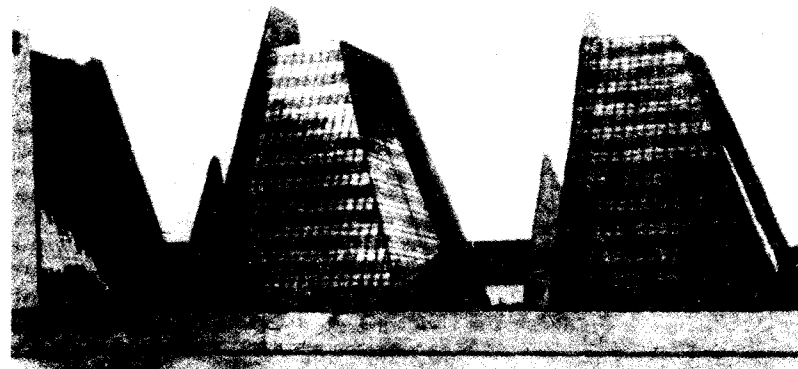


рис. 10-9. Здания призматической формы, облицованные отражающим стеклом

его интерьеров в виде просторных помещений с мягким, но не всегда удобным освещением.

Четвертый этап (современный) характеризуется возвращением к фрагментарным формам меньшего масштаба, которые применялись в начальной стадии развития. Снова появляются здания узкие в плане, в большей степени соответствующие использованию естественного освещения помещений, внутренние дворы, световые колодцы, фонари верхнего света. Многоэтажные массивные здания превращаются в более мелкие и близкие к человеческому масштабу дома. Возможно, период возведения монументальных геометрических форм подходит к концу. В настоящее время крупные административные учреждения, находящиеся в ведении крупных корпораций, а на пути к реализации находится энергетически экономная городская среда немонументального, человеческого масштаба.

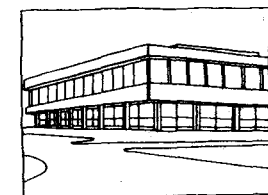
Г л а в а XI. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕЙСМОСТОЙКИХ КОНСТРУКЦИЙ И ТИПЫ ЗДАНИЙ

Введение

До настоящей главы вопрос функциональной принадлежности строящихся зданий в книге детально не рассматривался, поскольку ставилась задача определения характеристик, которые имеют большое значение при проектировании сейсмостойких конструкций и могут применяться к различным типам зданий. Кроме того, проектирование определенного типа здания может существенно изменяться по мере внедрения новой организационной структуры. Например, изменение архитектурно-планировочных структур проектов школьных зданий с конструкцией жесткой внутренней планировки и коротких пролетов между несущими элементами на гибкую каркасную планировочную схему с большей возможностью организации внутреннего пространства соответствовало внедрению в практику школьного образования новых концепций обучения, что имело место в начале 1960-х гг.

В определенной мере конфигурация здания не зависит от его функцио-

А АДМИНИСТРАТИВНЫЕ ЗДАНИЯ МАЛОЙ ЭТАЖНОСТИ



нальной принадлежности. Тип здания представляет отвлеченное понятие в том смысле, что во время землетрясения сейсмическая нагрузка воздействует на все лежащие на ее пути здания и различные сферы деятельности, осуществляемые внутри каждого из них, не оказывая никакого влияния на интенсивность землетрясения. Однако с точки зрения проектировщика целесообразно идентифицировать в форме суммарной таблицы все критерии, используемые в процессе проектирования сейсмостойких конструкций, начиная от критериев разработки обычных конструктивных схем и кончая характеристиками предполагаемого типа строящегося объекта. Такая сводная таблица предназначена для схематического представления всех требуемых взаимосвязанных параметров и увязки критериев проектирования сейсмостойких конструкций и архитектурных предпосылок, требующих дальнейшей проработки. В настоящей главе в основном рассматриваются характеристики, являющиеся прототипами проектных решений. Они носят повторяющийся характер, поскольку представляют реальные и экономически эффективные решения, отвечающие требованиям осуществляемой программы строительства. Несмотря на то, что имеется большое количество прототипных проектных решений для различных зданий, т.е. характерных моделей конфигураций административных зданий, гостиниц, школ и т.д., следует иметь в виду, что иногда тип функциональной принадлежности не соответствует форме объекта. В настоящее время развитие проектного дела идет по пути создания новых прототипов. Более того, существующая тенденция изменения функционального назначения зданий имеет примеры неожиданных решений, таких, как реконструкция и переоборудование баскетбольного спортивного зала под административное помещение.

В предыдущих главах рассматривались предпочтительные конфигурации зданий с точки зрения критериев проектирования сейсмостойких конструкций. Однако проектировщик не должен ограничиваться только ими; следует принимать во внимание большое количество других факторов кроме тех, которые относятся к риску воздействия сейсмических нагрузок; при этом предпочтительная конфигурация сейсмостойкого здания иногда может оказаться в противоречии с выбранной конфигурацией, соответствующей функциональному назначению. В этом случае все факторы следует анализировать совместно. Однако часто такой процесс основывается на недостаточном объеме исходной информации. Для того чтобы получить правильное решение, отражающее приемлемое равновесие всех противоречивых требований, иногда необходимо предвидеть эксплуатационные факторы на полвека вперед.

Приводимые таблицы в зависимости от наименований типов зданий определяют типовые характеристики архитектурных решений, связывают их с используемыми критериями проектирования сейсмостойких конструкций и предлагают альтернативные решения. Они служат как в качестве соответствующего руководства, составленного на основе анализа основных факторов, оказывающих влияние на проектирование, так и в качестве своевременной "предупреждающей" системы, включающей основные параметры проектирования сейсмостойких конструкций, которые следует принять во внимание на стадии эскизного проектирования. Несмотря на сравнительную простоту, эта система устанавливает определенную взаимосвязь между типом проектируемого здания и критериями, принятыми за основу при проектировании сейсмостойких конструкций.

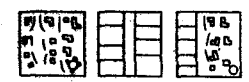
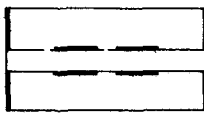
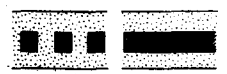

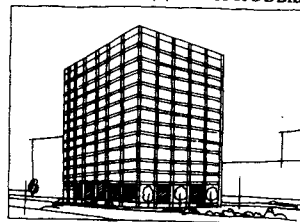
Функциональные требования к архитектурной планировке	Строительные характеристики, влияющие на сейсмостойкость	Конструктивные решения, относящиеся к сейсмостойкости
1	2	3
<p>Большое пространство для свободной планировки или размещение небольших контор или сочетание обоих требований. Здание одного функционального назначения или требуется предусмотреть возможность использования для других целей. Здания, предназначенные для сдачи в аренду, должны иметь возможность вариантной планировки.</p> 	<p>Внутренние диафрагмы могут быть слишком близко расположены друг к другу. Однако нагрузки в зданиях с малым числом этажей (в особенности выполненных из металлических и деревянных элементов) сравнительно невелики из-за небольшой массы, поэтому не требуются устройства многочисленных связей жесткости и диафрагм.</p> 	<p>Тщательная проработка определения местоположения диафрагм или связей жесткости в целях сохранения свободы при выборе планировочных решений.</p>
<p>Максимальное использование дневного света для освещения помещений по периметру здания.</p> 	<p>Трудности в размещении диафрагм по периметру.</p>	<p>Применение каркаса. Устройство отдельных оконных проемов позволяет использовать диафрагмы по периметру. Ленточное остекление делает необходимым применение каркаса.</p>
<p>Устройство лестничных клеток с ограниченным использованием лифтов.</p>	<p>Лестничные клетки способствуют концентрации жесткости и, подвергаясь разрушению, выходят из строя.</p>	<p>Создание запаса надежности при расчете на предполагаемые нагрузки или отделение лестничных клеток от основной конструкции здания.</p> 

Таблица 11-2

АДМИНИСТРАТИВНЫЕ ЗДАНИЯ СРЕДНЕЙ И ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ



Функциональные требования к архитектурной планировке	Строительные характеристики, влияющие на сейсмостойкость	Конструктивные решения, относящиеся к сейсмостойкости
1	2	3

Открытый периметр для использования естественной освещенности.

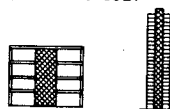
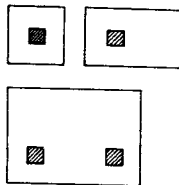
Ограничение или невозможность использования диафрагм по периметру.

Каркасная конструкция по периметру, тщательный расчет стыков колонн и балок.

Вертикальный транспорт и инженерные стволы, расположенные в соответствии с организационной структурой здания и требованиями планировочных решений.

Ядра жесткости могут использоваться для инженерных коммуникаций и принимать большую часть сейсмических нагрузок в качестве элемента жесткости; ядра жесткости могут быть неоптимального сечения (слишком узкими) или несимметрично расположенными, в результате чего возникает кручение.

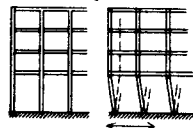
Расположение ядер жесткости должно быть симметричным, а сечение достаточным для восприятия изгибающих моментов. Следует изменить сечение и местоположение ствола; при невозможности этого не следует использовать их в качестве несущих элементов.



Высокий первый этаж для коммерческих зданий, банков и др.

Гибкий этаж может создавать опасную прерывистость жесткости каркаса на уровне второго этажа.

Устранить прерывистость.



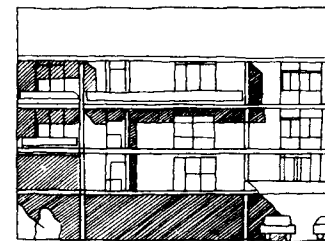
Открытый первый этаж в соответствии с выбором проектировщика или требованиями городской среды или зоны застройки для организации открытого пространства.

Нормальная работа при полном каркасе. Большое изменение жесткости в случае уменьшения количества колонн или разрыва диафрагм расположенных выше этажей.

Создание сплошности диафрагм. Любая разрезность должна быть сведена к минимуму.

Таблица 11-3

ЖИЛЫЕ ЗДАНИЯ МАЛОЙ ЭТАЖНОСТИ, МОТЕЛИ

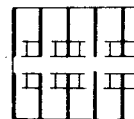


Функциональные требования к архитектурной планировке	Строительные характеристики, влияющие на сейсмостойкость	Конструктивные решения, относящиеся к сейсмостойкости
1	2	3

План ячеистой структуры с огне- и звукозащитными стеновыми перегородками.

Хорошая возможность для размещения диафрагм.

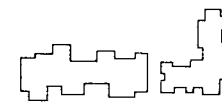
Следует уравновесить сопротивление элементов во всех направлениях и избежать ослабления сечения диафрагм чрезмерным количеством дверных и оконных проемов.



Сложные конфигурации для визуального восприятия и максимального использования естественного света.

Может возникнуть проблема входящих углов (для больших зданий), нарушение сплошности каркаса или диафрагм.

Большие здания следует разделять на более простые формы. В зданиях меньших габаритов конфигурация должна соответствовать максимальному возможному количеству неразрезных элементов.



Открытая фронтальная часть с пандусом для въезда транспорта.

Гибкий этаж. Переменная прочность и жесткость по периметру.

Наружняя подпорная стенка или контрфорс. Внутренняя диафрагма вблизи фронтальной стороны, металлическая жесткая рама вокруг переднего проема.

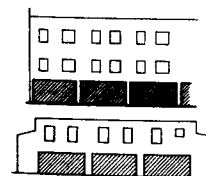
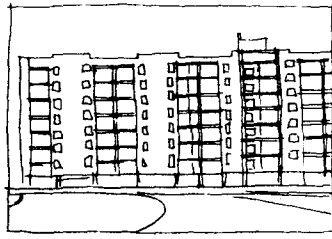


Таблица 11-4

ЖИЛЫЕ ЗДАНИЯ ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ



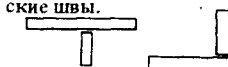

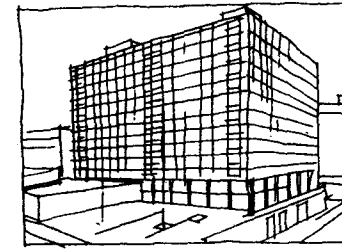
Функциональные требования к архитектурной планировке	Строительные характеристики, влияющие на сейсмостойкость	Конструктивные решения, относящиеся к сейсмостойкости
1	2	3
Открытый план с входящими углами или Т-образной формы.	Возможность кручения и концентрации напряжений в углах примыкания.	При большой длине крыльев зданий предусмотреть антисейсмические швы. 
Длинные, узкие крылья зданий с коридорами встречной циркуляции.	Возможно использование внутренних коридоров для расстановки диафрагм	Конструктивное оформление проемов, обеспечение достаточной длины каждой диафрагмы.
Хорошая звукоизоляция помещений и минимальные возможности перепланировки.	Оптимальное использование звукоизолирующих перегородок в качестве диафрагм	Все диафрагмы должны доходить до уровня фундамента. Распределение нагрузок между продольными и поперечными перегородками.
Открытый периметр, но с ограниченным размером окон. Возможны балконы и разрывы в стене.	Установка диафрагм по периметру затруднена. Балконы и разрывы в планах стен могут вызвать нарушение неразрезности элементов и неэффективность работы диафрагм.	Изучить возможность установки по периметру диафрагм при уточнении размеров и положения проемов.
Сплошные или с вертикальным проемом торцевые стены зданий узких в плане.	Торцевые стены можно использовать в качестве диафрагм.	Уточнение размеров диафрагм с учетом работы здания на опрокидывание и расчет связей между частями торцевой стены или наличие проема на всю высоту здания. 

Таблица 11-5

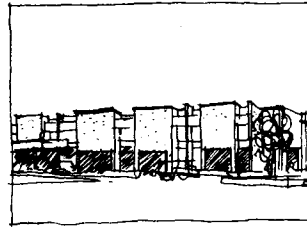
ЗДАНИЯ ГОСТИНИЦ ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ



Функциональные требования к архитектурной планировке	Строительные характеристики, влияющие на сейсмостойкость	Конструктивные решения, относящиеся к сейсмостойкости
1	2	3
Большие помещения в гостиницах (банкетные и актовые залы) на нижних этажах.	Включение в каркас больших пролетов по вертикали: в каркасе может возникнуть прерывистость жесткостей.	Перекрытие пролетов с помощью крупноразмерных рам или ферм, высота которых может использоваться для технического этажа.
		
Возможно включение в конструкцию гаража на нижних этажах.	Изменение каркасной системы (размер пролета) для парковки автомобилей, в результате может возникнуть нарушение сплошности элементов, включая диафрагмы и наличие вертикальных уступов.	Применение рамы или фермы. Оптимальное расположение парковочных гаражей рядом с основным зданием, используя антисейсмические швы.
		

Таблица 11-6

МЕДИЦИНСКИЕ ЗДАНИЯ МАЛОЙ ЭТАЖНОСТИ, БОЛЬНИЦЫ, КЛИНИКИ



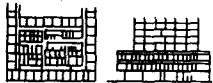
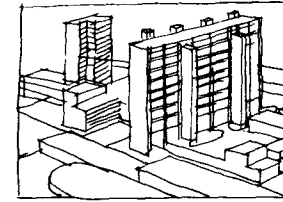
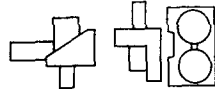


Функциональные требования к архитектурной планировке	Строительные характеристики, влияющие на сейсмостойкость	Конструктивные решения, относящиеся к сейсмостойкости
1	2	3
<p>В основном небольшие помещения. Часто предъявляются сложные требования в отношении планировочных решений. Компоновка плана этажей может быть различной.</p> 	<p>Возможная трудность в применении унифицированного каркаса, а также одинакового расположения диафрагм на каждом из этажей. Однако нагрузки в конструкции небольшой высоты сравнительно невелики из-за малой массы, поэтому не требуется большого количества диафрагм и связей жесткости.</p>	<p>Рамные каркасы наиболее соответствуют приспособляемости планировочных решений. Диафрагмы должны быть без разрывов. Для достижения этого разрешается изменение элементов плана.</p>
<p>Наличие специального оборудования и установок.</p>	<p>Защита установок и оборудования от воздействия сейсмических нагрузок.</p>	<p>Расчет конструкций на перемещение и на опрокидывание. Тщательный подбор типа оборудования и установок для данной конструкции здания.</p>

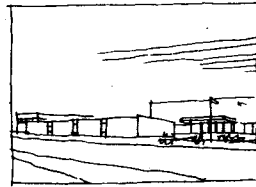
Таблица 11-7

МЕДИЦИНСКИЕ ЗДАНИЯ СРЕДНЕЙ И ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ



Функциональные требования к архитектурной планировке	Строительные характеристики, влияющие на сейсмостойкость	Конструктивные решения, относящиеся к сейсмостойкости
1	2	3
<p>Большое разнообразие типов конфигураций, включая наличие входящих углов.</p> 	<p>Возможность концентрации напряжений, кручение.</p>	<p>Разделение с помощью антисейсмических швов.</p>
<p>Сложные требования в отношении планировочных решений горизонтальных и вертикальных путей эвакуации.</p>	<p>Ограничения по размещению диафрагм и связей жесткости.</p>	<p>Анализ совместной работы диафрагм и связей жесткости и их размещение относительно схемы эвакуации.</p> 
<p>Лифтовые шахты большой высоты требуют больших вертикальных стволов.</p>	<p>См. табл. 11-2.</p>	<p>См. табл. 11-2.</p>
<p>Зоны клинического и диагностического назначений требуют большого количества небольших помещений, расположение по периметру здания не обязательно.</p> 	<p>Наличие больших площадей потребует установки диафрагм и связей жесткости.</p>	<p>Тщательное определение местоположения диафрагм связей жесткости для обеспечения реализации функций, заложенных в планировочном решении.</p>
<p>Наличие специального оборудования и установок.</p>	<p>См. табл. 11-6.</p>	<p>См. табл. 11-6.</p>

ЗДАНИЯ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ МАЛОЙ ЭТАЖНОСТИ



Функциональные требования к архитектурной планировке	Строительные характеристики, влияющие на сейсмостойкость	Конструктивные решения, относящиеся к сейсмостойкости
1	2	3

Помещения различных размеров с преобладанием классовых комнат размером 9x9 м и др.



Широкие пролеты, но благодаря небольшому нагрузкам все диафрагмы или связи жесткости можно расположить по периметру. В крупномасштабных конструкциях могут потребоваться внутренние диафрагмы или рамы.

Для больших сооружений наиболее подходят рамные каркасы, в связевых каркасах диафрагмы и связи можно расположить в таких местах, как туалетные комнаты и др., где планировка не имеет особого значения.

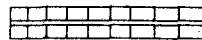
Возможность перепланировки помещений.



Каркасные системы должны соответствовать различным конфигурациям или для создания внутреннего свободного пространства на случай перепланировки пояса могут располагаться по периметру.

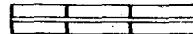
Обеспечение сплошности каркаса. Расположение связевого каркаса или диафрагм по периметру.

Здания, в особенности старые, могут иметь длинные фасады.



Жесткость конструкции здания в поперечном направлении, гибкость — в продольном приводят к возможности квазирезонанса. Диафрагмы расположены далеко друг от друга.

Жесткости следует уравновесить уменьшением длины здания или делением всего здания на отдельные части антисейсмическими швами. Дополнительные диафрагмы.



ЗДАНИЯ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ



Функциональные требования к архитектурной планировке	Строительные характеристики, влияющие на сейсмостойкость	Конструктивные решения, относящиеся к сейсмостойкости
1	2	3

Обычно различная поэтажная планировка.

Возможны трудности в применении унифицированного каркаса или сплошных диафрагм от этажа к этажу.

Обеспечение сплошности каркаса. Диафрагмы должны быть непрерывными, для чего следует искать оптимальный вариант плана.

Неоднородная структура, периметра, малая необходимость в проемах.

Большое количество вариантов конструктивного оформления периметра.

Оптимальное решение с использованием несущих диафрагм или связей жесткости по периметру.

Большие здания со сложной внутренней планировкой.

Сложные конфигурации и возникающее в результате нарушение сплошности элементов каркаса.

Следует искать оптимальный вариант плана и конфигурации для уменьшения нарушения сплошности элементов.

Здания университетов иногда имеют неординарные архитектурные решения.

Сложные конфигурации каркаса.

Обеспечение разрезности элементов, расчет на кручение и т.д.

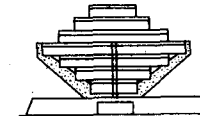
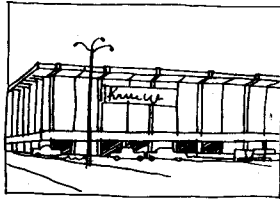
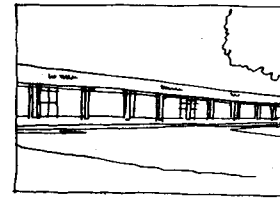


Таблица 11-10
ТОРГОВЫЕ ЗДАНИЯ НИЗКОЙ ЭТАЖНОСТИ. УНИВЕРСАЛЬНЫЕ МАГАЗИНЫ, РЫНКИ



Функциональные требования к архитектурной планировке	Строительные характеристики, влияющие на сейсмостойкость	Конструктивные решения, относящиеся к сейсмостойкости
1	2	3
Большие помещения с минимальным количеством внутренних опор.	Большие пролеты, ограниченное количество внутренних несущих перегородок.	Использование каркасной системы. При необходимости установки диафрагм их располагают как ограждения клеток, эскалаторов, туалетных комнат и др.
Вертикальные перемещения с помощью эскалаторов и лифтов. Периодически увеличивается количество посетителей.	Обеспечение надежности и прочности лестниц ведет к концентрации жесткости и возникновению кручения с возможным последующим повреждением.	Тщательный анализ работы лестничных клеток совместно с работой конструкции всего здания. Возможно отделение лестничных клеток от конструкции основного здания.
Зона лифтовой шахты обычно значительно меньше по сравнению с площадью самого здания.	Возможность возникновения кручения невелика. Шахты для инженерных коммуникаций в качестве элемента жесткости можно в расчет не принимать.	Диафрагма жесткости по периметру здания или каркасная система.
Стеновое заполнение по периметру обычно сплошное с редкими нестандартными проемами для витрин.	По критериям экономичности возможно использование диафрагм по периметру коробки здания.	Неоднородность проемов не должна создавать концентрации локальных напряжений или ослабления сечений соответствующих элементов.
	Большие изменения прочности и жесткости элементов, расположенных по периметру здания.	Следует уравновесить прочность и жесткость.
Здания небольших магазинов, выходящих на улицу, часто имеют открытую фронтальную часть, глухую заднюю, или одну общую стену для двух прилегающих зданий.	Определение расчетных параметров на основе минимальных требований нормативных документов.	Простые решения плана здания.

