

# **ОСОБЫЕ УСЛОВИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА**

**Содержатся общие сведения об архитектурном проектировании зданий в особых условиях строительства: сложных инженерно-геологических условиях (просадочные, насыпные, слабые водонасыщенные грунты, подрабатываемые и подтапливаемые территории, оползни, неравномерные деформации оснований), в условиях воздействия природных явлений (землетрясения, ураганы).**

# ВВЕДЕНИЕ

- В традиционных курсах по архитектуре рассматривают, как правило, "обычные" условия строительства и эксплуатации. При этом понятие "обычные условия строительства и эксплуатации" не расшифровывается. В действительности, на конструкции зданий и сооружений действует комплекс неблагоприятных факторов, которые можно разделить на две группы: природные и техногенные. Воздействие природных факторов учитывается действующими нормами и правилами, и должно быть учтено при проектировании объектов. Воздействие техногенных факторов является результатом деятельности человека и, в большинстве случаев, нормами не учитывается, но в некоторых случаях может быть учтено при проектировании.

- Отдельные неблагоприятные факторы оказывают решающее влияние на несущую способность и долговечность зданий и сооружений. Они вызывают преждевременное истощение эксплуатационных качеств зданий и сооружений (т. е. физический износ происходит быстрее, чем амортизация). В свою очередь это приводит к значительным материальным затратам на восстановление эксплуатационных свойств и повышение эксплуатационной надежности зданий и сооружений. Затраты на восстановительные работы часто соизмеримы со стоимостью нового строительства.

- При строительстве часто сталкиваются со сложными инженерно-геологическими условиями (просадочные, насыпные, слабые водонасыщенные грунты, подрабатываемые и подтапливаемые территории, оползни, неравномерные деформации оснований), с воздействием агрессивной среды, с природными явлениями (землетрясения, ураганы).
- К числу аварий, вызванных деятельностью человека, относятся: взрывы газа, пожары, теракты, наезды транспорта, дефекты строительства и эксплуатации, неквалифицированная реконструкция зданий и сооружений с надстройкой, пристройкой, перепланировкой, сопровождающаяся ослаблением или перегрузкой несущих элементов.

- Главным ограничением при строительстве в этих условиях является влияние экономических факторов, а именно увеличение стоимости строительства и стоимости проектных работ в связи с необходимостью устройства дополнительных конструктивных решений. Кроме того, в результате возможности проявления сложных факторов и воздействий, вводятся некоторые технические ограничения на здания и сооружения:
  - - Высотность и этажность застройки (сейсмика, насыпные грунты, подработка).
  - - Влияние разной высоты частей здания (сейсмика, просадка).
  - - Величина отмостки и др.
- Особые условия строительства и эксплуатации значительно ускоряют процесс разрушения и развития дефектов. Повысить срок службы зданий и сооружений и предотвратить аварийные ситуации является важнейшей задачей проектировщиков и строителей.

# Тема 1. СТЕСНЕННЫЕ УСЛОВИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

- Особенности строительства (реконструкции) объектов в стесненных условиях существующей городской застройки, отражаются на стадии подготовки предпроектной документации:
- - при разработке градостроительной документации (если для размещения объектов требуется комплексное градостроительное решение);
- - на стадии выбора архитектурно-планировочного решения (архитектурной концепции), для определения оптимального варианта размещения объекта, его объемно-пространственного решения, уточнения границ территории, взаимосвязи с окружающей застройкой (конкурсные проекты, размещение объектов в зонах особого регулирования застройки).