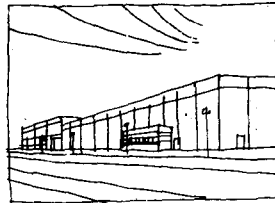
Таблица 11-11
ТОРГОВЫЕ ЗДАНИЯ, ОДНОЭТАЖНЫЕ СКЛАДЫ, ТОРГОВЫЕ ЦЕНТРЫ



Функциональные требования к архитектурной планировке	Строительные характеристики, влияющие на сейсмостойкость	Конструктивные решения, относящиеся к сейсмостойкости
1	2	3
Большие внутренние помещения с минимальным количеством внутренних опор.	Большие пролеты, нагрузки только на кровлю, часто большая масса.	Каркасные системы с диафрагмами или связями жесткости по периметру.
Различное количество людей: мало – в складских помещениях и много – в торговых центрах.	Увеличение риска сейсмической опасности в торговых центрах.	Указанное различие не отражено в нормах, решение принадлежит проектировщику.
Большая площадь помещения.	Возникновение больших усилий в конструкции диафрагмы.	Соответствующий расчет конструкций диафрагмы: для очень крупных строений целесообразно применение антисейсмических швов.
	По периметру небольших зданий могут быть размещены диафрагмы. Наличие больших проемов может привести к концентрации прочности и жесткости в диафрагмах, что приведет к кручению.	При включении в конструкцию диафрагм, расположенных по периметру, следует оценить величину усилий на участке проемов. Для больших зданий или предлагаемого расширения здания используются каркасные системы. Следует также сбалансировать прочность и жесткость элементов, расположенных по периметру.
Преимущественно замкнутый периметр с большими проемами для витрин или входа.	По периметру небольших зданий могут быть размещены диафрагмы. Наличие больших проемов может привести к концентрации прочности и жесткости в диафрагмах, что приведет к кручению.	При включении в конструкцию диафрагм, расположенных по периметру, следует оценить величину усилий на участке проемов. Для больших зданий или предлагаемого расширения здания используются каркасные системы. Следует также сбалансировать прочность и жесткость элементов, расположенных по периметру.
Для зданий торговых центров наличие фонарей верхнего света, атриумов.	Может возникнуть снижение несущей способности диафрагмы покрытия и концентрация напряжений.	Контроль расположения и размеров проемов диафрагмы покрытия. Включение жестких связевых элементов или горизонтальных связей жесткости.
Тенденция к снижению стоимости строительства.	Определение расчетных параметров на основе минимальных требований нормативных документов.	Простые решения плана здания.

Таблица 11-12

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЗДАНИЯ ОДНОЭТАЖНЫЕ,
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ КОМПЛЕКСЫ



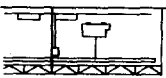
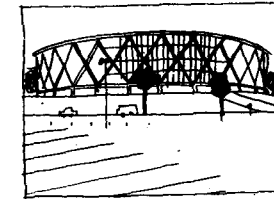
Функциональные требования к архитектурной планировке	Строительные характеристики, влияющие на сейсмостойкость	Конструктивные решения, относящиеся к сейсмостойкости
1	2	3
Большие свободные внутренние пространства, высокие потолки.	Большие пролеты, часто небольшая масса конструкции.	Каркасы с диафрагмами или связями жесткости по периметру. Могут использоваться рамные каркасы для исключения диафрагм и получения свободного пространства.
Площадь здания в плане может быть очень большой (например, для сборки автомобилей).	Могут возникнуть большие усилия в диафрагме покрытия.	Расчет усилий в горизонтальной диафрагме покрытия, для очень больших зданий рекомендуется разделение антисейсмическими швами.
Могут возникнуть большие нагрузки на кровлю, наличие крупных грузов, перемещаемых по подкрановым путям.	Нагрузки слишком большие в отношении габаритов здания, могут оказать негативное воздействие на динамические характеристики конструкции.	Расчет на различные сочетания нагрузок.
 Замкнутый периметр, кроме зон загрузки и выдачи продукции.	См. табл. 11-11.	См. табл. 11-11.
Кровельное покрытие обычно без проемов, кроме относительно небольших для вентиляторов, дымоотсосов и др.	Дает возможность выполнить жесткую диафрагму в уровне покрытия.	

Таблица 11-13

БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫЕ ПОКРЫТИЯ, АУДИТОРИИ, СТАДИОНЫ,
ТЕАТРЫ И КОНЦЕРТНЫЕ ЗАЛЫ



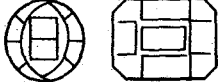



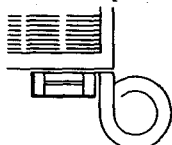
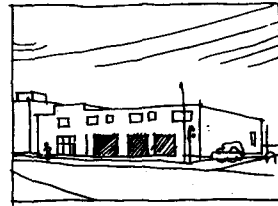
Функциональные требования к архитектурной планировке	Строительные характеристики, влияющие на сейсмостойкость	Конструктивные решения, относящиеся к сейсмостойкости
1	2	3
Большие свободные пространства, высокие потолки.	Большие нагрузки, передаваемые с кровельной диафрагмы на элементы контура.	Тщательное проектирование конструкции диафрагмы и соединение ее с элементами контура.
Некоторые здания (общего назначения, спортивные) требуют простой конфигурации.	Конструкции оптимальны с точки зрения сейсмостойкости, надежны и экономичны в проектировании и строительстве.	
		
Некоторые здания (театры) часто требуют асимметричной формы в плане.	Конфигурации могут привести к появлению кручения или концентрации напряжений.	Проектирование асимметричного здания в рамках симметричной конструктивной формы.
		
Обычно замкнутые периметры (по причинам теплового и светового режимов), но при наличии входов для публики.	Решение удобно для размещения диафрагм или связей жесткости; однако большое количество входов может нарушить конструктивную целостность здания.	Тщательное проектирование размещения проемов. Поиск варианта плана для снижения степени разреженности.
		
Большие стадионы имеют просторные лестницы и пандусы.	В целях обеспечения безопасности требуется надежная конструкция лестниц.	Обеспечение совместной работы с основной конструкцией; при необходимости выполняется разделение.
		

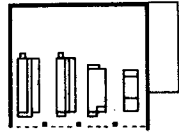
Таблица 11-14

ПОЖАРНОЕ ДЕПО, СТАНЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
АВТОМОБИЛЕЙ



Функциональные требования к архитектурной планировке	Строительные характеристики, влияющие на сейсмостойкость	Конструктивные решения, относящиеся к сейсмостойкости
1	2	3

Открытые фасады (ворота для въезда автомобилей) часто комбинируются с глухими стенами по другим сторонам.



Изменение прочности и жесткости элементов периметра, ослабленные сечения стен из-за большого количества проемов. Даже при отсутствии полного разрушения кручение и повреждение формы может вывести здание из строя.

Уравновешивание прочности и жесткости элементов по периметру. Жесткое обрамление проемов для уменьшения повреждений формы.

Наличие жилых или административных помещений на втором этаже.

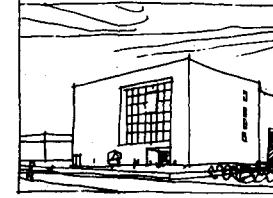


Добавление массы на гибкий первый этаж (большие пролеты с большими проемами снижают прочность стен). Масса, прилагаемая в опасном месте, увеличивает возможность появления кручения.

Изменение конструктивного и архитектурных решений. Если это нецелесообразно, то дополнительная нагрузка должна быть минимальной; при этом необходим тщательный расчет.

Таблица 11-15

ЗДАНИЯ БИБЛИОТЕК СРЕДНЕЙ И ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ
СО ВСТРОЕННЫМИ КНИГОХРАНИЛИЩАМИ



Функциональные требования к архитектурной планировке	Строительные характеристики, влияющие на сейсмостойкость	Конструктивные решения, относящиеся к сейсмостойкости
1	2	3

Большое разнообразие организации пространств. Большие открытые помещения (читальные залы) и книгохранилища с низкими потолками.

Пролеты средней величины. Иногда различная высота помещений (хранилища, читальных залов, вестибюлей, галерей) может привести к нарушению сплошности элементов каркаса.

Использование каркасных систем. Обеспечение сплошности каркаса и поиск нужного варианта решения плана.

Очень большая масса в зонах складирования книг. Поскольку процесс приобретения книг постоянен, нагрузки изменяются медленно.

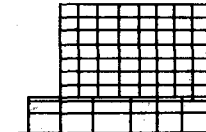
Асимметричность массы, в особенности на верхних этажах, может оказать серьезное влияние на динамические характеристики здания и вызвать кручение.

Тщательный анализ, моделирование динамических характеристик для различных периодов эксплуатации здания.

Открытая планировка помещений книгохранилища.

Ограниченное использование внутренних несущих перегородок или элементов жесткости.

Рамные каркасы или связи жесткости по всему периметру здания.



Периметр, открытый в зонах читальных залов, замкнутый в зонах хранения книг.

Изменение прочности и жесткости элементов, расположенных по периметру, может привести к концентрациям напряжений и возникновению кручения.

Равномерное распределение элементов несущей системы (по жесткостям и массам) по периметру здания.

Глава XII. ВНЕШНИЙ ОБЛИК ОБЪЕКТОВ, ПРОЕКТИРУЕМЫХ ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНОВ

Введение

Для проектировщика проработка проблемы, связанной с определением конфигурации здания или сооружения, занимающая значительную часть времени, отведенного на поиск необходимого архитектурно-планировочного решения, часто оказывается затруднительной. Возникает вопрос: означает ли, что в соответствии с приведенными здесь основными положениями указываемых руководств и строительных норм, сейсмостойкие, экономичные и надежные конструкции должны быть симметричными в плане, однородными, иметь правильную форму и возможность повторения? Вопрос спорный. Однако нет сомнения в том, что при реализации целесообразных концепций сейсмостойкого проектирования не на основе слепого соответствия разработанным правилам, а на основе правильного их понимания остается достаточно простора для воплощения замысла архитектора и конструктора. Вполне вероятно, что здания и сооружения, возводимые в районах с высокой сейсмической активностью, могут иметь внешний облик, отличающийся от того, который имеют здания, построенные в других географических зонах. Такое отличие архитектурного облика не связано с желанием привлечь внимание к неординарности формы, оно обусловлено историческим развитием основ учета сейсмостойкости при проектировании, что подтверждается множеством примеров, имеющих важное историческое значение. Хороший проектировщик всегда должен сознавать, что проектирование конструкций сейсмостойких зданий и сооружений подразумевает простоту форм, которая никогда не может надоесть или вызвать чувство эстетического неудовлетворения. Подтверждением служит простота основных концепций, которые реализованы в наиболее выдающихся произведениях архитектуры.

Несмотря на то что большая часть архитектурных направлений и традиций возникла в сейсмических районах (Месопотамия, Китай, страны бассейна Средиземного моря, Индия), невозможно отделить особенности принципов проектирования сейсмостойких конструкций, характерных для архитектуры тех мест, от концепций, принятых за основу архитектурного проектирования в регионах, где сейсмическая активность отсутствует. Аналитический метод подхода к решениям проблем проектирования сейсмостойких конструкций был разработан и принят в XX в., так как в более ранние исторические времена, землетрясения рассматривались как злонамеренные (с религиозной точки зрения) явления, носящие случайный характер и при проектировании в расчет не принимались. Однако нельзя отрицать, что проектирование зданий и сооружений в то время осуществлялось на основе хорошо известных критериев: исторический период, продолжавшийся до конца XIX в., можно охарактеризовать как борьбу за создание жилища, а затем соответственно организованного пространства в условиях ограниченной номенклатуры материалов, используемых для строительства и эффективно работающих только на воздействие сжимающих нагрузок. По мере увеличения высоты зданий и усложнения их конструктивных решений поперечные ветровые нагрузки и возможность потери устойчивости, учитываемые в обычном расчете конструкций, стали включать в рассмотрение параметров при проектировании сейсмостойких конструкций, и примеры готической архитектуры являются наглядным доказательством справедливости этого заключения.

До того как приступить к анализу внешнего облика будущих объектов

проектирования сейсмостойких зданий, целесообразно рассмотреть несколько хорошо известных исторических памятников с конструктивной точки зрения, в особенности в отношении проблемы традиционных поперечных нагрузок несейсмического характера, возникающих при наличии в конструкции арочных распоров; например, сейсмостойкость церкви св. Софии, послужила основой для формирования отдельного направления в истории архитектуры. Часто вызывает удивление тот факт, что во время землетрясений не пострадали многие памятники архитектуры, которые не включали материалов, работающих на растяжение, таких, как металл или железобетон, связующий и упрочняющий стыковые соединения зданий, их создание осуществлялось до того, как появились аналитические и количественные основы проектирования сейсмостойких конструкций. Ответ на все эти вопросы относится к конфигурации, применению и реализации простых форм, которые способствуют уменьшению воздействия сейсмических нагрузок, а также интуитивному использованию строительных материалов в сооружениях, в которых растягивающие, поперечные и опрокидывающие усилия невелики. В зданиях, имеющих историческое значение, единственным методом достижения сейсмостойкости конструкции была оптимальность их конфигурации.

Образец правильной конфигурации: Парфенон

Парфенон стоит уже на протяжении двадцати четырех столетий в зоне умеренной сейсмической активности. План здания решен симметрично относительно обеих осей. По периметру здания, на небольшом расстоянии друг от друга расположены колонны, которые почти полностью ограждают сплошные диафрагмы стены, создающие внутреннее пространство, где также расположены колонны. Таким образом, здание имеет большое количество опорных элементов, что объясняется отсутствием необходимости создания большого свободного внутреннего пространства. Подобно другим примерам древней архитектуры, в здании требовалось только небольшое свободное пространство внутри его для соответствия предполагаемому функциональному назначению (рис. 12-1). Изменения, которые следовало бы внести в проект этого здания для увеличения его сейсмостойкости, если бы его строили в настоящее время, относились бы к используемым материалам (замена неармированных каменных стен на монолитные диафрагмы; создание в конструкции кровли более прочного и жесткого горизонтального диска и замена каменных колонн на колонны из более сейсмостойкого материала). Кроме этого, в наши дни проектировщики за основу расчета взяли бы другую конструктивную систему (конструкция, включающая колонны и аркады была бы заменена на рамный каркас), с более усовершенствованными конструктивными деталями (соединения между стеновыми элементами и кровельным покрытием, анкеровка выпусков и т.д.). Однако что касается конфигурации без рассмотрения конструкции самих несущих элементов — она идеальна для сопротивления воздействию сейсмических нагрузок. При желании построить здание подобных габаритов из мраморных блоков без учета современных методов, используемых в практике сейсмостойкого строительства, конфигурация Парфенона вряд ли может быть улучшена. Предполагали, что во дворце в Кноссе на о. Крит деревянные кольцевые балки выполняют роль антисейсмических элементов конструкции; однако имеются лишь очень незначительные доказательства того, что землетрясения оказывали сколько-нибудь важное значение на архитектуру Древней Греции.

При сравнении египетских храмов с храмами Греции, Роланд Майнстоун указывал на то, что даже недостроенные храмы, без каких-либо стен простояли века [1]: "... во всех построенных (греческих) храмах есть стены, которые при правильном расположении относительно осей существенно увеличивают устойчивость всего здания против воздействия сейсмических нагрузок (даже больше, чем в египетских храмах) ... Отдельные блоки, добавляемые, главным образом, в целях упрочнения конструкции на случай землетрясения, соединялись между собой железными скобами". Распорные конструкции в греческой архитектуре, как правило, не использовались, в то время, как в архитектуре Древнего Рима они применялись широко.

Купол Пантеона в Риме

Так как характерной чертой классической древнеримской архитектуры и ее основным отличием от классической древнегреческой архитектуры являются грандиозные масштабы внутренних пространств зданий и сооружений, целесообразно рассмотреть пример Пантеона в Риме, пролет которого равен 43,58 м; Пантеон существует семнадцать веков и считается самым крупным большепролетным сооружением античного мира. Конфигурация Пантеона чрезвычайно проста и состоит из цилиндрического барабана с большепролетным куполом, во фронтальной части которого расположен прямоугольный портик входа (рис. 12-2).

Кроме большой высоты и пролета, которые имеют историческое значение в развитии мировой архитектуры, огромная масса Пантеона также представляет одну из его отличительных особенностей. В отличие от некоторых зданий, построенных в готическом стиле, где горизонтальные нагрузки воспринимаются главным образом контрфорсами, стены Пантеона оказывают сопротивление распору купола за счет своей гравитационной массы. Несмотря на то что обычно большая масса увеличивает разрушающую силу землетрясения, очень толстые кирпичные стены могут оказаться настолько устойчивыми, что превзойдут все ожидания. Вертикальная составляющая силы тяжести Пантеона настолько велика по отношению к горизонтальным нагрузкам, что все сечения в сооружении постоянно находятся в состоянии сжатия. Такая система представляет упрощенную форму предварительного напряжения железобетонных элементов, применяемую в настоящее время, когда созданием очень больших сжимающих усилий (за счет использования в конструкции напрягаемой арматуры, работающей на растяжение) достигается уменьшение растягивающих усилий в бетоне при действии изгибающего момента.

Фактор трения, который обычно не принимается во внимание при проектировании современных конструкций, является важным в очень массивных кирпичных сооружениях. За счет трения, возникающего на поверхности крупноразмерных сопрягаемых элементов, выполненных из кирпича, осуществляется их совместная работа, что в современных условиях достигается с помощью механических крепежных деталей; и несмотря на то что создавая здания, подобные Пантеону, зодчие того времени не думали о трении как об усилении, за счет которого соединяются элементы, это и является отчасти причиной устойчивости и прочности массивных, хорошо построенных неармированных кирпичных зданий. Купол Пантеона представляет сплошную конструкцию с одним проемом в верхней части, а стены имеют одну массивную входную дверь. Кессоны потолка и открытые пространства равномерно расположены по периметру здания. За счет такой массивности достигается

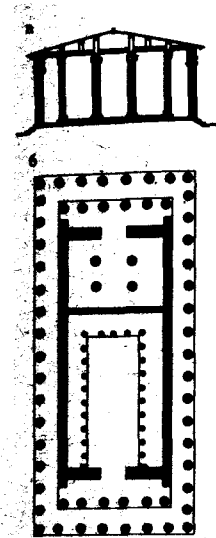
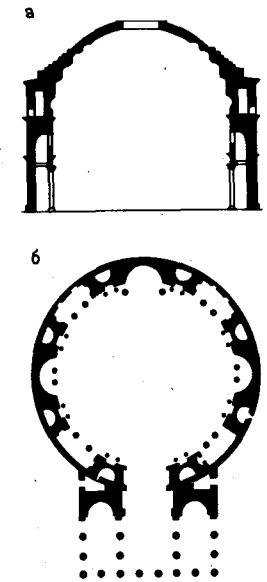


Рис. 12-1. Парфенон
а — поперечное сечение;
б — план

Рис. 12-2. Пантеон в Риме
а — поперечное сечение;
б — план



прямолинейность пути распределения горизонтальных нагрузок и возникающих напряжений. Несмотря на то что стены выполнены из неармированного бетона, кирпича и камня и могут выдерживать только небольшие касательные напряжения, огромные площади горизонтальных поперечных сечений компенсируют недостатки используемых строительных материалов.

Церковь св. Софии в Стамбуле

С точки зрения конфигурации здания и аспектов сейсмостойкого проектирования наибольший интерес представляет церковь св. Софии в Стамбуле, поскольку ее можно рассматривать с позиций достаточно квалифицированного решения проблемы восприятия горизонтальных нагрузок элементами гигантского сооружения. Зодчие Анфимий и Исидор создали конфигурацию здания, рассчитанную прежде всего на восприятие распоров от куполов и арок, а не горизонтальных нагрузок от перемещения грунта во время землетрясения. Однако простота, симметричность и правильное распределение массы конструкций оказались весьма эффективными для восприятия как внутренних, так и внешних усилий (рис. 12-3). Проблема восприятия горизонтального распора, создаваемого большепролетным низким куполом церкви св. Софии, успешно решена за счет соответствующей конфигурации плана. Четыре арки, служащие опорой куполу, воспринимая внешний распор, передают его на углы сооружения. Массивные контрфорсы воспринимают горизонтальную нагрузку с двух сторон церкви, а с двух других пристроены два эркера для этих же целей (рис. 12-4). Объем и масса всего здания равномерно распределяются по направлению к основанию, эффективно оказывая сопротивление всем вертикальным и горизонтальным нагрузкам. Два эркера, покрытые полукуполами, расположенные на восточной и западной сторонах, являются опорами для основного купола; основание их имеет арочное

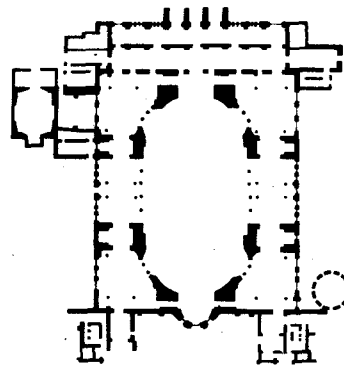
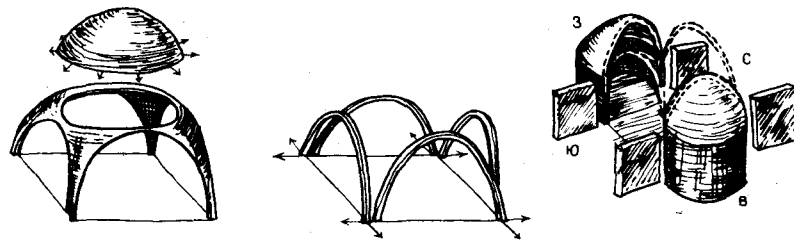


Рис. 12-3. План церкви св. Софии

Рис. 12-4. Схема работы на горизонтальные нагрузки несущей системы церкви св. Софии



очертание. С двух сторон, где расположены массивные контрфорсы, передача горизонтальных нагрузок на боковые элементы осуществляется через северную и южную арки. На этих двух сторонах ширина арок несколько увеличена, в результате чего кирпичная кладка может быть включена в работу. Размеры контрфорсов, как показала история их существования, определены неправильно — занижены, что произошло в результате количественной ошибки, которая могла быть свойственна расчетам того времени. Поэтому деформации, возникшие в этих элементах, способствовали после землетрясения обрушению одной части купола во время ремонтных работ.

Церковь св. Софии по сравнению с остальными выдающимися творениями архитектуры подвергалась наиболее частому воздействию сейсмических нагрузок. Несмотря на хорошую конфигурацию, здание было частично разрушено как за счет воздействия усилий арочных распоров, так и в результате действия сейсмической нагрузки. Эти разрушения были вызваны недостаточными размерами несущих элементов, отсутствием требуемых свойств у используемых строительных материалов, некачественным соединением отдельных элементов, но не недостатками конфигурации. Интересным фактом являются изменения конфигурации плана, которые были внесены в результате повреждений, вызываемых частыми землетрясениями [2].

Очевидец землетрясения, которое произошло в 558 г. н. э., писал в то время, что разрушению подверглась верхняя часть восточного полукупола и часть центрального купола. Вероятно был разрушен также и один из полукуполов, примыкающих к основному куполу с восточной стороны. Поскольку в конструкцию центрального купола включены ребра жесткости, которые начинаются от его основания и расположены между каждым из 40 оконных проемов, разрушилась не вся конструкция. Поврежденный центральный

купол был демонтирован и реконструирован; при этом новая высота была на 6,1–7,6 м больше прежней. После реконструкции сферическая форма была сохранена; поэтому новый, более высокий купол был подобен старому, но отличался большей устойчивостью, поскольку чем ниже купол, тем значительнее распор. В соответствии с этим увеличили массу контрфорсов в северной и южной частях собора. В период правления Василия I в IX в. были проведены большие работы по реконструкции собора, однако в результате землетрясения в 975 г. н. э., восточная половина купола и поддерживающая арка серьезно пострадали и частично разрушились. За период с 366 г. н. э. по 1894 г. в Стамбуле зарегистрировано тридцать шесть землетрясений. Во время наиболее сильного из них, которое произошло в 1346 г., серьезно пострадала восточная поддерживающая арка, и часть купола с этой стороны и часть полукупола с другой были разрушены как при землетрясении в 558 г. н. э. В 1847 г. по периметру окружности купола был установлен железный пояс.

В заключение описания этого уникального сооружения следует сказать, что, несмотря на большое количество разрушительных землетрясений, которые произошли на протяжении всей истории в месте нахождения собора, огромное, массивное, неармированное, выполненное из кирпича здание по-прежнему стоит и удивляет всех тайной своего конструктивного решения.

Приемы восприятия горизонтальной нагрузки: готические соборы

Соборы средневековья отличаются высокой конструктивной экспрессивностью. Смелые и четкие архитектурные решения, свойственные готическому стилю, являются основными характеристиками, которые отличают ее от более "статичной" классической архитектуры. Здания, построенные в готическом стиле, всегда поражали выразительностью высоты и вертикальных форм. Собор в Бове был первым сооружением, высота которого превысила 152,4 м; он был разрушен через четыре года после постройки. Высота более устойчивой башни в Страсбурге достигала 142,02 м. В то время только пирамида Хофу имела высоту, равную 146,9 м. Смелая созидательная мысль, характерная для проектирования и строительства готических шпилей и сводов и придающая особое значение понятию "конструкция", тонкое взаимодействие конструктивных и эстетических критериев, которые нашли наиболее яркое воплощение в готической архитектуре, противопоставят тяжеловесной конструктивной концепции, принимаемой за основу при возведении пирамид.

Несмотря на то что при проектировании объектов как готической, так и классической архитектуры, работа неармированных элементов обеспечивается их сцеплением в процессе кладки, в первом случае делается попытка конструктивного снижения массы сооружений за счет таких рациональных конструктивных приемов, как применение контрфорсов, башенок и наиболее эффективных арок различной формы. Наиболее характерной чертой готических соборов является внутренняя освещенность, которая достигается поворотом стен между проемами на 90° для образования контрфорсов. В здании собора в г. Шартре наиболее ярко проявились характерные черты готической архитектуры (рис. 12-5). В нем с конструктивной точки зрения учитывается воздействие горизонтальных нагрузок как ветровых, так и от арочных распоров, вызванных крутой шпильной кровлей. Контрфорсы увеличивают эффективную ширину сооружения и массу против возможного опрокидывания. Данный пример отражает совершенство разработки используемой конструктивной концепции (рис. 12-6 и 12-7). Контрфорсы готиче-

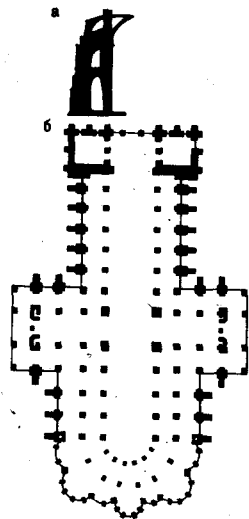


Рис. 12-5. Собор в Шартре
а — поперечное сечение контрфорса; б — план

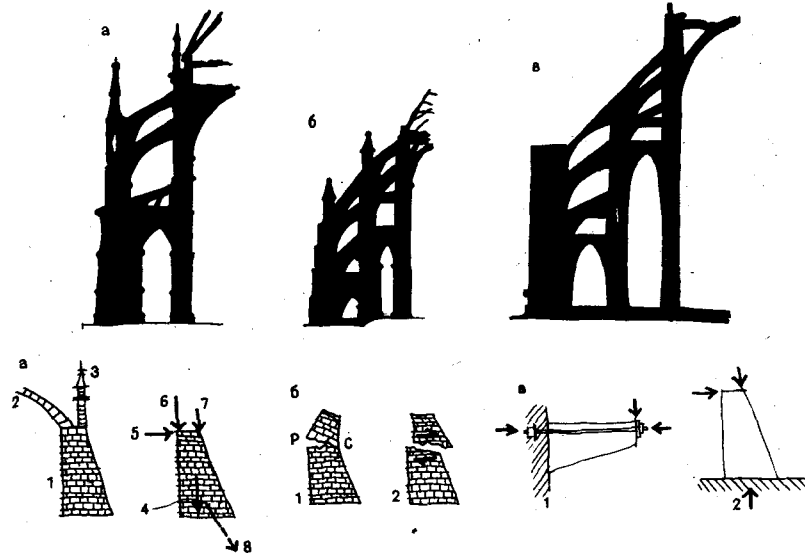


Рис. 12-7. Восприятие горизонтальных сил в сооружениях готической архитектуры
а — усилия, действующие в зданиях готической архитектуры: 1 — контрфорс; 2 — арка; 3 — башенка; 4 — масса контрфорса; 5 — распор; 6 — вертикальная составляющая усилия в арке; 7 — масса башенки; 8 — результирующая;
б — виды разрушений: 1 — при изгибе; 2 — при сдвиге;
в — аналогия между напряжением сжатия, создаваемым предварительно напрягаемой арматурой в современных консольных балках (1) и напряжением сжатия, создаваемым готическими башенками (2)

...го собора являются одновременно простым конструктивным решением и выразительной архитектурной формой; даже удивительно насколько усиливается эстетический облик сооружения при замене гладких элементов на контрфорсы, предназначенные всего лишь для восприятия усилий от арочных распоров. Башенки не всегда были необходимы для уравновешивания контрфорсов, и некоторые были добавлены во время реконструкции в XIX в.

Деревянные сооружения в Японии

Исторически сложилось так, что проектирование и строительство в Японии развивалось на основе критериев, существенно отличавшихся от тех, которыми создавались крупномасштабные кирпичные сооружения в странах Западной Европы. Типовая конструкция, широко применяемая в Японии, состоит из деревянного каркаса с большими, выступающими свесами (низкими) кровли, предохраняющими деревянные конструкции от разрушения (гниения). Вопреки древним сказаниям, традиционные японские храмы и замки подвергались серьезным повреждениям и разрушениям во время землетрясений, и история японской архитектуры переполнена фактами о проведенных ремонтных работах и реставрациях. Например, здание Хоккэй было построено в г. Киото в 1589 г. для хранения колоссальной статуи Будды. Здание было разрушено во время землетрясения в 1596 г., заново построено в 1614 г., и затем разрушено следующим землетрясением в 1662 г. Более раннее землетрясение 1596 г. разрушило замок Фушими в Шигацу, который впоследствии был построен на новом месте [3].

Основной причиной разрушения зданий подобного типа являлась огромная и тяжелая черепичная кровля, так как в верхней части здания сосредотачивалась очень большая масса. Эта проблема существует и в настоящее время в зданиях с легким деревянным каркасом и черепичной кровлей. Однако, как установлено, традиционные жилые дома могут до начала разрушения выдерживать сравнительно большие деформации. В испытаниях, проведенных на полномасштабной модели одноэтажного деревянного дома в Токийском университете в 1939 г., разрушение не наступало до тех пор, пока продольный прогиб вертикальных несущих элементов не достиг 17,5 см на один метр высоты элемента, или почти 0,61 м для сооружения высотой 3,05 м. Здания пагод, трех- и пятиэтажные, расположенные в г. Киото, являются типичными культовыми сооружениями, построенными в XIV и XV вв. Пагоды представляют особенно интересный случай проектирования и строительства, поскольку до сих пор не зарегистрировано какого-либо серьезного их повреждения во время землетрясений. Глен Берг [4] так описывал здания пагод: "Пагоды являются сооружениями с относительно гибкой планировочной структурой; их основной период колебаний изменяется в диапазоне от 1 до 1,5 с, что значительно больше, чем периоды колебаний других японских сооружений и больше, чем основной период колебания грунта в землетрясениях, наблюдаемых в Японии. Деревянные конструкции отличаются относительно небольшой массой и поэтому возникающие силы инерции так же невелики и значительно меньше, чем в других типах сооружений. Однако исключительная способность пагод выдерживать разрушающую силу землетрясений следует отнести к затуханию колебаний, свойственному их конструкциям, так как возникновение любых деформаций сопровождается трением деревянных элементов относительно друг друга в контактных поверхностях стыковых соединений".

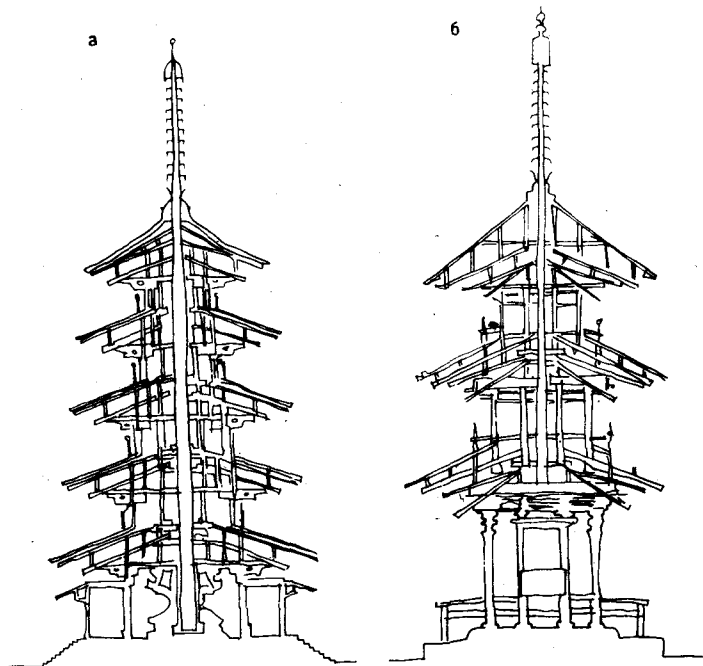


Рис. 12-8. а — пятиэтажное здание храма Хорюдзи в г. Нара; б — трехэтажное здание храма в Токакова-ши, Айчи

Одна из теорий, относящихся к необычной устойчивости пагод, объясняет это явление особенностями их конструктивного решения, которое предусматривает центральную колонну, стоящую независимо от окружающего ее несущего каркаса, подвешенную подобно маятнику к потолку пагоды. Это решение было разработано в XVII в. в целях устранения различия между небольшой величиной усадки центральной колонны в продольном направлении и большой величиной усадки, характерной для балочной конструкции и окружающих колонну прогонов в направлении поперек волокон. Такой тип конструкции пятиэтажной пагоды показан на рис. 12-8. Однако существует много примеров, где центральная колонна стоит на поверхности грунта или опирается на перекрытие второго этажа (рис. 12-8, трехэтажная пагода). Поэтому вывод о том, что хорошая работа конструкции пагод при воздействии сейсмической нагрузки объясняется только работой центральной колонны, подобно колебанию маятника, неправилен.

Профессор Танабаши из университета в г. Киото [5] суммировал причины, играющие основную роль при работе конструкции пагод во время землетрясений с тех точек зрения, которые близки к концепциям устойчивости пагод, предлагаемым Гленом Бергом. Он рассматривает четыре основные причины: 1 — основной период колебаний зданий пагод очень велик (между 1 и 1,5 с) по сравнению с другими традиционными сооружениями, и обычно значительно превышает период колебания перемещающегося грунта; 2 — конструкция пагод способна воспринимать значительные горизонтальные

нагрузки; 3 — пагоды до начала разрушения могут претерпевать большие деформации; 4 — конструкция пагод характеризуется большой способностью к затуханию возникающих колебаний. Эти четыре характеристики, по мнению профессора Танабаши, являются отражением идеальных свойств конструкции, успешно воспринимающей сейсмические нагрузки во время землетрясений. Конструктивные решения пагод позволяют заметить стратегию разработки современных зданий, включающих каркасы, способные к развитию значительных пластических деформаций.

Симметричность: ангар, построенный Нерви

Великому итальянскому архитектору и инженеру Пьеру Луиджи Нерви редко приходилось решать проблемы проектирования сейсмостойких конструкций; однако, используя эстетические аспекты, он в XX в. создал исключительно интересные сооружения, непохожие на другие. Конструктивные решения проектируемых им зданий всегда отличались простотой и правильностью форм, красота которых достигалась на основе представления усилий, действующих в конструкции, при этом всегда в рамках реальных технико-экономических условий строительства. В качестве примера методов проектирования, использованных Нерви, и анализа преимуществ симметричного плана сооружения рассматриваются построенные им ангара.

Ангара, построенные строительной фирмой Нерви для итальянских военно-воздушных сил в 1936 г., были асимметричны в плане, так как одно из требований заключалось в том, чтобы перемещение самолета в здание и из него осуществлялось с одной стороны. Колонны-контрфорсы, расположенные на небольшом расстоянии друг от друга, были предусмотрены по периметру трех остальных сторон (рис. 12-9). Неясность работы системы вызвала необходимость испытания ее модели, хотя первоначальный статический анализ конструкций, проведенный самим Нерви на основе интуитивных допущений, оказался в значительной степени правильным. Эскизный проект, выполненный на базе упрощенного расчета Нерви, впоследствии был несколько уточнен. В 1939 г. проводился конкурс на лучший проект ангара подобных габаритов и с подобными функциональными требованиями. Основываясь на опыте предыдущего проекта, Нерви внес в новое решение три, на его взгляд, необходимых усовершенствования: уменьшил массу кровельного покрытия; уменьшил массу ребер арок по использованию сборных ферм, а не сплошных железобетонных элементов; третье усовершенствование касалось только конфигурации сооружения — для уравнивания усилий, возникающих в конструкции, опорные элементы располагались симметрично, что определило решение плана (рис. 12-10). Несмотря на кажущуюся целесообразность использования преимуществ каждой возможной опоры при расчете большепролетной кровли, новый проект Нерви включал всего шесть опор из сорока, которые были предусмотрены в первом проекте ангара. Однако эти шесть опор были расположены по полностью симметричной схеме. О своем проекте Нерви писал следующее [6]: "... менее сложен, чем предыдущий, разработан на основе тщательной проработки исходных концепций и более простых гипотез с более точным конечным результатом, чем полученный в 1936 г. Результаты были проверены испытанием на модели в лаборатории Миланского политехнического института. Два метода, использованные ходе испытаний, дали согласованные результаты".

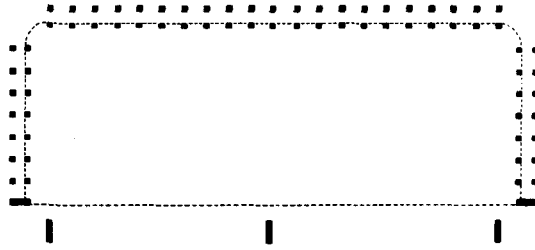
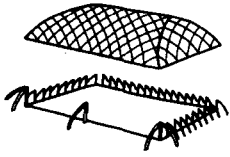


Рис. 12-9. План ангара, построенного Нерви в 1936 г.

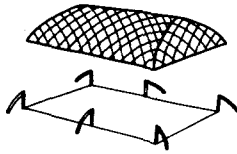
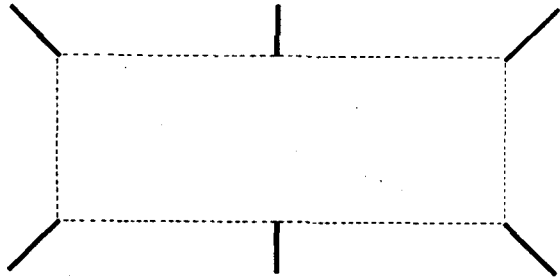


Рис. 12-10. Ангар, построенный в 1939 г. на основе раннего проекта Нерви



Внешний облик сейсмостойких зданий настоящего и будущего

С точки зрения основных концепций выражения конструктивного смысла в архитектуре XX в. удивительно то, что особое значение придается элементам, предназначенным для восприятия вертикальных нагрузок. Примеры включения в архитектурное решение зданий связей жесткости для восприятия ветровых и сейсмических нагрузок довольно редки. Возможно, это происходит по двум причинам. Одна из них в том, что в последние десятилетия наблюдается тенденция реализации формальных концепций, которые ставят на первое место воплощение внешнего облика "скульптуры", а конструктивная часть здания выполняет подчиненную роль; архитекторы и инженеры-конструкторы при этом часто работают порознь.

Вторая причина относится к недостаточному пониманию архитектором физической природы сейсмических нагрузок, хотя нередко у него есть некоторые познания в области характера воздействия вертикальных нагрузок и сопротивления силам тяжести. В этом случае он также опирается на компетенцию инженера, реализующего предлагаемую им форму конструкции вместо того, чтобы самому творчески подойти к проблеме воплощения конструктивной выразительности сейсмостойкого здания или сооружения.

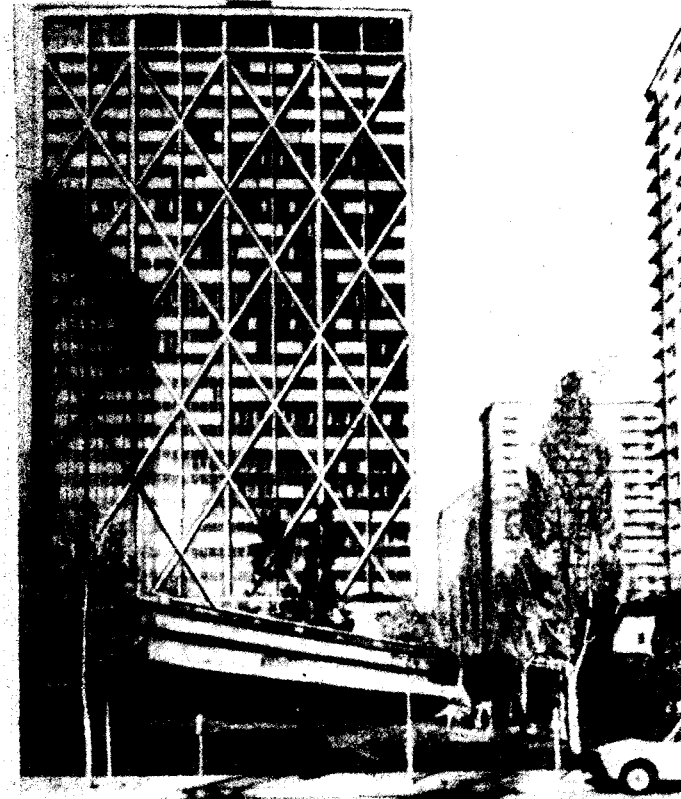


Рис. 12-11. Наружный связевой каркас здания Алкоа Билдинг, Сан-Франциско

Инженеры-консультанты часто ограничены в решении тех проблем, которые включают доминирующие эстетические аспекты, и им обычно приходится жертвовать своими критериями эстетического восприятия создаваемой формы в пользу концепций, предлагаемых архитектором. В результате такого подхода к решению вопроса страдает эстетика воплощаемого архитектурного замысла. Кроме того, из-за типизации формы здания одного и того же внешнего вида появляются в разных концах страны и даже в различных городах земного шара. Однако, как бы прекрасна и индивидуальна не была создаваемая форма, повторение ее характеристик в условиях, не соответствующих национальной культуре, топографическим особенностям, климату или геологии, никогда не смогут создать совершенства внешнего облика. К сожалению, все еще отсутствует требуемая основа для определения так называемого чувства формы, вытекающей из понимания ограничений, накладываемых работой строительных материалов на реализацию эстетического замысла. Великие художники чувствуют эти ограничения. Поскольку мы стоим перед экономическими проблемами и начинаем ощущать

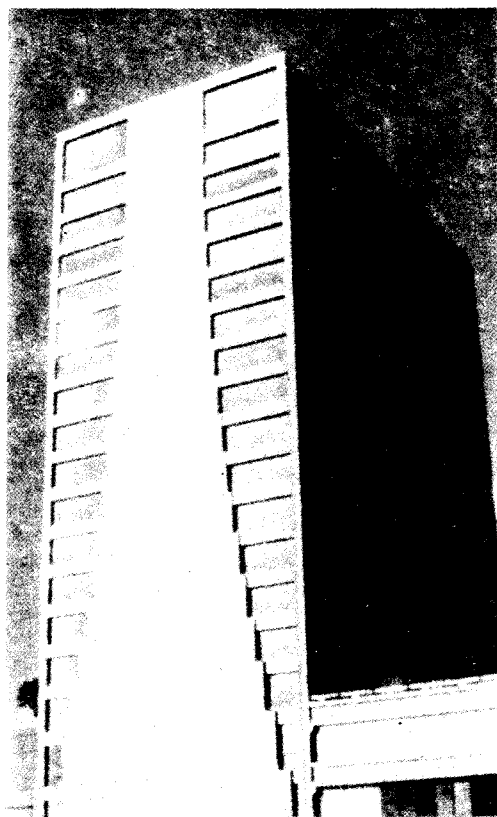
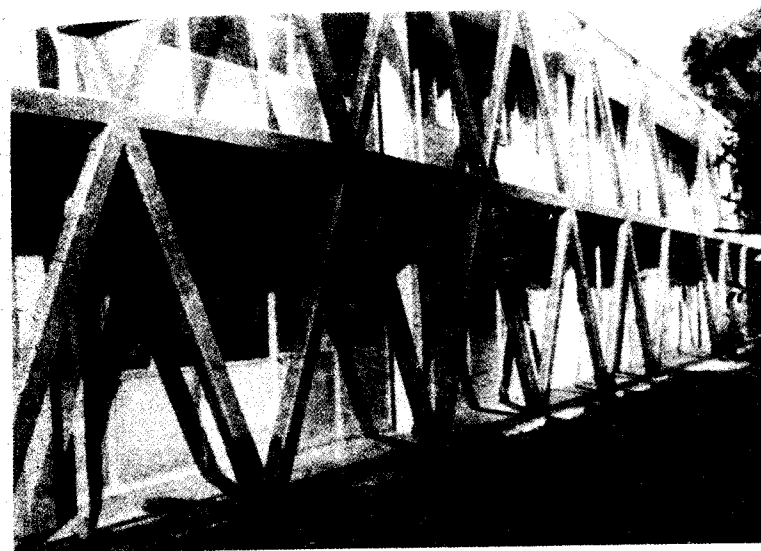


Рис. 12-12. Сечение торцевой диафрагмы уменьшается по мере увеличения высоты здания Танди Сентер Билдинг, Техас

Рис. 12-13. Реконструкция для увеличения сейсмостойкости длинного и узкого в плане здания Геологического общества, Менло Парк, Калифорния



Глава XIII. ВЫВОДЫ

ограниченность естественных ресурсов, то следует с иных позиций взглянуть на предельные возможности используемых материалов и методов и, подобно великим мастерам прошлого, реализовать их с максимальным преимуществом для эстетического воплощения замысла современных зодчих.