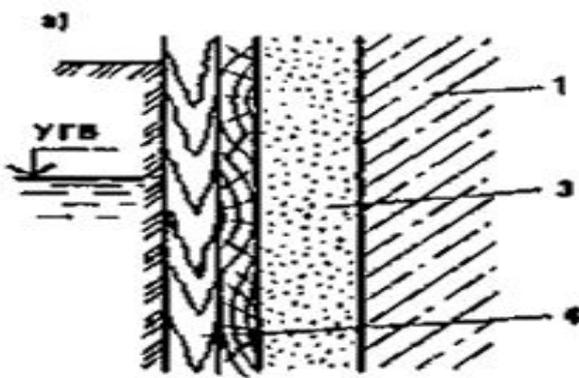
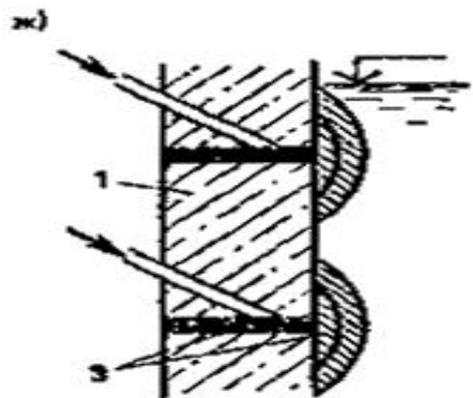
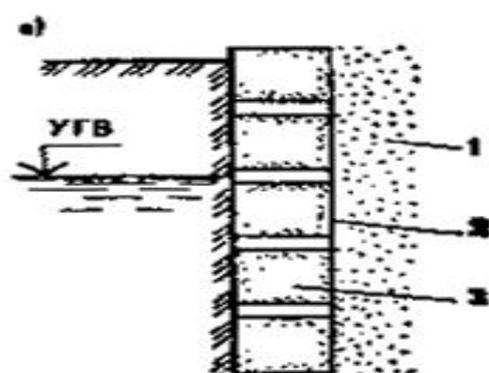
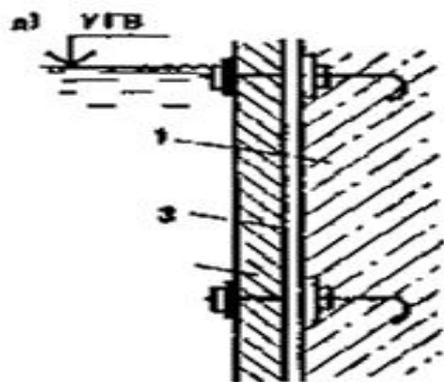
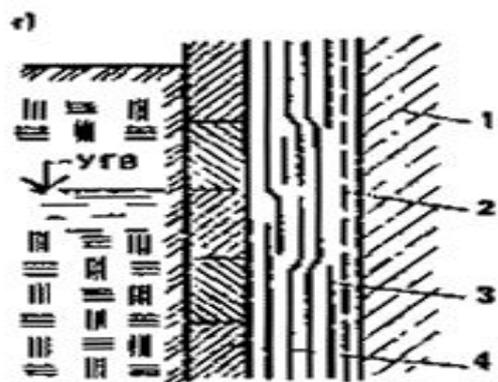
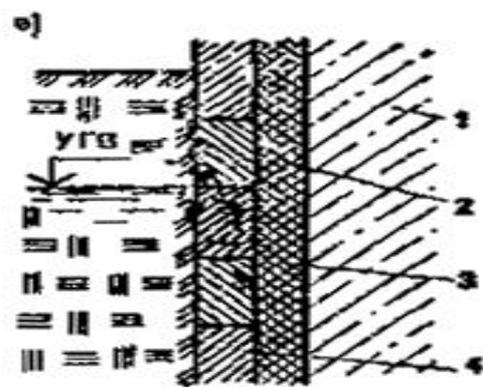
- При необходимости разработки выемок в непосредственной близости и ниже подошвы фундаментов существующих зданий и сооружений, обозначаются границы подземных сооружений и коммуникаций и перечисляются меры по обеспечению их сохранности. При принятии решений по устройству оснований и фундаментов исключается разуплотнение грунтов под существующими фундаментами и обеспечивается сохранение свойств грунтов оснований.
- В составе проектной документации в виде самостоятельного раздела, учитывая особенности стесненных условий, разрабатываются технические, организационные и технологические решения по производству опережающих археологических изысканий, сохранению имеющихся объектов культурного наследия, сносу зданий и сооружений, а также рекультивации земель, извлечению из грунта ликвидируемых подземных коммуникаций и сооружений.

- При проектировании зданий, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга, рекомендуется применить однотипные фундаменты с одинаковым заглублением. Если конструкции фундаментов разные, то требуется тщательная проверка напряженно-деформированного состояния в основаниях обоих зданий.
- Так, если существующее здание построено на свайном фундаменте, а новое на фундаментной плите, то в зоне примыкания зданий под ростверком старого здания может возникнуть зона разуплотнения грунта, уменьшающая первоначальную несущую способность свай. Дополнительные напряжения, возникающие в основании от массы нового здания, приводят к дополнительной нагрузке на крайние ряды свай. Вследствие этого возможно разрушение части старого здания (в месте примыкания нового здания).
- Если глубина фундаментов нового здания больше существующего, то необходимо устройство разделительной шпунтовой стенки в месте примыкания. Требуется проверка устойчивости шпунта после отрывки котлована для возведения фундаментов нового здания.

- Существуют разные типы шпунтовых ограждений: буронабивные железобетонные шпунты, забивные железобетонные шпунты, металлический шпунт Ларсена и др. В современных условиях чаще всего принимают буронабивные монолитные шпунты. Диаметр шпунта зависит от глубины котлована (количества подземных уровней), и может составлять от 320 мм до 1000 мм (и более). При глубине котлованов более 4.5 м часто устраиваются шпунты из свай с устройством грунтовых анкеров (например: буронабивные сваи, выполняемые по разрядно - импульсной технологии - сваи «РИТА»). В этом случае диаметр свай может быть уменьшен до 210-320 мм (в зависимости от глубины котлована и от количества рядов грунтовых анкеров).
- Шпунтовый ряд является самостоятельной отдельно стоящей конструкцией. **Опираие на шпунтовый ряд каких либо сооружений или конструкций категорически запрещается.**