Как уже упоминалось, современных примеров осуществленных замыслов, в которых конструктивные основы проектирования сейсмостойких зданий использовались бы в качестве основы реализации архитектурных решений, немного. В следующих главах описываются такие примеры конструктивных решений, а также примеры восприятия еще одного типа горизонтальных нагрузок — ветровых. Они приводятся не для того, чтобы указать на изученность всех возможных решений, а для того, чтобы показать возможность получения эстетического эффекта за счет воплощения конструктивных аспектов при решении проблем проектирования сейсмостойких сооружений.

В книге, предназначенной таким образом для архитекторов, большое внимание уделяется трем важным аспектам: основам, необходимым для правильного понимания проблем и особенностей проектирования сейсмостойких конструкций; влиянию, оказываемому конфигурацией зданий и сооружений на несущую способность элементов конструкций в условиях воздействия сейсмических нагрузок; и, наконец, идентификации и толкованию основных трудностей, создаваемых типовыми конфигурациями планов и упрощенными методами преодоления этих трудностей или полного их устранения. Графическое представление этих проблем и соответствующих решений приводится в конце настоящей главы [1]. Изучение указанных выше проблем определило круг вопросов, требующих дополнительного исследования. Это необходимо, поскольку конфигурация оказывает большое влияние на проектирование сейсмостойких конструкций, а также потому, что отсутствует исчерпывающий систематический анализ сейсмостойких конструкций, определяющий их работу в условиях землетрясения совместно с такими показателями, как качество выполненных строительных работ и используемые строительные материалы. В книге неоднократно подчеркивалось, что архитектор и инженер несут равную ответственность за результаты проектирования сейсмостойких зданий и сооружений, любой проектировщик, специализирующийся в области сейсмостойкого строительства, должен правильно понимать взаимосвязь между архитектурными формами и несущими элементами. К сожалению, существующие методы обучения в высших учебных заведениях весьма консервативны, так как архитекторы и инженеры

разделены в процессе получения образования, а также в большинстве случаев и во время их практической деятельности. Однако некоторые архитекторы благодаря собственной интуиции и образу мышления обладают отличным пониманием работы элементов с конструктивной точки зрения, но, к сожалению, это происходит сравнительно редко.

Условия профессиональной практики в США (кроме той, которая предусматривает проектирование и строительство очень небольших зданий и сооружений), фактически делают невозможным для архитектора, принимающего участие в разработке проекта, одновременное выполнение роли расчетчика конструкций. Совмещение профессии архитектора и инженера, как это было с Ф. Л. Райтом во время проектирования здания гостиницы Империл Отель, в наше время просто невысказимо. Только немногие из инженеров-конструкторов имеют интуитивное чувство понимания архитектурной формы; однако подобно архитекторам они заняты выполнением своих профессиональных обязанностей, и, работая совместно с архитектором в роли консультанта, не всегда имеют право первого голоса. Взаимосвязь концепций, относящихся к формам и к инженерной сейсмологии, требует осуществления совместной и плодотворной работы архитектора и инженера, причем с самого начала разработки проектного задания гарантирует равенство прав и обязанностей каждой стороны. Участие инженера в разработке проекта на самых ранних стадиях не является чем-то новым, однако это случается по-прежнему редко по трем основным причинам. Первая — это те установки, которые обязывают архитектора стремиться к снижению стоимости работ на ранней стадии проектирования, т.е. до полной ясности в отношении осуществления разрабатываемого проекта, а именно в это время могут определяться наиболее важные аспекты решения проектируемого объекта. Вторая причина, возможно, связана с традиционной системой получения образования в области строительного проектирования, где роль ведущего проектировщика предназначена архитектору; это в сочетании с особенностями характера отдельной личности, может привести к тому, что архитектор не будет стремиться к тесному сотрудничеству с инженером. Третья причина — то, что в результате специфичности практической работы инженера и его собственной привычки к традиционным приемам использования тех или иных строительных материалов и отсутствием стремления к поиску альтернативных решений его совет действительно может не иметь большой реальной ценности для архитектора.

Поэтому вопрос заключается не только в согласованной работе двух профессионалов с самого начала проектирования, а еще и в том, чтобы эти профессионалы смогли найти общий язык в рамках одних и тех же творческих принципов и используемых критериев. Отсюда следует основная тема этой книги: стремление в общих чертах определить те рамки, ту структуру, которые были бы общими как для архитектора, так и для инженера. К одной из традиционных проблем совместной работы инженера и архитектора относится профессиональное стремление архитектора к визуальному изображению замыслов в виде эскизов или набросков, в то время как инженер предпочитает точный, но абстрактный язык математики с использованием кривых и алгебраических формул. Эти два языка являются почти несовместимыми, поэтому в книге используется большое количество графических изображений и фотографий, которые, по мнению авторов, могут быть полезными для понимания затрагиваемых вопросов. Авторы считают, что одна книга не в состоянии устранить все трудности, возникающие в области взаимопонимания двух профессионалов, но само ее существование является значительным шагом вперед.

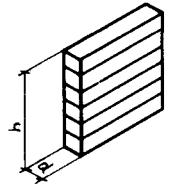
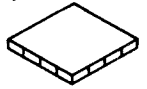
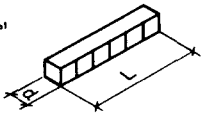
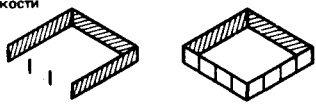
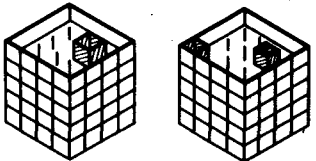
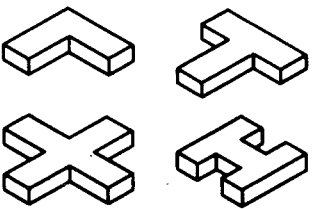
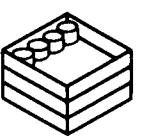
Принципы работы здания или сооружения в зависимости от конфигурации плана были почти полностью основаны на эмпирической информации: данные получали в результате изучения работы зданий во время землетрясений. С точки зрения архитектора, аналитическая и экспериментальная работа инженеров в области научных исследований была направлена на абстрактные конструктивные понятия, которые представляют упрощенные модели собранных им зданий. Те необычные архитектурные формы, которые обсуждались в предыдущих главах этой книги, не всегда являются предметом усложненного анализа работы конструкций. Требование простоты аналитической модели понятно: количество переменных, которое может быть изучено, ограничено, а проектирование реальных зданий и сооружений по определению наиболее оптимальной конфигурации с учетом всех мыслимых факторов будет слишком сложным процессом. Данные расчета обычно округляются даже для простых зданий, которые представляют основной объем проектной работы, и сложные архитектурные формы расчетником приводятся к простым конструктивным схемам, а элементы индивидуального облика здания в расчете обычно никогда не учитываются.





Одна из целей будущего заключается в том, чтобы аналитический расчет и данные модельных испытаний отвечали в максимальной степени реально возводимым объектам, а не упрощались в целях соответствия существующим ограничениям, накладываемым использованием средств вычислительной техники или сейсмоплатформ. Такая задача требует создания более сложных моделей, которые должны включать не только общие характеристики конфигурации, но и несущие элементы, дополняющие конструктивный каркас и превращение его в удобное для эксплуатации здание. Для этого архитектору следует принимать самое активное участие в предшествующей научно-исследовательской работе. В результате совместной деятельности архитектора и инженера наряду с разработчиками новых концепций проектирования будут созданы новые руководства, предложения, а также нормы, которые, способствуя принятию оптимальных решений, уравновесят влияние архитектурных и инженерных аспектов (в том числе влияние, оказываемое используемыми строительными материалами) на сейсмостойкость конструкций.

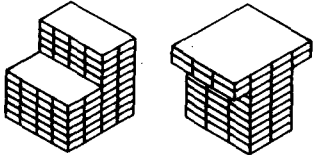
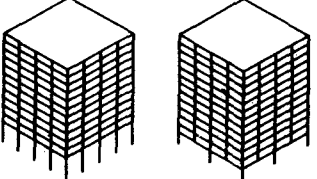
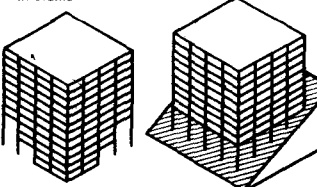
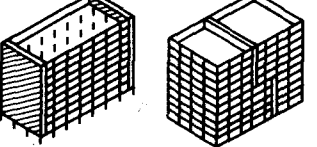
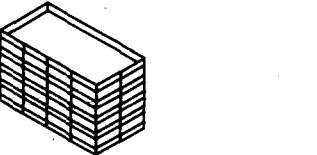
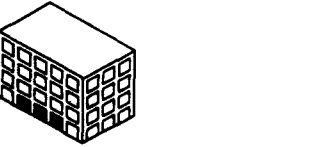
Таблица 13-1

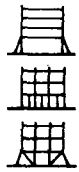
ПРОБЛЕМЫ КОНФИГУРАЦИИ И ИХ РЕШЕНИЯ

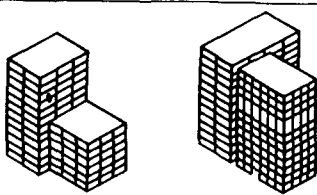
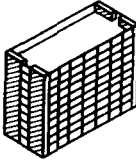
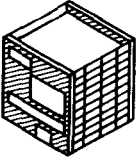
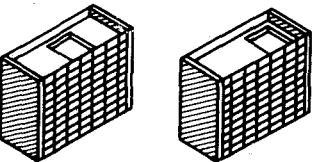
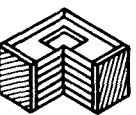
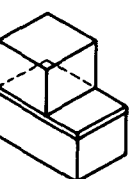
Продолжение табл. 13-1

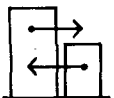

Проблемы конфигурации	
<p>Проблемы, возникающие в случае экстремальных размеров</p>	<p>Экстремальное значение отношения высоты к ширине</p>  <p>Экстремальная площадь плана</p>  <p>Экстремальное отношение длины к ширине</p> 
<p>Проблемы, возникающие при различной горизонтальной планировке</p>	<p>Простая конфигурация плана</p> <p>Различные значения прочности-жесткости по периметру</p>  <p>Псевдосимметрия</p>  <p>Входящие углы</p>  <p>Несколько эксцентриситетов</p> 

АРХИТЕКТУРНЫЕ КОНЦЕПЦИИ	КОНСТРУКТИВНЫЕ СЛОЖНОСТИ	РЕШЕНИЕ
<p>Функция планировочного решения или фактор ограничения строительной площадки.</p> <p>Характерно для складских помещений, промышленных предприятий, торговых центров.</p> <p>Характерно для старых зданий, школ, многоэтажных жилых домов.</p>	<p>Увеличение нагрузок на опрокидывание, вызывающих повреждение несущих элементов.</p> <p>Увеличение усилий в диафрагме.</p> <p>Рост поперечных нагрузок по периметру: большая разница в несущей способности элементов по 2-м осям</p>	<p>Изменение пропорций или специальные конструктивные системы.</p> <p>Разделение здания антисейсмическими швами.</p> <p>Разделение здания антисейсмическими швами</p>
<p>Часто результат планировочного решения, например, пожарные станции, фасады магазинов, где нужны сплошные стены в углах зданий.</p> <p>Требования планировочного решения: вертикальное перемещение для использования пространства.</p> <p>Требования планировочного решения: узкие крылья, например в жилых домах, больницах, ограниченные площади строительной площадки в городских условиях; характерно для старых построек без кондиционирования воздуха и ламп дневного света.</p> <p>Требования планировочного решения: книгохранилища в библиотеках, специальное оборудование, плавательные бассейны (приподнятые).</p>	<p>Кручение, вызываемое изменением прочности и жесткости.</p> <p>Кручение, вызываемое асимметричной жесткостью ядра.</p> <p>Кручение и концентрация усилий в углах</p> <p>Кручение, концентрация напряжений.</p>	<p>Дополнительный каркас и разделение стен, или каркасы и легкие стены.</p> <p>Отделение ядра или каркаса от несущих стен</p> <p>Разделение частей</p>  <p>Однородное ядро</p>  <p>Центральное ядро</p>  <p>Изменение конфигурации</p>  <p>Пересмотр планировочного решения; усиление несущих элементов вокруг сосредоточенной массы.</p>

Проблемы конфигурации	
Проблемы, возникающие при вертикальной планировке	<p>Вертикальные и перевернутые уступы</p>  <p>Гибкий этаж – каркас</p>  <p>Изменение жесткости колонн в пределах этажа</p>  <p>Разрезные несущие перегородки</p>  <p>Колонны ослабленного сечения – прочные балки</p>  <p>Модификации основной конструкции</p> 

АРХИТЕКТУРНЫЕ КОНЦЕПЦИИ	КОНСТРУКТИВНЫЕ СЛОЖНОСТИ	РЕШЕНИЕ
<p>Вертикальные уступы как результат проектного решения из-за условий строительной площадки.</p> <p>Функциональное требование открытых пространств первого этажа или больших пространств на любом этаже.</p>	<p>Концентрация напряжений в уступах, различные периоды колебаний для различных частей здания, рост усилий в диафрагме, передающихся на уступы.</p> <p>Скачкообразное изменение жесткости в точке разрезности.</p>	<p>Специальные конструктивные системы, динамический расчет.</p> <p>Дополнительные связи.</p> <p>Дополнительные колонны.</p> <p>Связи.</p> 
<p>Функциональное требование разнообразия пространств и высоты помещений.</p>	<p>Внезапное изменение жесткости, значительно большие усилия в жестких колоннах.</p>	<p>Пересмотр конструктивной системы для уравнивания жесткостей.</p>
<p>Планировка ограничивает использование поперечных перегородок на первом этаже или создание впечатления "плавающего куба".</p>	<p>Разрыв траектории передачи нагрузки и концентрация напряжений в наиболее нагруженных элементах.</p>	<p>Не имеются.</p>
<p>Характерно для зданий с большим объемом остекления: школ, больниц, учреждений.</p>	<p>Разрушение колонн наступает до разрушения балок, короткие колонны должны воспринимать смещение этажа.</p>	<p>Дополнительные стены для уменьшения усилий в колоннах, отделение заполнения навесных панелей с каркасом.</p>
<p>Функциональные требования высоких окон; характерно для реконструкции, иногда по условиям интерьера.</p>	<p>Наиболее опасно при кирпичном заполнении, изменяющем конструктивную схему; короткие жесткие колонны создают концентрации напряжений.</p>	<p>Разделение заполнения, использование легких материалов.</p>

Проблемы конфигурации	
Примыкающие конструкции	<p>Разделение зданий</p> 
Несущие перегородки	<p>Парные</p>  <p>Случайное расположение оконных проемов</p> 
Диафрагмы	<p>Проемы</p>  <p>Конфигурация</p>  <p>Башня</p> 

АРХИТЕКТУРНЫЕ КОНЦЕПЦИИ	КОНСТРУКТИВНЫЕ СПЛОЖНОСТИ	РЕШЕНИЕ
<p>Различные части одного здания (уступы) или здания на примыкающих участках</p>	<p>Возможность ударов, зависящая от периода колебаний здания, его высоты, сдвига, расстояния.</p>	<p>Требуемое разделение, принимая противоположное направление колебания зданий</p> 
<p>Характерное решение для коридоров с двусторонним движением</p> <p>Необходимость в окнах, дверях, проемах для каналов.</p>	<p>Несовместные деформации стен и связей</p> <p>Снижение несущей способности в месте передачи максимальной нагрузки.</p>	<p>Обеспечение надежных связей или создание систем, благоприятной для восстановления</p>  <p>Учет работы конструкции в неупругой стадии</p>
<p>Необходимость вертикальных коммуникаций, световых шахт, фонарей верхнего света.</p> <p>Вертикальный транспортный лифт у входящих углов.</p> <p>См. табл. 13-16</p>	<p>Снижение несущей способности диафрагмы.</p> <p>Ослабление диафрагм в наиболее критических зонах.</p> <p>Диафрагмы в месте уступов должны передавать полную нагрузку от расположенной выше части.</p>	<p>Учет работы в неупругой стадии.</p> <p>Учет работы в неупругой стадии.</p> <p>Расчет с учетом включения диафрагм.</p>

Приложение. А.1. Параметры, учитываемые в процессе проектирования сейсмостойких конструкций

Введение

Конструктивный расчет является составной частью процесса проектирования зданий и сооружений, а проектирование сейсмостойких конструкций является составной частью конструктивного расчета и его не следует рассматривать в отдельности как самостоятельный процесс. Модели процесса проектирования почти всегда включают цепь последовательных действий, которые не всегда объективно отражают стадии проектирования. Теоретически для осуществления проекта требуется формальный процесс, в котором взаимодействия всех составляющих могут рассматриваться одновременно. Такое условие не способствует созданию исчерпывающей модели, но, как правило, проектировщик сам аппроксимирует ее за счет оперативного пересмотра и видоизменения полученной информации. Так как проектировщик обычно работает с информацией, которая часто носит неопределенный характер и имеет неоднозначный смысл, он может очень быстро вносить различные изменения. Поэтому методы, используемые проектировщиком, изменяются в широком диапазоне и могут быть линейным процессом, сопровождаемым реализацией автоматизированной программы, в которой каждая часть информации определена с максимальной точностью и объективностью.

В настоящем приложении рассматриваются параметры и их документационное представление для процесса проектирования сейсмостойких конструкций для каждой стадии проектирования, необходимые как архитектору, так и инженеру.

Программа

Архитектор должен тщательно ознакомиться с требованиями, предъявляемыми к осуществляемой программе, и обсудить их вместе со своими предложениями с инженером. Это необходимо во избежание ненужных конфликтов, которые могут возникнуть на почве принимаемых функциональных или расчетных критериев, а также факторов ограничения.

Параметры, необходимые для рассмотрения перед началом проектирования:

Габариты здания	Общая площадь Площадь пола Предполагаемое количество этажей
Характеристики условий строительной площадки	Геологические условия Зональные ограничения: план территории ограничение высоты Ориентация Характеристики фундамента
Требования к решению интерьера	Типы организационных пространств: большие малые Требования к путям эвакуации: вертикальная система горизонтальная система
Пожарные нормы	Строительные нормы и правила
Бюджет	Приемлемый уровень расходов

Решения по выбору типа конструкции

Строительные нормы на проектирование сейсмостойких конструкций	Определение соответствующих требований норм
----------------------------------------------------------------	---------------------------------------------

Стадия эскизного проектирования

До начала осуществления эскизного проектирования необходима консультация инженера с архитектором по вопросу возможной конфигурации строящегося объекта. Как только будут составлены комплексные планы или определены особенности предлагаемой конфигурации, их немедленно следует согласовать с инженером для уточнения возможных конструктивных решений.

Параметры, необходимые для рассмотрения перед началом эскизного проектирования

Конфигурация	Форма Габариты Количество этажей Важные проблемы, относящиеся к конфигурации Высота межэтажных перекрытий; варианты
Система вертикальных путей эвакуации	Лестничные клетки Лифты Инженерные стволы: размер проектное положение
Отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха	Общий тип Система распределения (разводки) Пространство, требуемое для прокладки каналов
Материалы	Требования норм Заполнение каркаса
Решения по выбору типа конструкций	Горизонтальный каркас Вертикальный каркас Системы, воспринимающие горизонтальные нагрузки: рамные каркасы диафрагмы связевые каркасы Требования к условиям периметра Особые требования к эстетическому облику
Общие конструктивные решения	

На этой стадии проектирования должна осуществляться постоянная координация между архитектором и инженером, в особенности по обсуждению вопросов, относящихся к принятию общих конструктивных решений, а также выбору систем перемещения, конфигурации плана и их взаимосвязанной реализации.

Стадия предварительного проектирования. Разработка проектного решения

На этой стадии принимаются основные инженерно-технические решения и устраняются проблемы, связанные с работой проектируемой конструкции в условиях воздействия сейсмических нагрузок. На стадии рабочего проектирования инженер получает информацию, необходимую для осуществления требуемого расчета, по результатам которого в проектное решение вносятся поправки с учетом размеров элементов или других более важных параметров. Расчет по результатам рабочего проектирования может потребоваться на ранних стадиях осуществления проектного задания для разработки усложненных или уникальных решений, в том случае, если методы обычной аппроксимации использовать нельзя.

Рассматриваемые параметры

Архитектурные системы.
Предварительно принятые решения

Наружное стеновое заполнение
Внутренние перегородки
Потолки
Перекрытия
Система вертикального перемещения

ное положение
Размеры, масса, проектные положения
всего основного оборудования
Все требуемые отверстия в перекрытиях, кровельном покрытии, стеновых элементах, шахтах, балках
Системы освещения

Механические, электрические, водопроводные системы.
Расчет

Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха и системы коммуникационных разводок
Предварительные размеры каналов и их местоположение в конструкции
Отверстия в перекрытиях, стеновых элементах, балках, прогонах
Проектные положения:
 кровельного покрытия
 перекрытий
 основания
Вертикальные шахты
Освещение

Принятие решений

Конструктивный расчет.
Окончательные варианты

Размеры и проектные положения элементов
Соединительные детали
Просмотр рабочих чертежей

Принятие конструктивных решений

Конструктивная система.
Расчет

Размер пролета
Горизонтальный каркас:
 материалы
 требования к фундаменту
Вертикальный / поперечный каркас
Проектные положения: несущая перегородка / связевой каркас

Процесс строительства

Стандартная практика производства строительно-монтажных работ предусматривает обязательный технический надзор, осуществляемый инженером-проектировщиком, в обязанности которого входят контроль соответствия выполняемых строительных работ содержанию разработанных им чертежей; но, кроме этого, инженеру и архитектору целесообразно контролировать и другие важные операции строительного процесса, такие, как крепления элементов конструкции потолка, правильность установки наружного стенового заполнения и опорных элементов диафрагм, устройство антисейсмических швов.

Рассматриваемые параметры

Соответствие чертежам

Качество строительных работ
Квалификация занятых рабочих

Предварительный конструктивный расчет

Предварительные размеры элемента
Предварительное определение условий работы элементов при воздействии сейсмических нагрузок

Эксплуатация построенного объекта

В настоящее время намечается тенденция включать в условия договора на эксплуатацию построенного здания или сооружения пункт обеспечения квалифицированной консультацией по вопросу наиболее эффективного технического обслуживания на протяжении срока эксплуатации здания. С точки зрения проектирования сейсмостойких конструкций существенное влияние на работу здания может оказать любое изменение решения каркаса, в том числе добавление жестких, несущих стеновых элементов, или новых отверстий в существующих стенах. Перемещение тяжелого оборудования или дополнительная его установка, в особенности в верхних этажах или в местах несимметричного расположения элементов конструкций, также имеет большое значение для работы здания и этот вопрос следует обязательно согласовать с инженером.

Документация, составляемая при оформлении подрядных договоров

В процессе разработки проекта архитектор должен быть знаком со всеми решениями, принимаемыми инженером (например, точные размеры колонн, расчет разделительных антисейсмических швов), а инженер должен иметь соответствующую информацию относительно деятельности архитектора по данному объекту. В том случае, если на основе инженерного анализа было принято условие, согласно которому перегородки не воспринимают горизонтальной нагрузки и не деформируются в результате прогибов каркаса, что следует учитывать и при разработке архитектурно-планировочного решения проекта. Кроме того, инженер обязан проверить правильность расчета на воздействие сейсмических нагрузок остальных, неконструктивных элементов, а именно: наружного стенового заполнения, анкеровки элементов кровельного покрытия, а также правильности выбора проектного положения тяжелого оборудования и т.д.

Приложение А.2. Примеры построенных сейсмостойких зданий и сооружений

Введение

В настоящем приложении приводится описание процесса проектирования сейсмостойких конструкций и конфигурации двух зданий, к возведению которых предъявлялись особенно жесткие требования.

Больница для ветеранов Ветеранс Администрейшн Госпитал в медицинском центре Ломе-Линда (Калифорния) на 500 коек была открыта в сентябре 1977 г. Больница была построена вместо разрушенной во время землетрясения Сан-Фернандо, 1971. Необходимость строительства больницы в этом районе, который отличается чрезвычайно высокой сейсмической активностью, была вызвана сложившейся там демографической ситуацией. Поэтому построенное здание представляет собой интересный пример квалифицированного подхода к проектированию сейсмостойких конструкций. Конструктивное и архитектурно-планировочное решения этого объекта интересны тем, что характеризуют степень влияния критериев проектирования сейсмостойких конструкций на конфигурацию крупномасштабных и сложных в плане зданий. Кроме того, этот

проект является хорошим примером признания основных детерминант сейсмостойкого строительства всеми, кто принимал участие в проектировании, а серьезный подход к решению поставленной задачи с самого начала проектирования позволил с одинаковой эффективностью добиться высокой экономичности строительства наряду с комфортной планировкой и удовлетворением всем требованиям сейсмической зоны.

Второй пример — здание гостиницы Империял Отель, построенное в Токио в 1920-х гг. Ф. Л. Райтом. В связи с тем, что это большое здание стоит на очень слабых грунтах в зоне с чрезвычайно высокой сейсмической активностью, архитектор взял на себя всю ответственность за реализацию новых концепций, разработанных им для проектирования сейсмостойких конструкций, которые были диаметрально противоположны принятым в строительстве того времени принципиальным положениям. Осуществление этого проекта создало миф непогрешимости и совершенства, что было проверено во время сильного землетрясения в Токио в 1923 г. Фактическая работа здания в условиях воздействия сейсмической нагрузки несколько отличалась от той, которая предполагалась теоретически, а наиболее смелые и новые элементы проекта, широко рекламируемые автором, возможно, наименее эффективно сопротивлялись прилагаемой нагрузке. Здание было построено с учетом правил решения конфигурации, которые рассматривались в предыдущих главах и поэтому, в основном, не было разрушено.

Больница Лома-Линда, Калифорния

Долина Сан-Бернардино расположена в зоне очень высокой сейсмической активности, а место, выбранное для строительства нового здания госпиталя, имело 11 активных сбросов грунта в радиусе 104,6 км, включая сброс, известный под названием Сан-Джасинто и два сегмента сброса Сан-Андреас. Во время изучения геологических условий местности полагали, что потенциально активный сброс Лома-Линда находится вблизи от выбранной строительной площадки. После тщательного исследования окружающей территории было установлено, что наиболее вероятное место расположения сброса находилось на расстоянии в 60,1–122 м в юго-восточном направлении от строительной площадки. Был сделан вывод о том, что разлома поверхности не ожидается и усиление движений грунта незначительно.

Консультанты проекта рекомендовали при расчете на сейсмостойкость учитывать магнитуду возможного землетрясения по сбросу Сан-Андреас 8 продолжительностью 35–40 с и по сбросу Сан-Джасинто 6,5–7,25 продолжительностью 20 с, на расстоянии от строительной площадки в 11,26 и 19,8 км соответственно. Проектирование конструкций здания осуществлялось из расчета пикового ускорения, равного 0,5g. Важные или потенциально разрушаемые несущие элементы проектировались из расчета возможного ускорения, равного 2g. Спектры реакций конструкций здания определялись с учетом затуханий колебаний, которые были приняты 5 и 10% от критической величины, что соответствовало пиковым значениям спектров колебаний при 0,3 для сброса Сан-Джасинто и при 0,8 с сброса Сан-Андреас. Для выбранной для здания больницы Лома-Линда невысокой этажности и горизонтальной конфигурации использовался спектр колебаний для сброса Сан-Джасинто, так как его пиковое значение почти совпадало с возможным периодом колебания самого здания. Считалось нецелесообразным предполагать возможность удлинения периода колебаний здания до пикового значения спектра сброса колебаний для Сан-Андреас.

Некоторые из характеристик расчетных усилий, которые были определены для проектируемой конструкции, находились в тесной зависимости от принятой концепции конфигурации здания. Основные критерии, принятые при определении конфигурации здания, были следующими:

1. **Геометрические параметры строительной площадки.** Большой участок площадью в 40 га позволил запроектировать отдельно стоящее здание, не ограниченное условиями геометрической конфигурации. Площадь участка была достаточной для строительства здания относительно низкого, с горизонтальным решением плана.
2. **Функциональность.** Научно-исследовательские работы в области организации деятельности больницы и разработки их планировочных решений, проведенные архитекторами до того, как приступили к осуществлению проекта комплекса Лома-Линда, позволили определить некоторые общие преимущества горизонтальной планировки, в которой предусматривается размещение клинических и диагностических зон на одном этаже с лечебным отделением, а не в нижнем этаже, который сообщался бы со спальным отделением вертикальной системой перемещения. Преимущества той или другой системы перемещения изучались индивидуально на стадии эскизного проектирования. На основе практического опыта проектирования и строительства больницы вертикальная конфигурация здания не обеспечивает равномерного перемещения, так как средства вертикальной транспортировки сосредоточены в одной башне, что приводит в определенное время

суток к перегрузкам или недогрузкам лифтов. Кроме того, в результате проведенного опроса большая часть медицинского персонала отдала предпочтение горизонтальной системе перемещения, которая также наиболее желательна для тяжело больных пациентов, в особенности в пред- и послеоперационный периоды.

3. **Эстетика.** При проектировании и строительстве зданий больниц основное внимание, как правило, уделяется решению таких сложных проблем, как поиск оптимального планировочного решения, а также размещение оборудования и систем медицинского обслуживания, поэтому критерии эстетического восприятия здания отодвигаются на второй план. За пределами участка, отведенного под строительство, плотность окружающей застройки была довольно низка. Было принято решение о строительстве окружного малоэтажного здания, расположенного почти в центре участка. Несмотря на то, что предполагалось строительство крупного здания (общая площадь около 700 тыс. м²) его сравнительно малая высота и большие размеры участка должны были снизить воздействие на окружающую застройку.

4. **Строительная система.** Здание больницы Лома-Линда предполагалось построить для наглядной демонстрации преимуществ Строительной системы "Ветеранс Администрейшн Госпитал", специально разработанной несколько лет назад группой специалистов, ответственных за проектирование зданий подобного типа. Конструкция здания включает простую низкую каркасную систему, состоящую из стоек и балок, с пролетом средней величины, межэтажные перекрытия, расположены на большом расстоянии друг от друга, несущие элементы, воспринимающие поперечную нагрузку, сосредоточены в башне, где находятся средства технического обслуживания в конце каждого из технических модулей: вместе они образуют каждое перекрытие здания. Возможность использования этой системы в экстремальных условиях сейсмической активности не была предусмотрена, однако метод конструктивного расчета позволил спроектировать и построить здание, полностью отвечающее жестким требованиям, предъявляемым к сейсмостойким конструкциям.

В результате тщательной проработки всех имеющихся параметров был предложен план длинного малоэтажного здания, который полностью соответствует требованиям жесткости сейсмостойких конструкций с максимальным уменьшением смещения этажей и минимальным повреждением внешнего облика здания, механической и электрической систем, а также того, что находится в самом здании. Кроме того, жесткие конструкции малоэтажных зданий имеют более короткий период колебаний и более низкие значения спектральных характеристик по сравнению с пиковыми величинами расчетного спектра, которые для рассматриваемого случая равны 0,3 и 0,8 с относительно двух близкорасположенных сбросов грунта. Единственный способ удалить значения спектральных характеристик здания от характеристик спектра колебаний грунта заключается в возведении высокого здания с гибкой конструктивной схемой, что со всех остальных точек зрения было бы нежелательно в условиях данной ситуации.

Требования, специально разработанные для этого проекта, включали условие, ограничивающее количество этажей до четырех, обязательную симметричность относительно двух осей в плане и в поперечном сечении. Любую сложную конфигурацию плана следовало подразделять на более простые с тем, чтобы каждый проектируемый элемент отвечал поставленным требованиям. В соответствии с таким условием архитекторам, принимавшим участие в разработке проекта, пришлось тщательно изучить варианты конструктивных схем, включавших несколько зданий или одно здание с разным количеством этажей, подвальными помещениями по всему периметру здания, по половине диаметра и без подвального помещения совсем (рис. А.2-1). При определении показателей сейсмостойкости конструкций тщательно анализировались факторы симметричности, наличие поперечных несущих перегородок, сплошность вертикальной жесткости и требования к антисейсмическим разделительным швам. Все конструктивные решения, которые предусматривали включение в расчетную схему подвального этажа, продемонстрировали присутствие прерывистости вертикальной жесткости на уровне первого этажа. Проекты комплексов, включавших несколько зданий, требовали большого количества переходных мостиков, что в свою очередь требовало устройства большого количества сейсмических швов. Конфигурация, выбранная для проектируемого здания, отличалась максимальной простотой: один блок, простой по форме и почти квадратный в плане, без подвального этажа и с симметрично расположенными четырьмя внутренними очень маленькими двориками. Предусматривалось равномерное распределение диафрагм внутри здания (которые продолжались от уровня кровельного покрытия до фундамента) (рис. А. 2-2, А. 2-3, А. 2-4).

Планировочная структура и система путей перемещения в здании разрабатывались в тесной связи с расположением диафрагм для того, чтобы в них было минимальное количество отверстий, с четкой планировкой и высокой доступностью зон различного функционального назначения. Восемь башен технического обслуживания (по четыре с каждой стороны) определяют местоположение основных диафрагм. Каждая башня

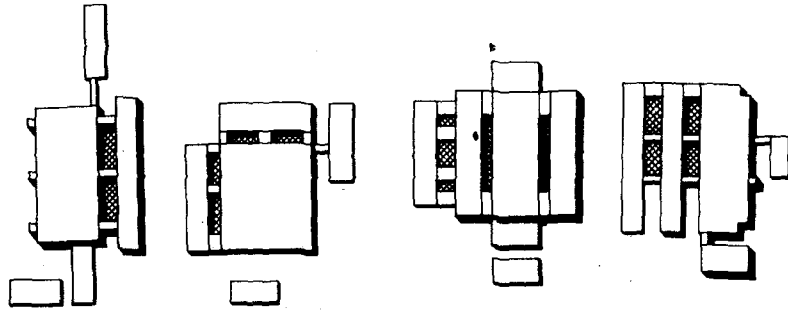


Рис. А.2-1. Предварительные варианты планировочных решений, изучаемые архитекторами

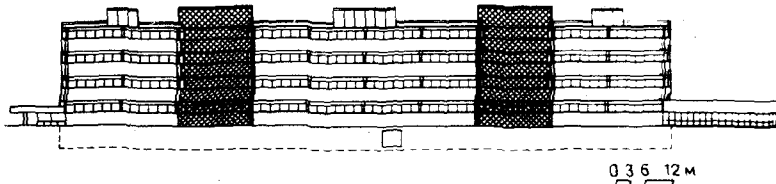


Рис. А.2-2. Поперечное сечение, показывающее расположение торцевых диафрагм

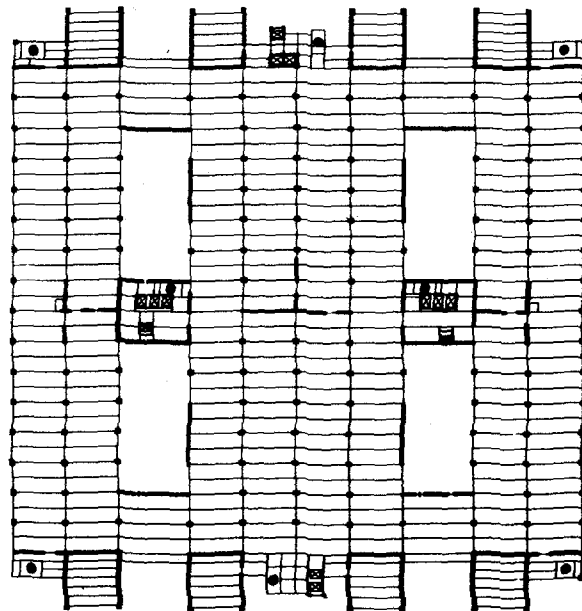


Рис. А.2-3. Типовое конструктивное решение каркаса

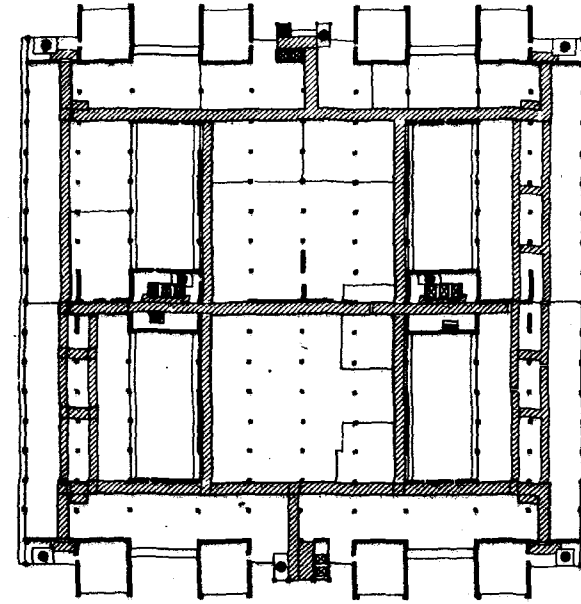


Рис. А.2-4. План 3-го этажа, показывающий пути эвакуации
1 - лифт; 2 - лестничная клетка

образована двумя несущими диафрагмами в направлении запад-восток и одной в направлении север-юг. Последняя является внутренней стеной и в ней образованы проемы путей эвакуации и каналы технических средств обслуживания. Все отверстия в несущих диафрагмах стремились свести к минимуму, а включение в конструкцию дополнительной внутренней стены создало статическую нарезанность по периметру каркасной системы здания (рис. А.2-6).

В систему, которая является несущей в отношении воздействия горизонтальных нагрузок, включены железобетонные диафрагмы и способный к пластическому деформированию рамный каркас. Основная система диафрагм обладает высокой жесткостью, в результате чего поперечные прогибы, возникаемые в элементах конструкции при задании расчетных сейсмических нагрузок, сравнительно невелики. Расчетная максимальная величина поэтажного смещения определялась как $0,004H$ (H — высота) для зданий больницы, проектируемых в настоящее время. Обычно потенциальные возможности полной несущей способности рамного каркаса рассматриваются редко; в данном случае такой анализ пришлось провести принимая во внимание габариты и значения действующих нагрузок, а также существующие неопределенности оценки перемещения.

Фрагмент основного конструктивного каркаса показан на рис. А. 2-7. Перекрытие выполнено в виде монолитной бетонной плиты по профилированному настилу, опирающемуся на стальную балочную клетку, состоящую из второстепенных и главных балок при сетке колонны, равной $6,85 \times 12,34$ м, сохраняется постоянной для всей конструкции, кроме пролетов, равных $16,5$ м в местах расположения внутренних двориков. Так называемый технический модуль (блок обслуживания) образован шестнадцатью конструктивными ячейками, размер каждой равен $6,85 \times 12,34$ м, и одной башней. На каждом этаже находится восемь таких блоков обслуживания. Поперечные несущие перегородки обычно располагают по периметру блоков обслуживания для максимального сдерживания возможных пересечений коммуникаций. Внутренние прогоны заходят под балки, что обеспечивает нарезанность балки по всему блоку обслуживания и сокращает возможность пересечения с элементами водопроводной системы, которая идет по нижней части прогонов. Благодаря этому во всех балках и прогонах отсутствуют тех-

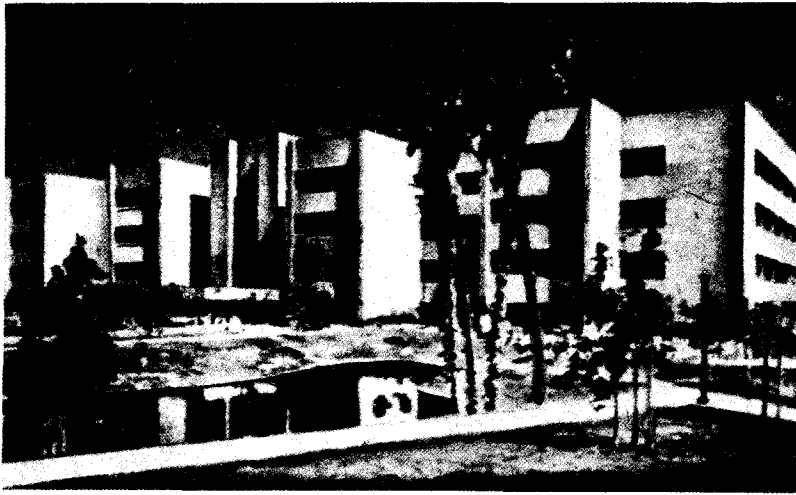


Рис. А.2-5. Общий вид

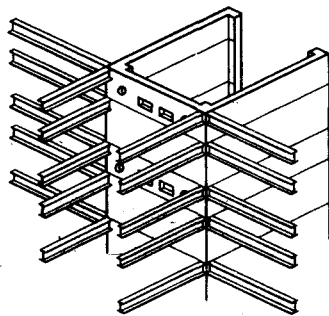
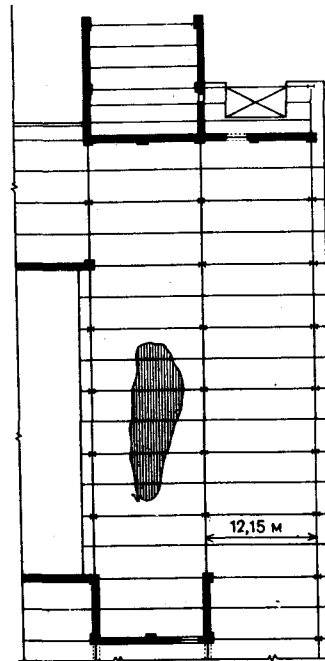


Рис. А.2-6. Отверстия в диафрагмах для прокладки коммуникаций

Рис. А.2-7. Фрагмент типового конструктивного каркаса



иические проемы. Это конструктивное решение является ранее разработанной системой проектирования.

Поперечные несущие перегородки в конструкции являются элементами стенового заполнения, которые ограждают отдельные участки металлического каркаса. Преимущество подобного объемно-планировочного решения заключается в следующем: в такой конструкции всегда имеются балки или прогоны, которые расположены параллельно и по одной линии со стеновыми элементами и могут служить в качестве связевых элементов при воздействии горизонтальных нагрузок; прохождение этих элементов через всю стену позволяет осуществлять передачу усилий с диафрагмы на стену; колонны, расположенные в торце стен, образуют способные к пластическим деформациям концевые элементы, включающиеся в работу при изгибе; элементы каркаса находятся в правильном положении для обеспечения вертикального опирания диафрагм, на которые воздействует постоянная нагрузка.

Толщина стенового заполнения изменяется от минимального значения, равного 30,48 см, до максимального — 60,96 см. Масса стальной рамы равна 805,6 кг.

Здание гостиницы Империл Отель в Токио

В сравнительно короткий период проектирования и строительства сейсмостойких конструкций было возведено здание, которое надолго поразило воображение журналистов и историков архитектуры. Возможно, это произошло в результате "театральной" удачи, блестяще использованной создателем этого здания. Империл Отель, спроектированный Ф. Л. Райтом, был открыт в июле 1923 г. Впервые на суд общественности был вынесен осуществленный современный проект сейсмостойкой конструкции здания, разработанный архитектором на основе концепций, прямо противоположных доминирующим в то время принципам инженерно-технического решения проблемы сейсмостойкости. В сентябре того же года на равнине Канто произошло одно из наиболее сильных землетрясений в истории, а Империл Отель остался неповрежденным. Он стоял один среди разрушенных зданий, как бы прославляя гений создавшего его зодчего.