# Тема 2. ГИДРОИЗОЛЯЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЧАСТЕЙ СООРУЖЕНИЙ

- Для предотвращения подтопления грунтовыми водами подземных частей сооружений и предупреждения проникновения сырости в подвалы, тоннели и т.д. применяют защитные гидроизолирующие покрытия в виде сплошных замкнутых оболочек вокруг подземных частей сооружений чаще всего по их внешней поверхности. В зависимости от вида используемого материала различают гидроизоляции асфальтовые, пластмассовые, минеральные и металлические, по способу выполнения - окрасочные, штукатурные, литые, оклеечные, монтируемые, пропиточные, инъекционные и засыпные.



- Окрасочная гидроизоляция (рис. 2, а) применяется, в основном, для предотвращения воздействия на сооружения капиллярной влаги и выполняется в виде нескольких слоев пленкообразующих жидких или пластичных гидроизоляционных материалов, наносимых на защищаемую поверхность напылением, набрызгом под давлением, окраской кистями и т.п.
- Штукатурная гидроизоляция (рис. 2, б) рекомендуется для защиты заглубленных частей сооружений от проникновения грунтовых вод. Она представляет собой водонепроницаемые покрытия толщиной 10 - 25 мм, наносимые на защищаемую поверхность штукатурным способом. В качестве материала покрытия применяются холодная асфальтовая штукатурка и штукатурка из коллоидно-цементных растворов.
- Литые гидроизоляции (рис. 2, в) выполняются из твердеющих органоминеральных растворов, в основном асфальтовых, в виде смеси битумов с порошкообразными наполнителями. В качестве наполнителя применяются молотые известняки и доломиты, карбонатные лессы, каолины, серпентинит, андезитовый и диабазовый порошки, портландцемент, мел и др.

- Оклеечная гидроизоляция (рис. 2, а) применяется преимущественно для защиты подземных помещений от проникновения капиллярной влаги. В качестве оклеечных материалов используются гидроизол, стеклоизол, полиэтиленовая пленка и др.
- Монтируемая гидроизоляция (рис. 2, б) представляет собой прикрепленные к защищаемой поверхности механическим способом листы из синтетических, полимерных или металлических материалов.
- Пропиточная и инъекционная (рис. 2, в, г) гидроизоляции устраиваются в тех случаях, когда отсутствует или затруднена возможность доступа к защищаемой поверхности. Эти виды гидроизоляции осуществляются путем пропитки всего слоя грунта (или его части), прилегающего к защищаемой поверхности, гидроизолирующими растворами и композициями, например жидким стеклом и др.
- Засыпная гидроизоляция (рис. 2, д) выполняется в виде засыпки толщиной 10 - 50 см в пространство между опалубкой или шпунтом и защищаемой поверхностью гидрофобных порошков. После устройства такой засыпки пазухи котлованов заполняются глинистым грунтом или глинобентонитовыми суспензиями.

# Тема 3. ЗАСТРОЙКА В СЛОЖНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

- При проектировании зданий и сооружений для строительства в сложных геологических условиях следует предусматривать следующие мероприятия, общие для всех условий:
- - планировочные мероприятия;
- - конструктивные меры защиты зданий и сооружений;
- - мероприятия, снижающие неравномерную осадку и устраняющие крены зданий и сооружений с применением различных методов их выравнивания;
- - инженерную подготовку строительных площадок, снижающую неравномерность деформаций основания;
- - мероприятия, обеспечивающие нормальную эксплуатацию наружных и внутренних инженерных сетей, лифтов и другого инженерного и технологического оборудования в период проявления неравномерных деформаций основания.

- При просадочных грунтах кроме перечисленных следует предусматривать водозащитные мероприятия.
- При строительстве на подработках кроме вышеоговоренных следует предусматривать:
  - - горные меры защиты, предусматривающие порядок горных работ, снижающий деформации земной поверхности;
  - - ликвидацию (тампонаж, закладку и т.п.) пустот старых горных выработок, находящихся на глубине до 80 м, выявленных в процессе изыскательских работ.
- На территориях, в геологическом строении которых присутствуют растворимые горные породы (известняки, мел, каменная соль и др.), часто встречаются карстовые проявления как на поверхности (карры, воронки, котловины), так и в глубине грунтового массива (разуплотнения грунтов, полости, пещеры, вклюдзы).