Строительство здания Империл Отель ознаменовало выдающиеся успехи в области проектирования сейсмостойких конструкций и было важным событием в истории сейсмостойкого строительства. Вся ответственность за осуществление подобного проекта была взята на себя автором проекта, ответственность, которая кажется невысказанной в наше время, когда она определяется и подтверждается соответствующими юридическими законодательствами и нормами. Что касается самого здания, то реальность и фактические данные несколько отличаются от того мифа, который был создан вокруг него. Парадоксально, что аспекты сейсмостойкости конструкций, которые подчеркивал автор, оказались наименее эффективными в реальных условиях воздействия сейсмической нагрузки. Тем не менее здание работало хорошо, но основные предпосылки для этого скорее носили традиционный характер, а не характер новшества. При этом наибольшее значение имела безупречная конфигурация здания. В 1916 г., когда Райт начал проектирование здания Империл Отель, принципы сейсмостойкого проектирования находились в стадии начальных разработок. Он стремился создать рациональные основы для сейсмостойкого проектирования на базе своего понимания явления землетрясения и разработать концепции проектирования сейсмостойких зданий и сооружений исходя из собственных допущений. Такой подход сам по себе был новым, в особенности потому, что Райт по профессии был архитектором, а не инженером.

Вместе с ним работал японский инженер-конструктор Дж. Хото, который руководствовался строительными нормами, разработанными в Чикаго. Позднее Хото обнаружил, что Райт сам выполнил все расчеты железобетонных элементов с требуемой привязкой к архитектурно-планировочному решению здания [1]: "Райт сказал мне, что выполненные мною расчеты для проектируемого здания не годятся и что все элементы следует заменить на более легкие; в результате такой замены, были значительно уменьшены величины прочностей тех конструкций, которые рассчитывались на восприятие рабочих нагрузок. Такое уменьшение расчетной прочности кажется логичным, . . . Многие квалифицированные инженеры считают, что требования наших строительных норм в отношении рабочих нагрузок несколько завышены . . ."

Большая часть выводов, относящихся к работе здания Империл Отель, исходит из того, что Райт, обладая несколько экстравагантным пониманием среды, лично руководил подготовкой сведений о ходе осуществления проекта; и часто ради рекламы делал драматические, хотя и весьма остроумные заявления, не всегда подтверждаемые точными техническими обоснованиями. Что же случилось со зданием гостиницы? В соответствии с данными страховой компании, здание Империл Отель подверглось незначительному разрушению. Все здания в Токио после землетрясения в 1923 г. были разделены на пять категорий в зависимости от степени разрушения: от первой категории —

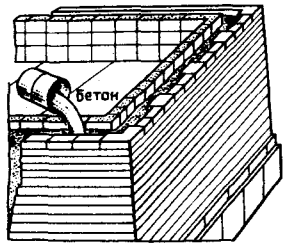


Рис. А.2-8. Технология возведения двойных стен. На рисунке не указана арматура

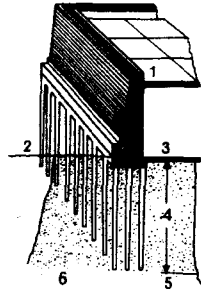


Рис. А.2-9. Метод возведения фундамента
1 — 1-й этаж; 2 — уровень грунта; 3 — основание; 4 — слабый грунт; 5 — ил; 6 — железобетонные опоры под стеновыми элементами

неразрушенные здания до пятой — полностью разрушенные. Империл Отель был отнесен ко второй категории — незначительные разрушения. Как указывает Брадшоу [2]: "Состояние вполне отвечает нормальным требованиям; однако много зданий, включая и самые большие в тогдашнем Токио, было отнесено к первой категории, в том числе токийский железнодорожный вокзал".

Повреждения здания Империл Отель заключались в следующем: на стенах коридоров появились трещины, поднялось (вспучилось) перекрытие ресторана, что потребовало подрезки колонн для его выравнивания, вентиляторы, кухонное оборудование, элементы светового освещения и другие неконструктивные элементы вышли из строя. Системы трубопроводов и проводка, которая свободно висела в каналах или находилась в бетонных траншеях, уложенных под зданием, повреждены не были. Осадка центральной части здания составила почти 0,61 м, а в последующие годы ежегодная осадка составляла 8,4 мм. При демонтаже здания в 1968 г. задняя часть центральной секции осела на 1,11 м.

Окура, ответственный за развитие застройки в данном районе, после землетрясения отправил Райту следующую телеграмму [3]: "Гостиница стоит неповрежденная как памятник вашему гению. Сотни бездомных имеют прекрасный ночлег. Мои поздравления. Окура". По этому поводу Фарр пишет [4]: "Опубликование этой телеграммы в газетах положило начало непоколебимому и официальному мифу о том, что здание гостиницы Империл Отель было единственным в Токио, которое осталось неповрежденным во время землетрясения в 1923 г. Однако это не соответствовало реальной действительности". Например, три многоэтажных здания, построенные по проекту д-ра Тачу Найто, одно из которых достигало высоты в 30,48 м (предельная высота зданий, разрешаемая в то время), фактически совсем не пострадали. Найто был одним из ведущих специалистов в области проектирования сейсмостойких конструкций, сторонником "жестких конструктивных" решений, а те концепции, которые были им тогда разработаны (наряду с другими японскими специалистами) учитываются при расчете конструкций на сейсмостойкость и в наши дни. Тем не менее работа здания Империл Отель была хорошей; один из ее наиболее важных аспектов относится к наружному несущему стеновому заполнению. Конструкция стенового заполнения включала наружный слой сплошного кирпича, внутренний слой полого кирпича и бетонную смесь, плотно заполняющую все пустоты. Относительно того, были ли стены армированы, абсолютной ясности нет; в более поздних публикациях Райт не смог убедительно дать ответ на этот вопрос — возможно, ради создания драматического эффекта, или потому, что не знал (с момента проектирования и строительства прошло много времени); однако есть предположения о том, что в стеновых элементах арматура была предусмотрена (рис. А.2-8).

Райт уделял особое внимание своему изобретению, которое относилось к конструкции фундамента, представляющей собой сочетание коротких свай и плит основания (рис. А.2-9). Следует заметить, что слой мягкого, водонасыщенного грунта толщиной 2,44 м лежал над слоем аллювиальной почвы толщиной около 22,9 м, а подстилающий грунт (мягкая порода, ил) вместо того, чтобы служить амортизирующей подушкой, возможно, усиливал перемещение грунта. Одновременно с этим могло происходить отфильтрование компонента колебаний с коротким периодом, а перемещения с длинными периодами передавались на поверхность. Поскольку здание рассчитывалось на короткий период колебаний, квазирезонанс конструкции и грунта мог быть минимальным, что не являлось специально продуманной стратегией Райта, а объяснялось работой самого здания в условиях воздействия сейсмической нагрузки.

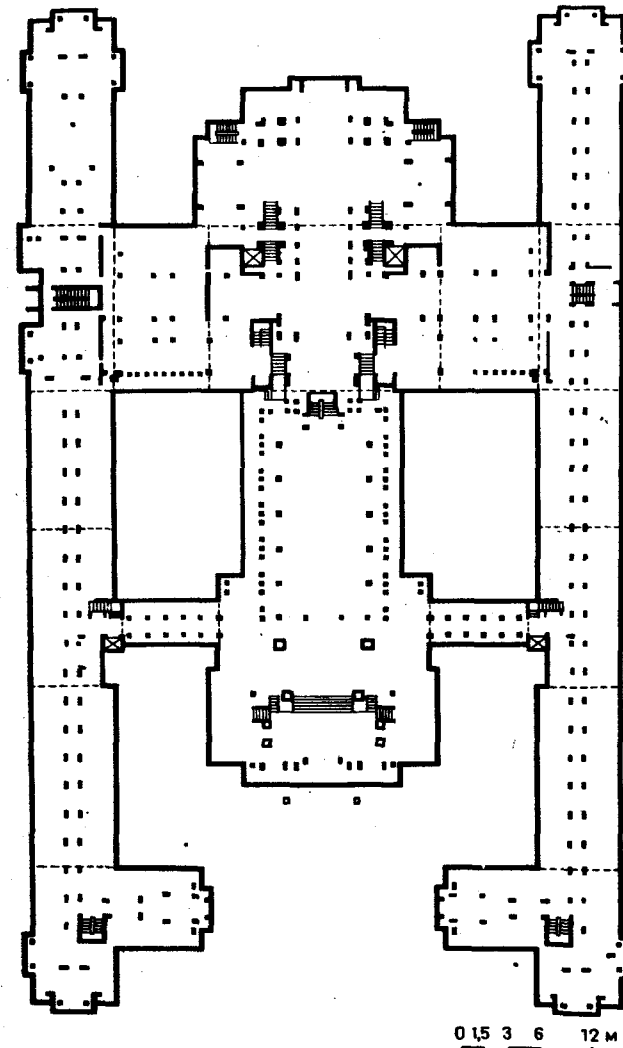


Рис. А.2-10. План нижнего этажа гостиницы Империл Отель

Возможно, наиболее важным фактором при проектировании данной сейсмостойкой конструкции было разделение всего здания на составные части, что изменило сложный план с большим количеством входящих углов на план, состоящий из небольших жестких коробок, размер каждой приблизительно равен 10,7x18,3 м. Однако Райт дает скорее рекламное, чем аналитическое объяснение особенностям конструкции своего здания [5]: "Мы решили проблему устранения угрозы землетрясения не за счет жесткости конструкции, а наоборот, сделав ее более гибкой и узкой. Зачем сражаться с землетрясением? Надо относиться к нему с симпатией, но затем следует его пережить".

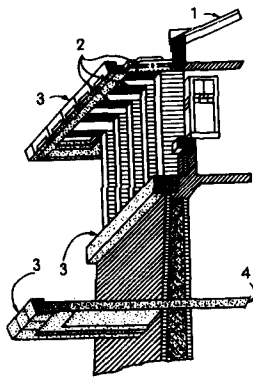


Рис. А.2-11. Конструкция наружной стены и кровли
1 — медные листы; 2 — перфорация в медных листах;
3 — лава; 4 — плита покрытия, переходящая в навес

Однако Райт, как можно судить по его комментариям, не рассматривал возможность применения в конструкции пластически деформируемых каркасов. Метод Райта создал [6]: "... гибкую конструкцию вместо жесткой, которая способствовала разделению всего здания на отдельные части. Там, где длина таких частей превышала 18,3 м, использовались антисейсмические швы, разделяющие перекрытия, стеновые элементы, фундаменты". Решение плана в форме простого прямоугольника и симметричность элементов и отдельных узлов конструкции здания оказались достаточно эффективными как для устранения неблагоприятного кручения, так и для уравнивания действия поперечных и вертикальных нагрузок. На рис. А.2-10 пунктирные линии, предложенные автором, показывают расположение антисейсмических швов.

Что касается конструктивных особенностей этого проекта Райта, то сегодня абсолютно ясна правильность использования им разделительных, антисейсмических швов. Как сейчас предполагают, сделано это было исходя из возможности возникновения различных смещений в здании, вызываемых сейсмическими волнами, проходящими по поверхности и пересекающими территорию, где расположено здание, создавая под ним волнообразное движение, а не по соображениям несоместимости колебательных перемещений в зоне здания и в точках пересечения его длинных блоков. Составные элементы конструкции здания характеризовались чрезвычайно высокой жесткостью, а не гибкостью, что полностью подтвердил Найто. Основной период колебаний здания, возможно, был менее 0,25 с. Поперечные несущие перегородки, расположенные по периметру, вместе с жесткими диафрагмами и внутренними колоннами образовали очень жесткую коробку здания. Кроме того, к жесткости, создаваемой основными конструктивными элементами, добавлялась жесткость многочисленных продольных и поперечных перегородок.

Приложение массы отдельных конструктивных узлов здания (помимо того, что они были небольших размеров и отличались значительной жесткостью) в вертикальной плоскости осуществлялось по очень благоприятной схеме [7]: "Элементы наружного стенового заполнения располагались на большом расстоянии друг от друга; имея большую толщину и массу у основания, они становились тоньше и легче по мере увеличения этажности. В то время как почти все здания в Токио имели утяжеленные верхние элементы, центр тяжести здания Империял Отель располагался внизу...". На первых двух этажах оконные проемы, расположенные в элементах стенового заполнения, были небольших размеров, увеличиваясь на третьем этаже. За счет уменьшения массы по мере возрастания высоты здания, что характерно и для решения фасада, большая часть элементов конструкции была сосредоточена внизу, где интенсивность воздействующих усилий значительно выше (рис. А.2-11). Использование для кровельного покрытия облегченных медных листов вместо традиционной японской черепицы способствовало уменьшению массы кровли приблизительно в 10 раз, что, в свою очередь, еще более снизило центр приложения нагрузки от веса конструкций и уменьшило период колебаний здания.

Следует сказать, что усилия Райта изменить концепции проектирования сейсмостойких конструкций не увенчались успехом, так как они не оказали большого влияния на дальнейшее развитие основ сейсмостойкого строительства ни в Японии, ни где-либо еще. Здание, построенное им, в условиях воздействия сейсмической нагрузки работало хорошо. Идея создания здания с гибкой конструктивной системой не согласовывалась

с требованиями расчетных положений о применении в условиях сейсмике жесткой конструктивной схемы. Тем не менее Райт впервые применил в сооружении антисейсмические разделительные швы.

Приложение А.3. Определение конфигурации

В этом приложении рассматриваются правила определения конфигурации. Так как выбор конфигурации конструкции в плане здания основывается на чистых геометрических параметрах, требуемой степени сейсмостойкости и функциональных требованиях к проектируемому зданию, одни и те же формы постоянно повторяются в практике сейсмостойкого строительства. За счет различных комбинаций, осуществляемых на основе этих трех характеристик, возможно сокращение неограниченного количества конфигураций до сравнительно небольшого количества решений с разработкой основы для определения наилучшей конфигурации без необходимости иллюстрации каждой основной формы и ее вариантов. При желании легко перейти от этих определений к соответствующим формам, реализуемым с помощью средств вычислительной техники. Основа рассматриваемой системы классификации относится к геометрическим параметрам выпуклости и вогнутости. При использовании этих концепций в отношении планов, разрезов или сечений зданий можно правильно и сравнительно быстро определить степень сложности: отличить здания простой формы от зданий сложной формы с входящими углами или криволинейными поверхностями (как в плане, так и в разрезе).

На рис. А.3-1 показаны примеры форм, определяемых отдельно, как простые и сложные в плане и как простые и сложные в разрезе. Показываемые формы выбраны в качестве наиболее характерных, используемых в практике проектирования. Переходя от двух размеров к трем, рис. А.3-2 показывает, как указанные характеристики собираются в матрицу, которая определяет четыре основные категории строительных форм. И, наоборот, все конфигурации объектов строительства могут быть соотнесены с этой матрицей.

В планах, которые включены в это приложение, показаны сначала четыре основные категории, или семейства строительных форм. В иллюстрациях определяются основные конфигурации с возможными вариантами для каждого семейства. Авторы не предполагали показ всех возможных форм и вариантов; необходимо установить основу, по которой для различных функциональных целей можно найти ту или иную подходящую конфигурацию (рис. А.3-3, А.3-4, А.3-5).

После определения четырех основных форм приводятся характеристики скосов применительно к простым сложным формам в плане и в разрезе. Кроме этого, показан способ образования скосов, например, форма, состоящая из большого количества малых ступеней, приводящая неизбежно к L-образной форме в плане или в разрезе. Важность этой концепции состоит в том, что планы зданий, имеющих уступы, решаются только скошенными конструкциями, а поэтому ступенчатая геометрическая форма не обязательно обозначает конструкцию с входящими углами в плане или конструкцию с уступом в разрезе (рис. А.3-6).

В конечном итоге выбираются три компонента конфигурации, поскольку они имеют важное значение в проектировании сейсмостойких конструкций и принимаются на ранней стадии эскизного проектирования: первый — конструкции, проектируемые по периметру здания, характер которых определен с точки зрения доли площади проемов и регулярности сечений элементов, второй — характер разделения внутреннего пространства (организации пространства) определяется насыщенностью конструкциями и соответствием требованиям к планировочным решениям; третий — важный элемент конструкции — ядро жесткости. Ядро — серия отверстий в перекрытиях, которые расположены по вертикальной линии, что позволяет вертикально расположить механические элементы инженерных коммуникаций, лифтов, лестничных клеток по всему зданию; может быть заключено в конструкцию для восприятия вертикальных или поперечных нагрузок; схематично представляет собой трубчатый элемент, но, как правило, оно имеет более сложную форму. Определение каждого параметра и его характеристик приводится в графическом виде (рис. А.3-7 — А.3-10).

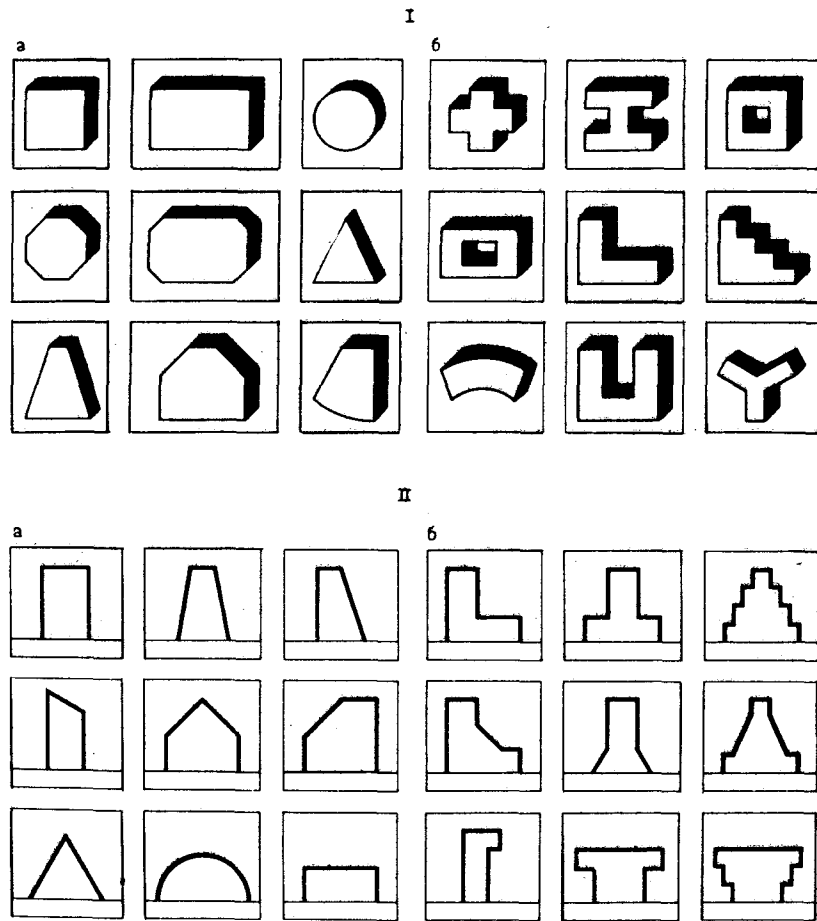


Рис. А.3-1. Простые и сложные формы плана и разреза
 I – планы; II – вертикальные разрезы; а – простые; б – сложные

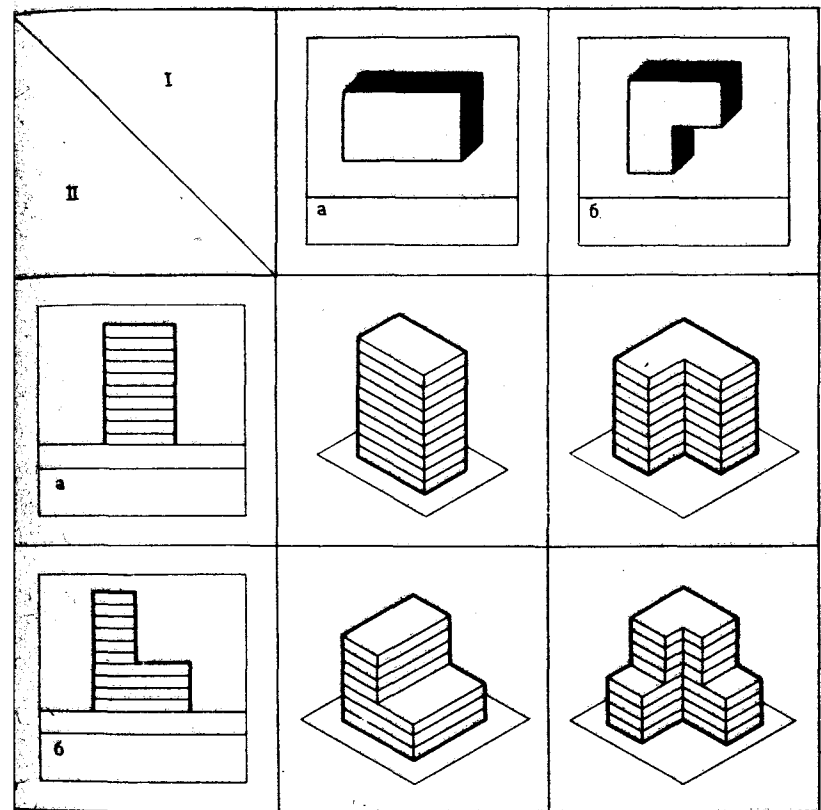


Рис. А.3-2. Матрица, составленная из четырех основных форм зданий
 I – горизонтальный план; II – вертикальный разрез; а – простой; б – сложный