- С карстово-суффозионными процессами связано образование провалов в форме конических, чашеобразных воронок и в виде колодцев, ям диаметром от 2 до 40 м и видимой глубиной до 8 м, а также оседаний земной поверхности. Воронки обладают способностью периодически «оживать» и развиваться.
- При проектировании в таких условиях уже на ранних стадиях следует максимально использовать архитектурно-планировочные мероприятия, поскольку их применение способно наиболее полно учесть оценку опасности территории.
- Проекты планировки и застройки городов должны предусматривать максимальное сохранение естественных условий стока поверхностных вод. Размещение зданий и сооружений, затрудняющих отвод поверхностных вод, не допускается. При рельефе местности в виде крутых склонов планировку застраиваемой территории следует осуществлять террасами.
- Здания и сооружения с мокрыми технологическими процессами следует

- **На территории залегания полезных ископаемых** в первую очередь следует использовать территории, под которыми:
  - - залегают непромышленные полезные ископаемые;
  - - полезные ископаемые выработаны, деформации земной поверхности стабилизировались;
  - - подработка ожидается после окончания срока амортизации проектируемых объектов.
- **Планировочные мероприятия:**
  - - специальная компоновка функциональных зон, трассировка магистральных улиц и сетей при разработке планировочной структуры с максимально возможным обходом опасных участков и размещением на них зеленых насаждений;
  - - разработка инженерной защиты территорий;
  - - расположение зданий и сооружений на менее опасных участках.

- Эти мероприятия являются обязательными и первоочередными, поскольку по сравнению с другими мероприятиями сокращают возможный ущерб при сравнительно небольших затратах.
- Размещение новых, развитие и реконструкция существующих населённых пунктов должно осуществляться с использованием дифференцированной оценки опасности и пригодности территории, технико-экономического обоснования возможности и целесообразности застройки. Архитектурно-планировочные мероприятия должны быть направлены на обеспечение планировочными приёмами обхода опасных зон с максимальным градостроительным использованием менее опасных участков.
- В состав графических материалов градостроительной документации следует включить карты районирования территории по степени опасности.

- **Архитектурно-планировочные мероприятия:**

- - рациональная компоновка и размещение элементов (на ранних стадиях - функциональных зон, на детальных стадиях - зданий и сооружений);
- - рациональная трассировка улиц и инженерных сетей при разработке планировочной структуры;
- - архитектурно-планировочные приёмы застройки (выбор этажности и плотности застройки);
- - при застройке опасной территории необходимо определять рациональное соотношение этажности и плотности застройки. В основе должно быть вариантное проектирование, с целью минимизации площади застройки зданий разной этажности и учёт различий характера последствий возможных разрушений зданий в результате деформаций оснований.
- - при выборе композиционных приемов застройки предпочтение следует отдавать тем типам блокировки, которые обеспечивают минимум площади поражения зданий;
- - при выборе типов застройки предпочтение необходимо отдавать простым в плане, желательно прямоугольным зданиям.

# ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ТЕРРИТОРИЙ

- Основными методами подготовки оснований на насыпных, просадочных и иных слабых грунтах являются:
  - - поверхностное уплотнение тяжелыми трамбовками;
  - - вытрамбовывание котлованов;
  - - устройство грунтовых подушек;
  - - уплотнение грунтов вибрационными машинами;
  - - глубинное уплотнение грунтов (например: вытрамбовывание скважин, предварительное замачивание, глубинные взрывы и т.п.);
  - - прорезка грунтов глубокими фундаментами (например, свайными) с передачей всей нагрузки на подстилающие прочные грунты;
  - - закрепление грунтов для устранения отрицательных свойств;
  - - полная замена слабых грунтов.

- Для восстановления проектного положения зданий в случаях, когда ожидаемые деформации основания могут превышать те, которые рассчитаны, следует предусматривать возможность их выравнивания.
- Кроме вышеупомянутых мероприятий требуется выполнить водозащиту грунтов основания. В состав водозащитных мероприятий должны входить:
  - - компоновка генерального плана;
  - - вертикальная планировка застраиваемой территории;
  - - устройство под зданиями маловодопроницаемых экранов из уплотненного грунта;
  - - качественное уплотнение обратной засыпки пазух котлованов и траншей;
  - - устройство отмосток по наружному периметру зданий (сооружений);
  - - прокладка наружных и внутренних водонесущих коммуникаций с учетом предотвращения возможности утечки из них воды в грунт и обеспечения контроля коммуникаций, их ремонта, сброса аварийных вод.

# ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

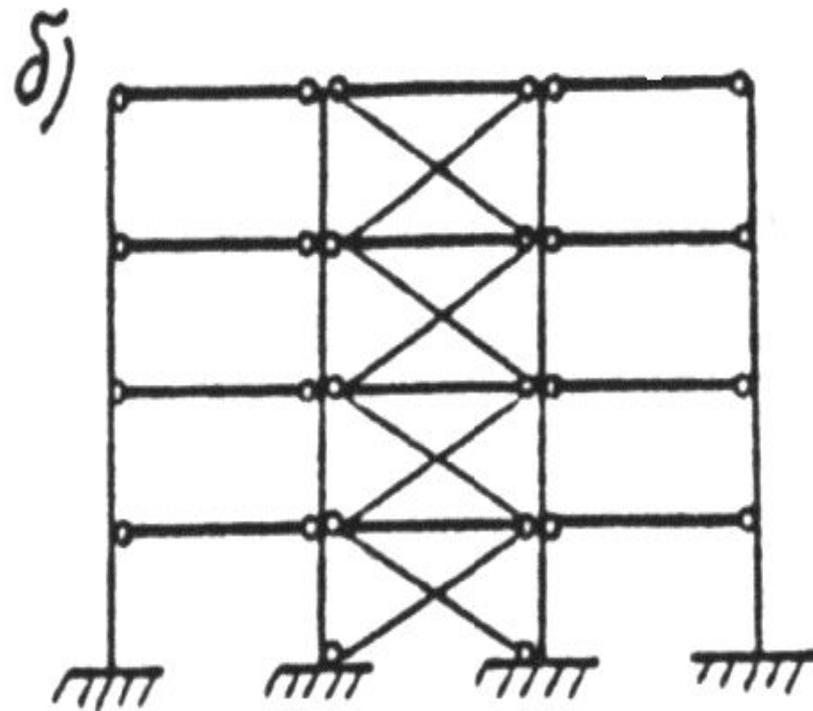
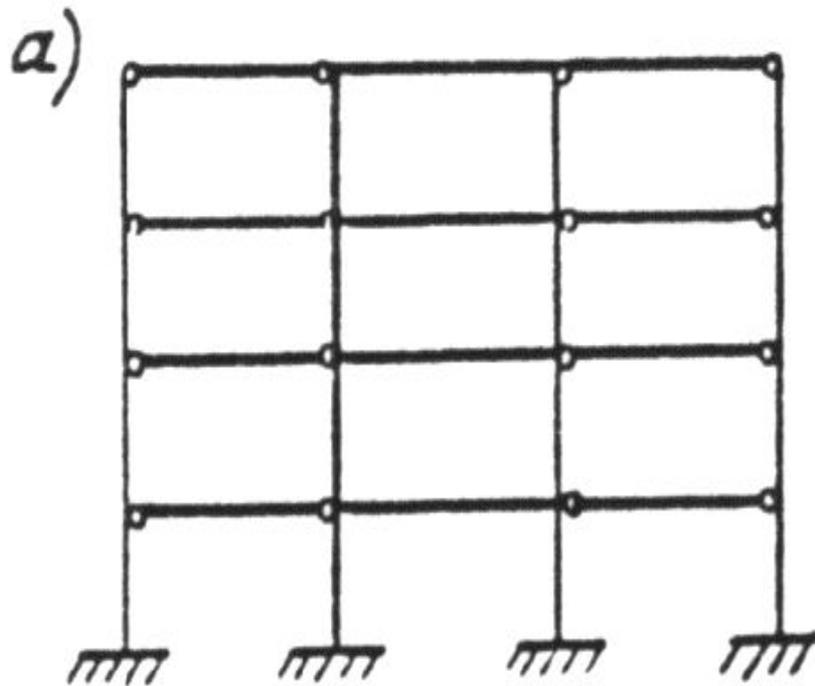
- При строительстве в сложных инженерно-геологических условиях в зданиях и сооружениях следует предусмотреть различные конструктивные мероприятия, повышающие их прочность, жесткость и устойчивость. К ним относятся: повышение жесткости зданий путем разрезки осадочными швами на отдельные блоки; повышение жесткости каждого блока устройством монолитных железобетонных или сборно-монолитных фундаментов; устройство железобетонных или металлических поясов или армированных швов; устройство жестких диафрагм, например, горизонтальных из плит; повышение гибкости и податливости гибких зданий и сооружений.

- Здания и сооружения сложной формы в плане разделяются деформационными швами на отсеки. Высоту зданий и сооружений в пределах отсека следует принимать одинаковой, а длину отсеков – по расчету в зависимости от расчетных величин деформаций земной поверхности, физико-механических свойств грунтов основания, принятой конструктивной схемы, технологических требований. Деформационные швы должны разделять смежные отсеки зданий и сооружений по всей высоте, включая кровлю и фундаменты.
- Размер деформационного шва между отсеками принимается по расчету в зависимости от расстояния от подошвы фундамента до верха стены ( $H$ ) и должен быть не менее:
  - - при  $H \leq 10$  м  $a_d = 10$  см;
  - - при  $H \geq 30$  м  $a_d = 30$  см;
  - - при  $30 > H > 10$  м размер шва определяется интерполяцией.

# Тема 4. ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ НА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ

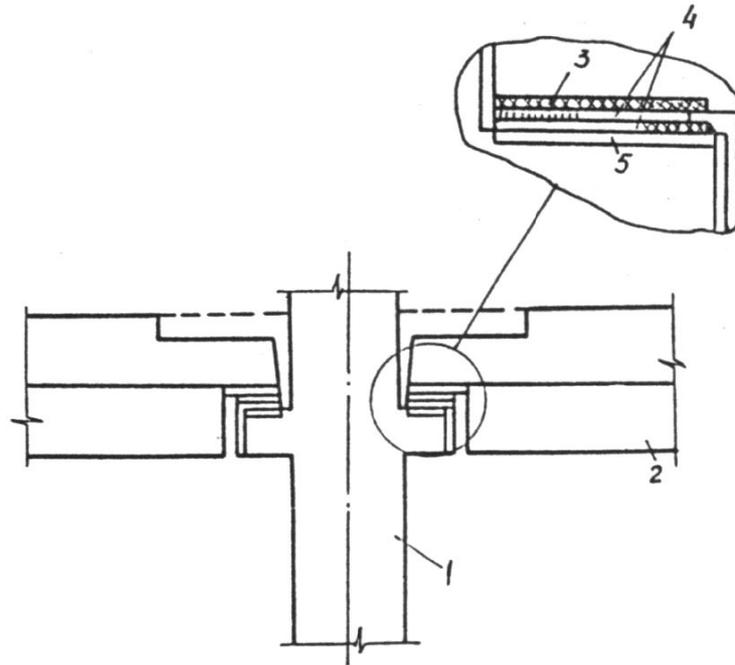
- Площадки, намеченные под строительство, предпочтительно располагать на участках с минимальной глубиной просадочных толщ, с деградированными просадочными грунтами, а также на участках, где просадочная толща подстилается малосжимаемыми грунтами, позволяющими применять фундаменты глубокого заложения, в том числе свайные.
- Отмостки, устраиваемые по периметру зданий и сооружений, следует предусматривать, как правило, совмещенными с тротуарами и проездами. Ширина отмосток должна быть не менее 2 м на площадках с грунтовыми условиями II типа по просадочности и не менее 1,5 м — на площадках с грунтовыми условиями I типа или при устранении просадочных свойств грунтов или прорезке их сваями.

- Вводы водопровода и теплосетей, а также выпуски канализации на участках между зданием (сооружением) и контрольным колодцем, должны быть проложены в водонепроницаемых железобетонных каналах. Примыкание каналов к фундаментам зданий и сооружений должно быть герметичным, его следует выполнять с учетом возможных просадок канала и фундамента здания (сооружения). Минимальные расстояния в плане от наружных поверхностей водопроводных и канализационных труб до граней фундаментов следует принимать не менее 5 м.
- Каркасные здания на просадочных грунтах, следует проектировать по податливым и комбинированным конструктивным схемам, а также связевым системам (рис. 1). Предпочтение отдавать каркасам с укрупненными сетками колонн. Фундаменты многоэтажных каркасных зданий, выполненных на основе связевой схемы, следует проектировать в виде перекрестных лент. Шарнирные узлы сопряжений элементов многоэтажных каркасных зданий допускается выполнять с опиранием ригелей на консоли колонн через связевые прокладки-компенсаторы (рис.2).



**Схемы рам каркасов многоэтажных зданий**

*a* — комбинированной конструктивной системы; *б* — связевой системы



### **Конструкция узла сопряжения ригелей с колонной**

*1* - колонна; *2* — шарнирно-опертый ригель; *3* — закладная деталь ригеля; *4* — нижняя и верхняя связевые пластины; *5* — закладная деталь колонны

- Устойчивость многоэтажных зданий в поперечном и продольном направлениях следует обеспечивать заземлением колонн в фундаментах, устройством между колоннами вертикальных связей или выполнением жестких узлов соединений ригелей с колоннами. Вертикальные связи следует группировать в пространственные блоки в средней части здания. Деформационные швы между отсеками должны быть в виде парных рам. Перекрывать деформационные швы следует компенсаторами с заделкой эластичным наполнителем (пороизолом, поролоном, макропористой резиной и т. п.).
- Для покрытий одноэтажных каркасных зданий применять наиболее простые статически определимые конструкции. Применение в качестве покрытий складчатых, тонкостенных пространственных конструкций (сводов-оболочек) и т.п. должно быть обосновано статическим расчетом с учетом воздействия неравномерных деформаций основания, различных динамических воздействий и других факторов.

- Для защиты покрытий каркасных зданий от попадания воды в местах примыкания перекрытия к торцовым и продольным стенам следует устраивать компенсаторы (с теплоизоляцией на деформационных швах), а также проклеивать места установки компенсаторов и швы между плитами покрытия внутри гидроизоляционного ковра дополнительными полосами рубероида шириной 1 м.
- В качестве ограждающих конструкций для каркасных зданий следует применять унифицированные стеновые панели из облегченных бетонов. Их следует закреплять в двух углах по горизонтали шарнирно-подвижно, а в двух других - шарнирно-неподвижно.
- При применении самонесущих каменных стен следует предусматривать их разрезку у колонн каркаса здания с опиранием на фундаментные балки и креплением к элементам каркаса. Внутренние стены, проходящие по осям каркаса здания, следует крепить к колоннам гибкими анкерами и предусматривать зазоры не менее 50 мм в местах примыкания к наружным стенам, плитам и ригелям и в местах пересечения их технологическими и санитарно-техническими трубопроводами.