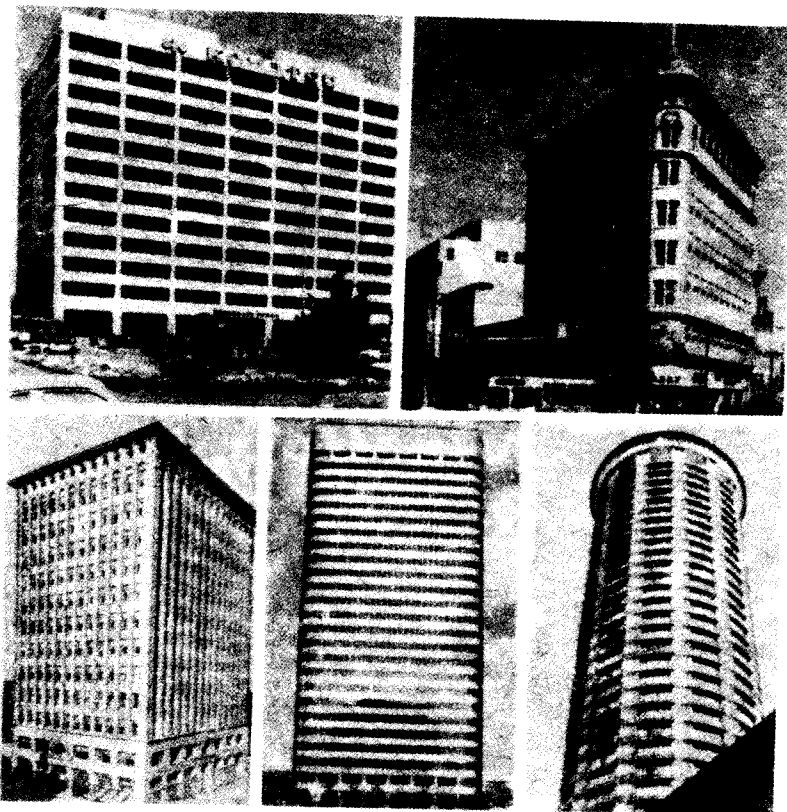


Рис. А.3-3. Примеры зданий с простым планом и простым вертикальным разрезом

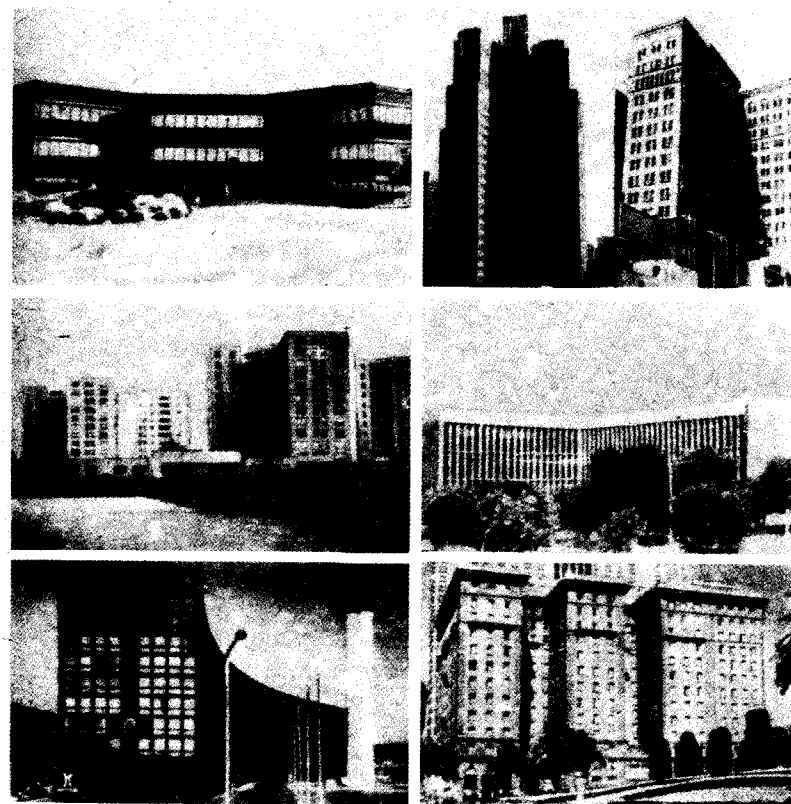


Рис. А.3-4. Примеры зданий со сложным планом и простым вертикальным разрезом

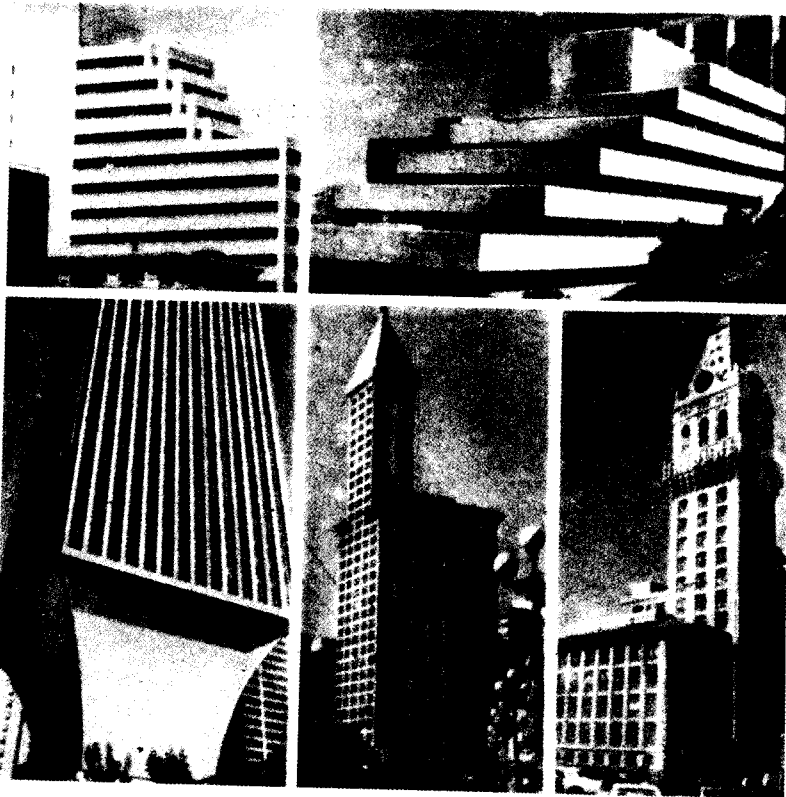
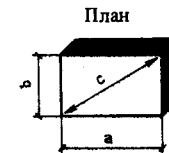


Рис. А.3-5. Примеры зданий с простым планом и сложным вертикальным разрезом

Таблица А.3-1

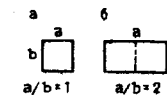
ПРОСТОЙ ПЛАН И ПРОСТОЙ ВЕРТИКАЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ



Абсолютные размеры (размер)

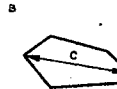
Относительные размеры (пропорции)

Для прямоугольников, a и b – длина и шири- a/b – соотношение сторон на определяют параметры плана, так как они также определяют c – максимальный размер плана в любом направлении и площадь, равную ab .



Для непрямоугольных планов наиболее ритмичными характеристиками являются площадь и c .

Для неправильных многоугольников требуется интерполяция и индивидуальная оценка

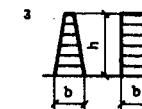
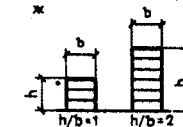
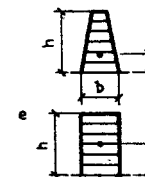


Вертикальный разрез



Длина и ширина – a и b . Прямоугольные призмы являются наиболее простыми для определения; другие формы требуют индивидуальной оценки высоты до центра тяжести
Другие методы, описанные выше, могут применяться для определения неправильных форм. д

Высота/толщина, h/a или h/b определяют отношение свободной длины к радиусу инерции здания ж



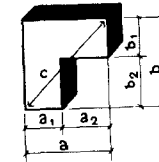
Несмотря на подобие этих двух коэффициентов (отношение высоты к ширине), конструктивно-планировочные решения этих двух случаев различны.

ПРОСТОЙ ПЛАН И ПРОСТОЙ ВЕРТИКАЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ:
ВАРИАНТЫ РАЗМЕРОВ

Квадратный план и его варианты			Прямоугольный план и его варианты		
Соотношение сторон равно 1			Соотношение сторон		
Отношение высоты к ширине			Отношение высоты к ширине		
Площадь плана			Площадь плана		
Объем			Объем		
Круглый план и его варианты			Треугольный план и его варианты		
Соотношение сторон равно 1			Соотношение сторон		
Отношение высоты к ширине			Отношение высоты к ширине		
Площадь плана			Площадь плана		
Объем			Объем		

СЛОЖНЫЙ ПЛАН И ПРОСТОЙ РАЗРЕЗ: ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ

План



Абсолютные размеры

Относительные размеры

Размер

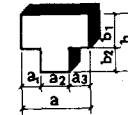
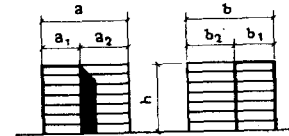
Пропорции

a_2 и δ_2 определяют абсолютные размеры стоек.

a_1 / δ и δ_1 / a определяют соотношение сторон прямоугольных элементов.

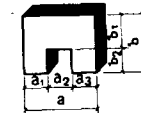
c — максимальное расстояние между двумя любыми точками плана.

a_1 / a и δ_1 / δ определяют пропорциональные размеры стоек, которые изменяются от нуля до одного.



Более сложные планы определяются дополнениями выше указанных определений. Непрямолинейные элементы определяются так же, как и для простых планов.

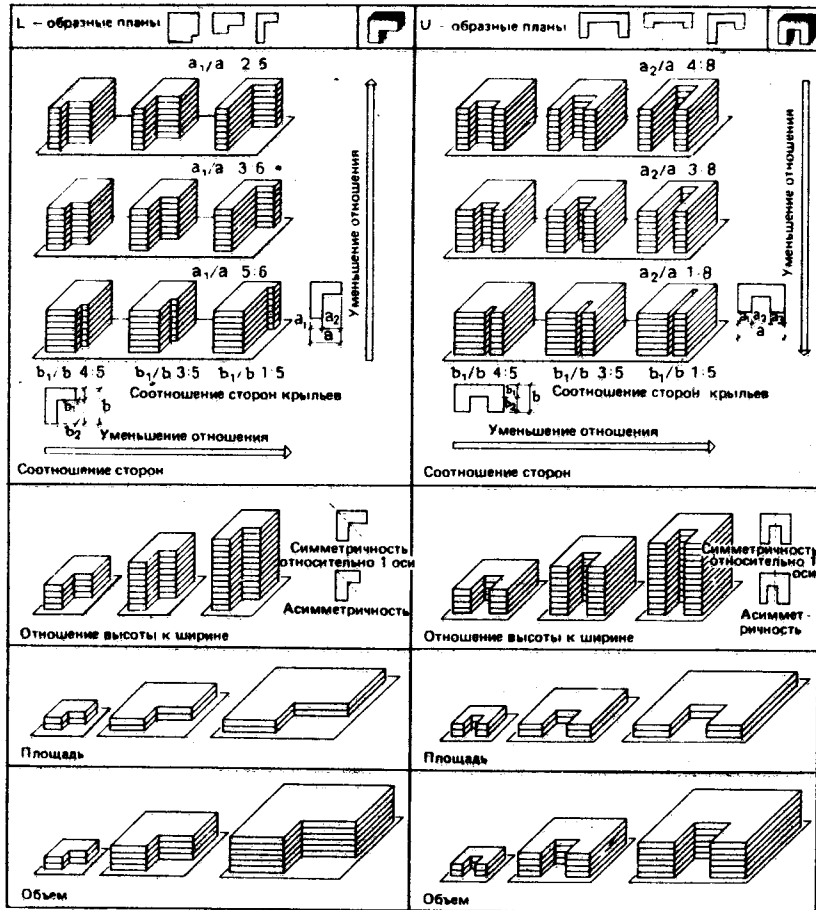
Вертикальный разрез



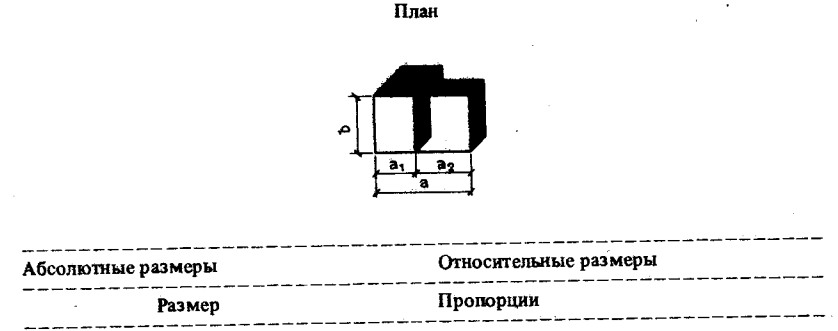
h — полная высота
Могут использоваться другие размеры высоты: см. табл. А. 3-1.

h / a_1 и h / δ_1 — отношения высоты к ширине или h / d — отношения для прямоугольных элементов стоек.
 h / a и h / b — то же, что и h / d для полной формы.
 h / a_2 и h / δ_2 — то же, что и отношения h / d для выступающих частей стоек.

СЛОЖНЫЙ ПЛАН И ПРОСТОЙ ВЕРТИКАЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ:
ВАРИАНТЫ РАЗМЕРОВ



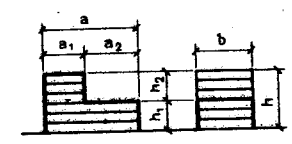
ПРОСТОЙ ПЛАН И СЛОЖНЫЙ ВЕРТИКАЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ



Простой план, поэтому определение дается как для случая простой план / простой разрез; но поскольку форма плана изменяется на различных уровнях, процесс применяется к двум или более планам.

Так же, как и для случая простой план / простой разрез полное соотношение сторон равно a/b . b/a_1 — соотношение сторон для башни, a_1/a определяет относительное количество уступов.

Вертикальный разрез



h_2 определяет высоту башни h_1 , которая является базовой. Определения могут быть расширены как для случая простой план / простой разрез.

h/a и h/b определяют полные значения отношений H/D . h_2/a_1 и h_2/b определяют отношение H/D только для h_1/a и h_1/b только для основания. h_2/h определяет относительное количество вертикальных уступов.

ПРОСТОЙ ПЛАН И СЛОЖНЫЙ ВЕРТИКАЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ:
ВАРИАНТЫ РАЗМЕРОВ

Уступ с одной стороны	Уступы с двух сторон
<p>$h_1/h = 2:8$ $h_1/h = 4:8$ $h_1/h = 6:8$</p> <p>Уменьшение отношения</p> <p>Соотношение сторон основания изменяется</p> <p>Соотношение сторон башни изменяется</p> <p>Отношение высоты к ширине</p> <p>Объем</p>	<p>Площадь</p> <p>Объем</p>
<p>$a_1/a = 5:6$ $a_1/a = 3:6$ $a_1/a = 2:6$</p> <p>Соотношение сторон башни</p> <p>Соотношение сторон основания</p> <p>Уменьшение отношения</p> <p>Соотношение сторон</p>	<p>Уступы с трех сторон</p> <p>Площадь</p> <p>Объем</p> <p>Соотношение сторон основания изменяется</p> <p>Соотношение сторон башни изменяется</p> <p>Отношение высоты к ширине</p>
<p>Отношение высоты к ширине</p> <p>Площадь</p>	<p>Уступы с четырех сторон</p> <p>Площадь</p> <p>Объем</p> <p>Соотношение сторон основания изменяется</p> <p>Соотношение сторон башни изменяется</p> <p>Отношение высоты к ширине</p>

СЛОЖНЫЙ ПЛАН И СЛОЖНЫЙ ВЕРТИКАЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ:
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ

План

Абсолютные размеры

Относительные размеры

Размер

Пропорции

Эти определения такие же, как и для других случаев сложного плана (сложный план, но простой вертикальный разрез – категория L-образного плана). При добавлении в планировочное решение конструкции уступов (для сложного плана) необходимо определение плана на каждом уровне, где происходит изменение формы.

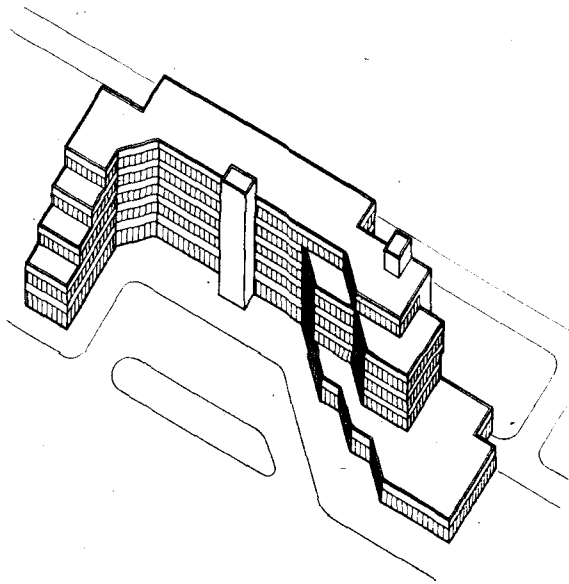
Вертикальный разрез

Эти определения такие же, как и для других случаев со сложным вертикальным разрезом (сложный разрез, но простой план – категория уступов). При дополнительной сложности плана и вертикального разреза, необходимо определение вертикальных разрезов вдоль различных осей (h , h_1 и h_2 могут быть различными для всех крыльев зданий).

Таблица А. 3-8

**СЛОЖНЫЙ ПЛАН И СЛОЖНЫЙ ВЕРТИКАЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ:
ВАРИАНТЫ И СЕЧЕНИЯ**

Возможно неограниченное количество форм, но их определение осуществляется последовательным применением ранее описанных переменных. Эти переменные суммированы ниже и относятся к рисункам слева.



План	Вертикальный разрез
ВХОДЯЩИЙ УГОЛ U-образная форма асимметричность	УСТУП с одной стороны с трех сторон
СКОС одинарный многочисленные	НЕСКОЛЬКО УСТУПОВ с одной стороны с трех сторон
ЯДРО внутреннее наружное	РЕШЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПО ПЕРИМЕТРУ большой процент доли площади проемов равномерные проемы высокий первый этаж

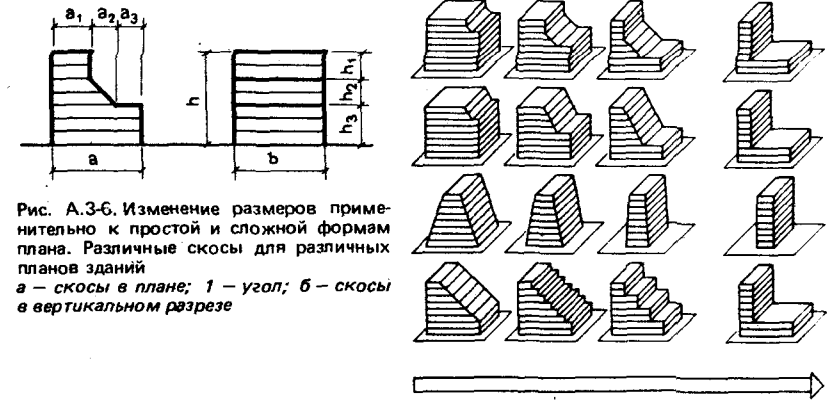
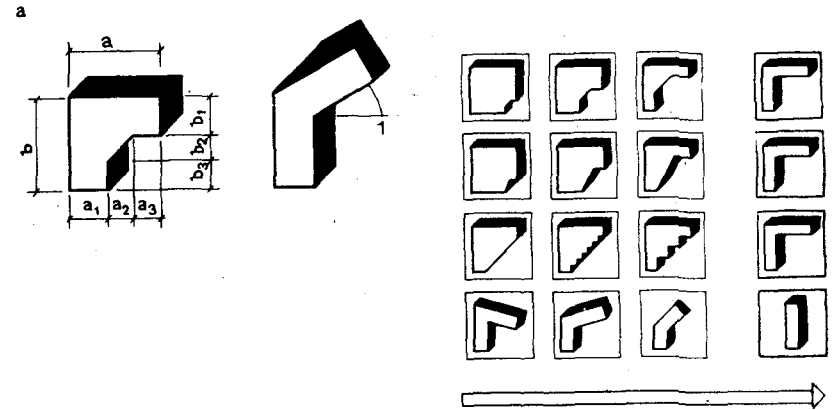


Рис. А.3-6. Изменение размеров применительно к простой и сложной формам плана. Различные скосы для различных планов зданий
a – скосы в плане; *1* – угол; *б* – скосы в вертикальном разрезе

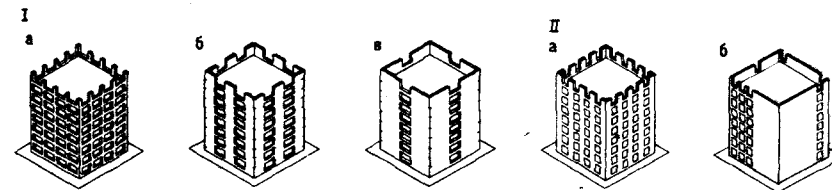


Рис. А.3-7. Компоненты конфигурации: конструктивные решения периметра зданий
I – относительная площадь проемов; *а* – высокая; *б* – средняя; *в* – низкая; *II* – равномерность распределения наружных элементов между фасадами здания или перекрытиями: *а* – равномерное; *б* – неравномерное

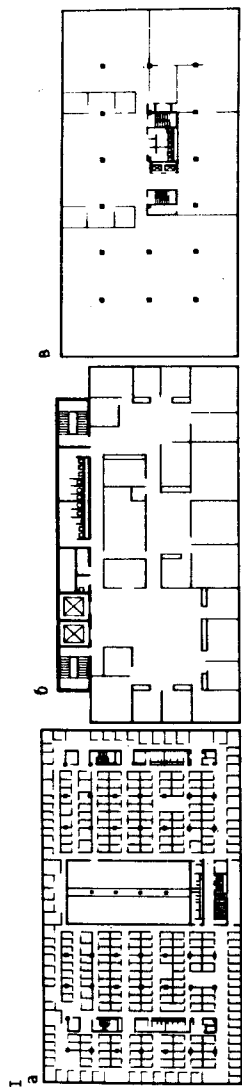


Рис. А.3-8. Компоненты конфигурации: организация внутреннего пространства
 / — плотность, т.е. количество внутренних стен и перегородок (отношение линейного размера для перегородок к площади плана); а — высокое; б — среднее; в — низкое;
 // — перманентность, разделительных элементов внутреннего пространства: а — низкая; б — высокая

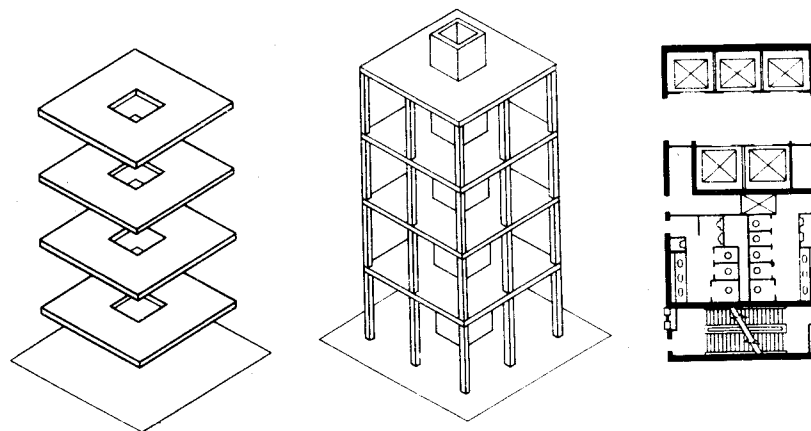
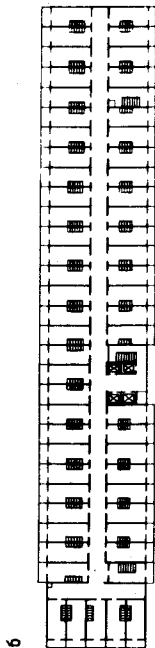
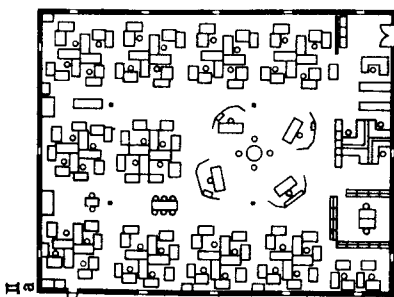