- Жесткие полы по грунту (бетонные, ксилолитовые и др.) нужно устраивать с разрезкой их на карты со сторонами не более 6 м. Швы между картами заделывать эластичным заполнителем (битумной мастикой, пороизоловым жгутом и др.).
- Стены лестничных клеток допускается использовать в качестве блоков жесткости, обеспечивающих пространственную устойчивость здания.
- Бескаркасные жилые и общественные здания следует проектировать по жесткой конструктивной схеме. Несущие стены зданий следует располагать симметрично относительно продольной и поперечной осей зданий . Поперечные стены следует проектировать сквозными на всю ширину здания. Смещение поперечных стен допускается на величину не более 0,6 м (в осях). Величина смещения продольных стен допускается не более 1,8 м, при этом это место должно быть связано с поперечными несущими стенами.

- Конструкции бескаркасных зданий проектируются как элементы единой пространственной системы для восприятия усилий от приходящихся на них нагрузок и воздействий неравномерных деформаций основания. С этой целью предусматривать:
- - устройство замкнутых фундаментного и цокольного поясов по всем наружным и внутренним стенам; также рекомендуется устройство замкнутых поясов в уровне всех межэтажных перекрытий и покрытия;
- - устройство в крупноблочных и кирпичных зданиях поэтажных железобетонных поясов, располагаемых в уровне перемычек или перекрытий по всем наружным и внутренним стенам, а в панельных зданиях - поэтажных поясов, совмещенных с конструкциями наружных и внутренних стеновых панелей;
- - соединение конструкций фундаментов с надфундаментными конструкциями с вертикальными связями;
- - соединение панелей перекрытий между собой и с несущими стенами, а также заливку швов между панелями цементным раствором марки 100.

# Тема 5. ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ НА ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Проекты зданий и сооружений, возводимых на подрабатываемых территориях, следует разрабатывать на основе горногеологического обоснования, которое должно содержать:

- геологические и гидрогеологические данные о подрабатываемой толще;
- планы горных работ с указанием перспективы разработок полезного ископаемого;
- сведения о системах разработки полезного ископаемого;
- данные об ожидаемых (вероятных) значениях деформаций земной поверхности;
- перечень намечаемых строительных и горных мер защиты;
- разрешение на строительство, полученное в органах Госпроматомнадзора.

Основной конструктивной мерой защиты зданий от неравномерных осадок и горизонтальных смещений основания является разрезка его на отсеки поперечными деформационными швами. При этом деформационные швы должны располагаться на границах планировочных секций.

При проектировании по жесткой конструктивной схеме кроме разрезки на отсеки предусматривается исключение возможности взаимного перемещения отдельных элементов несущих конструкций при деформациях основания. Это выполняется следующими конструктивными решениями: усиление несущих конструкций и объединения их в пространственно жесткие блоки, устройство фундаментных и поэтажных железобетонных поясов, устройство фундаментных связей-распорок, устройство фундаментов в виде сплошных железобетонных плит, перекрестных балок, балок-стенок и т.п.

При разделении зданий на отсеки необходимо учитывать их конфигурацию в плане, отдавая предпочтение простой форме. Высоту здания в пределах отсека рекомендуется принимать одинаковой. Длина отсека принимается по расчету в зависимости от деформаций земной поверхности и конструктивной схемы здания.

Деформационные швы должны разделять смежные отсеки здания по всей высоте, включая кровлю и фундаменты. Заделка деформационного шва по наружным стенам не должна препятствовать свободным горизонтальным перемещениям и наклонам соседних отсеков здания.

При проектировании зданий следует предусмотреть меры, направленные на уменьшение дополнительных нагрузок на заглубленную в грунт часть здания. Дополнительные нагрузки следует уменьшать следующим образом: глубина заложения фундаментов должна быть минимальной; устройство швов скольжения; устройство грунтовых подушек на основаниях, сложенных практически несжимаемыми грунтами (скальные, крупноблочные и др.); рациональная планировка подвалов (их следует предусматривать под всей площадью отсека на одном уровне).

Кроме вышеупомянутых мероприятий требуется устройство в подземной части горизонтальных швов скольжения. Швы скольжения устраиваются в тех местах, в которых устраивают горизонтальную гидроизоляцию при строительстве в обычных условиях (ориентировочно на 200 мм выше поверхности земли). В каждом деформационном блоке шов скольжения устраивается строго горизонтально на одной отметке. В местах устройства швов скольжения стены здания по-возможности не должны иметь проемов. Рекомендуемые конструкции швов скольжения приведены в табл. 1.