Рис. А.3-9. Компоненты конфигурации: ядра жесткости

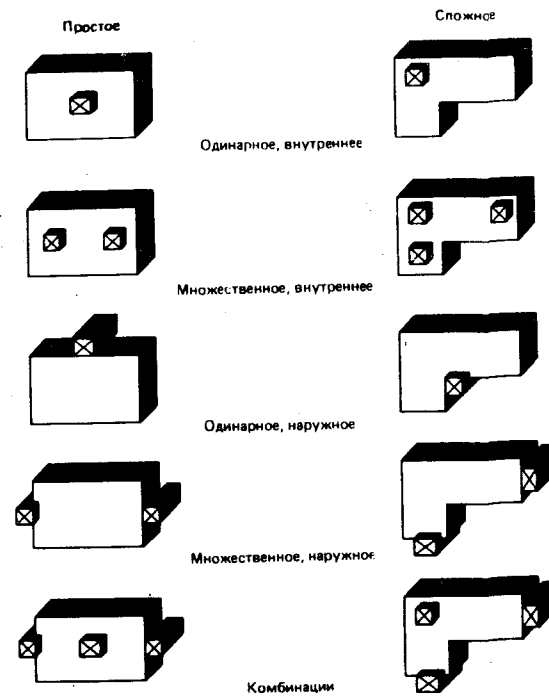


Рис. А.3-10. Компоненты конфигурации: проектное положение ядра

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Глава I

1. Army, Navy, and Air Force, Departments of (S. B. Barnes & Associates and John A. Blume & Associates, consultants), *Seismic Design for Buildings (The "Tri-Services Design Manual")* (Washington, D. C.: Department of the Army, 1973), pp. 3-5 and 3-13.
2. William T. Holmes, "Design of the Veteran's Administration Hospital at Loma Linda, California," in Franklin Y. Cheng, editor, *Proceedings of the International Symposium on Earthquake Structural Engineering* (St. Louis: University of Missouri-Rolla, 1976), Vol. II, p. 827.
3. Henry Degenkolb, "Seismic Design: Structural Concepts," *Summer Seismic Institute for Architectural Faculty* (Washington, D. C.: AIA Research Corporation, 1977), p. 111.
4. José Francisco Teran, "Historical Context of Building Forms in Managua," *Managua, Nicaragua Earthquake of December 23, 1972 (Earthquake Engineering Research Institute Conference Proceedings)* (Oakland: Earthquake Engineering Research Institute, 1973), Vol. 1, pp. 321-322.
5. International Conference of Building Officials (ICBO), *1979 Uniform Building Code (UBC)* (Whittier, California: ICBO, 1979), Section 2312 (e) 3, pp. 130-131.
6. Structural Engineers Association of California (SEAOC), *Recommended Lateral Force Requirements and Commentary (The SEAOC "Blue Book")* (San Francisco: SEAOC, 1975), Section 1 (E), p. 33-C.
7. Hareesh C. Shah, Theodore C. Zsutty, and Ing Luis Padilla, "The Purpose and Effects of Earthquake Codes," *Internal Study Report No. 1* (Stanford University: The John A. Blume Earthquake Engineering Center, 1977), pp. 8-9.
8. Applied Technology Council, *Tentative Provisions for the Department of Seismic Regulations for Buildings ("ATC-3")* (Washington, D. C.: Government Printing Office, 1978).

Глава II

1. Samuel Clemens [quote contained in a very old Earthquake Engineering Research Institute Newsletter (Berkeley: Earthquake Engineering Research Institute).]
2. Charles Darwin, *The Voyage of the Beagle* (Garden City, New York: Doubleday, n. d.), p. 309.
3. John Milne, *Earthquakes and Other Earth Movements* (New York: D. Appleton and Company, 1886), pp. 14-15.
4. Henry Spall, "Charles F. Richter: An Interview," *Earthquake Information Bulletin*, Vol. 12, No 1 (January-February 1980), p. 7.

Глава III

1. Karl V. Steinbrugge and Donald F. Moran, "An Engineering Study of The Southern California Earthquake of July 21, 1952 and Its Aftershocks," *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 44, No. 2B (April 1954), p. 450.

2. H. Bolton Seed and Jose Luis Alonso, "Soil-Structure Interaction Effects in the Caracas Earthquake of 1967," *Proceedings of the Fifth World Conference on Earthquake Engineering* (Roma: Editrice Librarie, 1974), Vol. II, pp. 2108-2110.

3. Karl V. Steinbrugge, "Earthquake Damage and Structural Performance in the United States," in Robert L. Wiegel, editor, *Earthquake Engineering* (Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1970), p. 204.

4. Glen V. Berg, "Historical Peview of Earthquakes, Damage and Building Codes," in Willam E. Saul and Alain H. Peyrot, editors, *Methods of Structural Analysis (Proceedings of the National Structural Engineering Conference)* (New York: American Society of Civil Engineers, 1976), Vol. 1, p. 391.

5. Glen V. Berg, "Historical Review of Earthquakes, Damage and Building Codes," in William E. Saul and Alain H. Peyrot, editors, *Methods of Structural Analysis (Proceedings of the National Structural Engineering Conference)* (New York: American Society of Civil Engineers, 1976), Vol. 1, p. 400.

6. Anon., "Eccentric Bracing Is Key to Seismic Resistance," *Engineering News-Record*, Vol. 203, No. 17 (October 25, 1979), pp. 32-33.

7. S. B. Barnes, "Basic Approach to Structural Desing for Seismic Forces," *Proceedings of the Symposium on Earthquake Engineering* (Vancouver, British Columbia: University of British Columbia, 1966), p. V-6.

8. Henry Degenkolb, "Seismic Design: Structural Concepts," *Summer Seismic Institute for Architectural Faculty* (Washington, D. C.: AIA Research Corporation, 1977), pp. 78-79.

Глава IV

1. Galileo Galilei, *Dialogues Concerning Two New Sciences*, Henry Crew and Alfonso de Salvio, translators (New York: Macmillan, 1914), pp. 130-131.

2. Articles discussing the IBM Santa Teresa Laboratory, in San Jose, California, by McCue Boone Tomsick (MBT Associates) appear in Janet Nairn, "IBM's Santa Teresa Laboratory," *Architectural Record*, Vol. 162, No. 2 (August 1977), pp. 99-104; Mary E. Osman, "Honor Awards/ 1978", *AIA Journal*, Vol. 67, No. 6 (mid-May 1978), pp. 118-123.

3. S. Polyakov, *Design of Earthquake Resistant Structures*, A. Schwartz, translator (Moscow: Mir Publishers, 1974), p. 152.

4. S. Polyakov, *Design of Earthquake Resistant Structures*, A. Schwartz, translator (Moscow: Mir Publishers, 1974), p. 154.

5. D. J. Dowrick, *Earthquake Resistant Design* (London: John Wiley & Sons, 1977), p. 82.

6. John A. Blume, Roland L. Sharpe, and Eric Elsesser, "A Structural Dynamic Investigation of Fifteen School Buildings Subjected to Simulated Earthquake Motion" (Sacramento: John A. Blume & Associates, Research Division, for the California Division of Architecture, 1960), p. XVI-7.

7. John A. Blume, Roland L. Sharpe, and Eric Elsesser, "A Structural Dynamic Investigation of Fifteen School Buildings Subjected to Simulated Earthquake Motion" (Sacramento: John A. Blume & Associates, Research Division, for the California Division of Architecture, 1960), p. XVI-7.

8. John A. Blume, Roland L. Sharpe, and Eric Elsesser, "A Structural Dynamic Investigation of Fifteen School Buildings Subjected to Simulated Earthquake Motion" (Sacramento: John A. Blume & Associates, Research Division, for the California Division of Architecture, 1960), p. XVI-7.

9. Nejat Bayülke, "Behavior of Brick Masonry Buildings During Earth-

quakes," Seminar on Constructions In Seismic Zones (Rome, Italy: International Association For Bridge and Structural Engineering, 1978), p.111-76.

10. Koichiro Ogura, "Outline of Damage to Reinforced Concrete Construction," in Zito Suzuki, editor, General Report on the Tokachi-oki Earthquake of 1968 (Tokyo: Keigaku Publishing Co., 1971), p. 485.

11. Toshio Shiga, "Earthquake Damage and the Amount of Walls in Reinforced Concrete Buildings," Proceedings of the Sixth World Conference on Earthquake Engineering (Meerut, India: Sarita Prakashan, 1977), Vol. 7, p. 51.

12. Clarkson W. Pinkham, "Summary of Conclusions and Recommendations," in Leonard M. Murphy, coordinator, San Fernando, California, Earthquake Of February 9, 1971 [Washington, D. C.: Government Printing Office (National Oceanic and Atmospheric Administration), 1973], Vol. 1, Part B, p. 779.

13. John A. Blume, Nathan M. Newmark, and Leo Corning, Design of Multistory Reinforced Concrete Buildings for Earthquake Motions (Skokie, Illinois: Portland Cement Association, 1961), pp. 71-72.

14. William Zuk, "Fail-Safe Design," Progressive Architecture (November 1964), p. 190.

Глава У

1. Henry Degenkolb, "Seismic Design: Structural Concepts," Summer Seismis Institute for Architectural Faculty (Washington, D. C.: AIA Research Corporation, 1977), p. 115.

2. Karl V. Steinbrugge, John H. Manning, and Henry J. Degenkolb, "Building Damage in Anchorage," in Fergus J. Wood, editor, The Prince William Sound, Alaska, Earthquake of 1964 and Aftershocks [Washington, D. C.: Government Printing Office (Coast and Geodetic Survey), 1967], Vol. II, Part A, p. 116.

3. Karl V. Steinbrugge and Donald F. Moran, "An Engineering Study of the Southern California Earthquake of July 21, 1952 and its Aftershocks," Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 44, No. 2B (April 1954), p. 340.

4. [Verbal account by Gren L. Faulkner, to] Wallace R. Hansen, Effects of the Earthquake of March 27, 1964 at Anchorage, Alaska (USGS Professional Paper 542-A, 1966) (Washington, D. C.: United States Government Printing Office, 1965), p. A24.

Глава У I

1. Tachu Naito, "Earthquake-Proof Construction," Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 17, No. 2 (June 1927), p. 85; John Ripley Freeman, Earthquake Damage and Earthquake Insurance (New York: McGraw-Hill Book Company, Inc. 1932), p. 478. [Discusses the paper by Dr. Sano, in Report by the Japanese Society of Engineers Upon the Tokyo-Yokohama Earthquake of September 1, 1923, Vol. III: Section on Bridges & Buildings, Section on Roads & Streets (Tokyo: Engineering Society, 1927), p. 610. Written in Japanese.]

2. Pay Clough, Earthquake Engineering for Concrete and Steel Structures (seminar summary) (Denver, Colorado: Office of Chief Engineer, Bureau of Reclamation, 1965), pp. 45-46.

3. John Meehan, "The Response of Several Public School Buildings in

Anchorage, Alaska, to the March 27, 1964 Earthquake," in Fergus J. Wood, editor, The Prince William Sound, Alaska, Earthquake of 1964 and Aftershocks [Washington, D. C.: Government Printing Office (Coast and Geodetic Survey), 1967], Vol. II, Part A, p. 222.

4. [Eyewitness account in] Glen V. Berg and James L. Stratta, "Anchorage and the Alaska Earthquake of March 27, 1964," Earthquakes (Washington, D. C.: American Iron and Steel Institute, 1975), p. 156.

5. Henry D. Dewell and Bailey Willis, "Earthquake Damage to Buildings," Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 15, No. 4 (December 1925), p. 292.

Глава У II

1. S. B. Barnes, "Basic Approach to Structural Design for Seismic Forces", Proceedings of the Symposium On Earthquake Engineering (Vancouver, British Columbia: University of British Columbia, 1966), p. V-7.

2. International Conference of Building Officials (ICBO), 1979 Uniform Building Code (UBC) (Whittier, California: ICBO, 1979), Section 2312 (e) 2, p. 130.

3. Structural Engineers Association of California (SEAOC), Recommended Lateral Force Requirements and Commentary (The SEAOC "Blue Book") (San Francisco: SEAOC, 1975), pp. C2-C3, 1 (E) 2, p. 32-C.

4. 1958 Setback Subcommittee, John A. Blume, Chairman, "Appendix C. Report on Setbacks," in Structural Engineers Association of California (SEAOC), Recommended Lateral Force Requirements and Commentary (The SEAOC "Blue Book") (San Francisco: SEAOC, 1975), pp. C2-C3, C5.

Глава У III

1. Robert D. Hanson and Henry J. Degenkolb, "The Venezuela Earthquake, July 29, 1967," Earthquakes (Washington, D. C.: American Iron and Steel Institute, 1975), p. 314.

2. John Ripley Freeman, Earthquake Damage and Earthquake Insurance (New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1932), pp. 395-396.

3. Robert D. Hanson and Henry J. Degenkolb, "The Venezuela Earthquake, July 29, 1967," Earthquakes (Washington, D. C.: American Iron and Steel Institute, 1975), p. 314.

4. A. K. Chopra, D. P. Clough, and R. W. Clough, "Earthquake Resistance of Buildings With a "Soft" First Story," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 1, No. 4 (April-June 1973), p. 355.

5. G. A. Frazier, J. H. Wood, and G. W. Housner, "Earthquake Damage to Buildings," in Paul C. Jennings, editor, Engineering Features of the San Fernando Earthquake, February 9, 1971, [Pasadena, California: California Institute of Technology Earthquake Engineering Research Laboratory (EERL 71-02), 1971], p. 151.

6. Koichiro Ogura, "Outline of Damages to Reinforced Concrete Structures," Proceedings of the U. S. - Japan Seminar on Earthquake Engineering with Emphasis on the Safety of School Buildings (Tokyo: The Japan Earthquake Engineering Promotion Society, 1971), pp. 38-61; Yoichi Higashi and Masamichi Ohkubo, "Static and Dynamic Loading Tests of Reinforced Concrete Frames with Thin Spandrel or Wing Walls," Proceedings of the U. S. -

Japan Seminar on Earthquake Engineering with Emphasis on the Safety of School Buildings (Tokyo: The Japan Earthquake Engineering Promotion Society, 1971), pp. 225–239.

7. Stephen A. Mahin, Vitelmo V. Berteto, Anil K. Chopra, and Robert G. Collins, Response of the Olive View Hospital Main Building During the San Fernando Earthquake [Berkeley: University of California Earthquake Engineering Research Center (Report No. 76-22), 1976], p. 123.

Глава IX

1. Karl V. Steinbrugge, John H. Manning, and Henry J. Degenkolb, "Building Damage in Anchorage," in Fergus J. Wood, editor, The Prince William Sound, Alaska, Earthquake of 1964 and Aftershocks [Washington, D. C.: Government Printing Office (Coast and Geodetic Survey), 1967], Vol. II, Part A, pp. 168–171.

2. John A. Blume, Nathan M. Newmark, and Leo H. Corning, Design of Multistory Concrete Buildings for Earthquake Motions (Skokie, Illinois: Portland Cement Association, 1961), pp. 60–61.

3. John A. Blume, Nathan M. Newmark, and Leo H. Corning, Design of Multistory Concrete Buildings for Earthquake Motions (Skokie, Illinois: Portland Cement Association, 1961), pp. 61–62.

4. International Conference of Building Officials (ICBO), 1958 Uniform Building Code (UBC) (Whittier, California: ICBO, 1958), Section 2312 (e) 5, p. 336.

5. S. Polyakov, Design of Earthquake Resistant Structures, A. Schwartz, translator (Moscow: Mir Publishers, 1974), p. 157.

Глава X

1. Bill Hillier and Adrian Leaman, "A New Approach to Architectural Research," RIBA Journal (December 1972) pp. 517–521.

Глава XII

1. Rowland Mainstone, Developments in Structural Form (Cambridge, Massachusetts: The M. I. T. Press, 1975), pp. 184–185.

2. R. J. Mainstone, "The Structure of the Church of Santa Sophia, Istanbul," Transactions of the Newcomen Society, Vol. 38 (1965–1966); pp. 23–49.

3. Robert Treat Paine and Alexander Soper, The Art and Architecture of Japan (London: Penguin Books, 1974), pp. 261–262, 286.

4. Glen V. Berg, "Historical Review of Earthquake, Damage and Building Codes," in William E. Saul and Alain H. Peyrot, editors, Methods of Structural Analysis (Proceedings of the National Structural Engineering Conference) (New York: American Society of Civil Engineers, 1976), Vol. 1, p. 388.

5. Ryo Tanabashi, "Earthquake Resistance of Traditional Japanese Wooden Structures," Proceedings of the Second World Conference on Earthquake Engineering (Tokyo: Science Council of Japan, 1960), Vol. 1, p. 154.

6. Pier Luigi Nervi, Aesthetics and Technology in Building (The Charles Eliot Norton Lectures, 1961–1962), Robert Einaudi, translator (Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1966), p. 99.

1. An earlier version of the problems and solutions chart appeared in Christopher Arnold and Eric Elsesser, "Building Configuration: Problems and Solutions," Proceedings of the Seventh World Conference on Earthquake Engineering (Ankara, Turkey: Turkish National Committee on Earthquake Engineering, 1980), Vol. 4, pp. 153–160.

Приложение А. 2

1. J. Hoto, "Imperial Hotel," Architectural Record, Vol. 55, No. 2 (February 1924), p. 122.

2. Richard Bradshaw, "Letter to the Editor," Architectural Record, Vol. 129, No. 1 (January 1961), p. 10.

3. Finis Farr, Frank Lloyd Wright (New York: Scribner's 1961), p. 169.

4. Finis Farr, Frank Lloyd Wright (New York: Scribner's 1961), p. 169.

5. Edgar Kaufmann, editor, An American Architecture – Frank Lloyd Wright (New York: Bramhall House, 1955), pp. 149–150.

6. Edgar Kaufmann, editor, An American Architecture – Frank Lloyd Wright (New York: Bramhall House, 1955), pp. 151–152.

7. Edgar Kaufmann, editor, An American Architecture – Frank Lloyd Wright (New York: Bramhall House, 1955), p. 152.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие к русскому изданию	3
Предисловие	5
ГЛАВА I. Введение	7
Накопление сведений	7
Понятие конфигурации	8
Значение выбранной конфигурации здания	9
Строительные нормы и правила	11
ГЛАВА II. Движение грунта	15
Характер перемещений грунта	15
Измерение перемещений грунта	16
Сокращенная модифицированная шкала Меркалли	23
ГЛАВА III. Реакция здания на движение грунта	25
Силы инерции	25
Период колебаний здания и резонанс	26
Затухание колебаний	30
Пластичность	31
Кручение	32
Прочность и жесткость	32
Диски покрытий и перекрытий	36
Вертикальные диафрагмы и связевый каркас	38
Рамные каркасы	41
Ненесущие элементы	42
Выводы	43
ГЛАВА IV. Влияние конфигурации здания на сейсмостойкость	44
Введение	44
Размеры зданий	46
Высота здания	47
Горизонтальные размеры	47
Геометрические пропорции	49
Симметрия	51
Распределение и концентрация усилий	53
Конструктивные решения (плотность плана)	54
Углы зданий	58
Несущая способность элементов, расположенных по периметру здания	58
Статическая неопределимость конструкций	60
ГЛАВА V. Нарушение симметрии простых планов	61
Изменение прочности и жесткости по периметру конструкции	61
Проектное положение ядер (стволов) жесткости. Псевдосимметрия	67
ГЛАВА VI. Конфигурация входящих углов	70
Определение	70
Расчетные концепции	70
Примеры повреждений зданий	71
Решения	75
ГЛАВА VII. Конфигурация вертикальных уступов зданий	78
Определение	78
Проблемы, возникающие в ходе проектирования	80
Специфика проектирования вертикальных уступов в соответствии со строительными нормами	82
Подкомитет по вертикальным уступам сооружений	82
Решения	85
ГЛАВА VIII. Конструкции зданий с резким изменением прочности и жесткости	85
Общие положения	85
Здания с гибким этажом	86
Решения	88
Несоосные диафрагмы	90
Изменение жесткости колонн	94
Разнопрочность балок и колонн	96
Взаимодействие диафрагм	99
Элементы заполнения	102

ГЛАВА IX. Проблемы соударения с соседними зданиями	104
Вопросы проектирования	104
Возможные решения	105
ГЛАВА X. Определение конфигурации	107
Введение	107
Детерминанты	108
Конфигурация административных зданий	115
ГЛАВА XI. Проектирование сейсмостойких конструкций и типы зданий	119
Введение	119
Административные здания малой этажности	121
Административные здания средней и повышенной этажности	122
Жилые здания малой этажности, мотели	123
Жилые здания повышенной этажности	124
Здания гостиниц повышенной этажности	125
Медицинские здания малой этажности, больницы, клиники	126
Медицинские здания средней и повышенной этажности	127
Здания учебных заведений малой этажности	128
Здания учебных заведений повышенной этажности	129
Торговые здания низкой этажности, универсальные магазины, рынки	130
Торговые здания, одноэтажные склады, торговые центры	131
Промышленные здания одноэтажные, производственные комплексы	132
Большепролетные покрытия, аудитории, стадионы, театры и концертные залы	133
Пожарные депо, станции технического обслуживания автомобилей	134
Здания библиотек средней и повышенной этажности со встроенными книгохранилищами	135
ГЛАВА XII. Внешний облик объектов, проектируемых для сейсмических районов	136
Введение	136
Образец правильной конфигурации: Парфенон	137
Купол Пантеона в Риме	138
Церковь св. Софии в Стамбуле	139
Приемы восприятия горизонтальной нагрузки: готические соборы	141
Деревянные сооружения в Японии	143
Симметричность: ангар, построенный Нерви	145
Внешний облик сейсмостойких зданий настоящего и будущего	146
ГЛАВА XIII. Выводы	149
Приложение А.1. Параметры, учитываемые в процессе проектирования сейсмостойких конструкций	158
Введение	158
Программа	158
Стадия эскизного проектирования	159
Стадия предварительного проектирования. Разработка проектного решения	159
Документация, составляемая при оформлении подрядных договоров	160
Процесс строительства	161
Эксплуатация построенного объекта	161
Приложение А. 2. Примеры построенных сейсмостойких зданий и сооружений	161
Введение	161
Больница Лома-Линда, Калифорния	162
Здание гостиницы Империял Отель в Токио	167
Приложение А. 3. Определение конфигурации	171
Список литературы	188