Конструкции фундаментов, расположенные над швом скольжения, должны быть связаны между собой железобетонными фундаментными поясами, фундаментными плитами или связями-распорками. Связи-распорки могут соединять фундаменты в продольном и поперечном направлениях.

Таблица 1.

Материалы заполнения шва скольжения	Расход материала, кг/м <sup>2</sup>	Коэффициент трения
Два слоя пергамина с прослойкой:		
- молотого графита общей толщиной 30 мм	0.5	0.2
- щипаной слюды общей толщиной 30 мм	1.0	0.3
- инертной пыли общей толщиной 30 мм	1.0	0.4
Два слоя полиэтиленовой пленки с прослойкой графита общей толщиной 25 мм	0.4	0.15

*Примечание: Бетонная поверхность под швом скольжения должна быть тщательно выровнена и зажелезнена. Отклонения по вертикали допускаются не более 5 мм на 1 м длины шва.*

Бескаркасные здания на подрабатываемых территориях следует проектировать по жестким или комбинированным конструктивным схемам, не допускающим прогрессирующего обрушения частей зданий при повреждении отдельных несущих конструкций:

- с продольными несущими стенами и поперечными диафрагмами жесткости (стены лестничных клеток, лифтовых шахт и др.) и с перекрытиями, опирающимися на несущие стены по двум сторонам;
- с поперечными и продольными несущими стенами и с перекрытиями, опирающимися на несущие стены по контуру или трем сторонам;
- с поперечными несущими стенами и с перекрытиями, опирающимися на несущие стены по двум сторонам;
- надземную часть бескаркасных жилых и общественных зданий следует, как правило, проектировать по жесткой конструктивной схеме.

Усиление фундаментной части здания осуществляется устройством замкнутых фундаментного и цокольного поясов по всем наружным и внутренним стенам. В панельных зданиях допускается совмещение фундаментного и цокольного поясов с конструкциями цокольных железобетонных панелей. Под цокольным и фундаментным железобетонными поясами устраивается шов скольжения.

Надземная часть бескаркасных зданий усиливается конструктивными решениями:

- устройство поэтажных замкнутых железобетонных и армокаменных поясов, располагаемых в уровне перемычек или перекрытий в крупноблочных и кирпичных зданиях;

- соединением всех элементов крупнопанельных зданий в пространственную систему и их усилением.

# Тема 6. ТЕХНОГЕННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

Техногенные грунты образуются в результате деятельности человека. Они обычно неоднородны по составу, обладают неравномерной сжимаемостью, невыдержанны по толщине и простиранию. Часто насыпные грунты включают органику, при разложении которой возникают дополнительные осадки. Особенностью насыпных грунтов является склонность к самоуплотнению от массы вышележащих слоев грунта и от вибрации. При замачивании возможны значительные просадки. В них встречаются включения строительного и бытового мусора, обломков конструкций.

По условиям образования насыпные грунты подразделяют на три группы: планомерно возведенные насыпи, отвалы грунтов и отходов промышленности и свалки.

Для первой группы характерен однородный состав, сравнительно высокая прочность и равномерная сжимаемость; для второй – время самоуплотнения

В качестве естественных оснований могут быть использованы слежавшиеся насыпные грунты, а также отвалы грунтов из крупных песков, гравелистых и щебеночных грунтов. Свалки грунтов и отходов производств могут быть использованы в качестве естественных оснований только для временных зданий.

Нередко производится неорганизованная засыпка оврагов грунтом, бытовым мусором, промышленными отходами. Строить на этих площадках не рекомендуется. При необходимости можно применять длинные забивные или буронабивные сваи с опиранием на естественный грунт.

В случае организованной засыпки грунта или его намыва технология работ часто нарушается. Кроме того, деформативные и прочностные характеристики грунта засыпки (намыва) и расположенного за пределами оврага различаются. Будет происходить процесс самоуплотнения засыпанного грунта. Рекомендуемыми фундаментами являются свайные с монолитным железобетонным ростверком.

# Тема 7. КАРСТЫ

Оценка территорий по степени опасности проявлений карстово-суффозионных процессов и прогнозирование возможности образования провалов производится с помощью метода инженерно-геологических аналогий по данным глубокого бурения (80 - 120 м) и геофизических изысканий. Опасные районы характеризуются следующими определяющими признаками:

- наличием на поверхности земли проявлений карстово-суффозионных процессов в виде воронок и оседаний независимо от их геометрической формы и размеров;
- сильной закарстованностью толщи карбонатных пород каменноугольной системы, проявляющейся в виде карстовых полостей размером более 1 метра, а также в наличии зон сильно раздробленных и интенсивно выщелоченных пород;

- отсутствием или незначительной мощностью (как правило, до 2 - 3 м) водоупоров в пределах застраиваемых участков или территорий;
- наличием вертикальной фильтрации подземных вод, создающей условия для суффозионного выноса рыхлых отложений в закарстованные породы;
- приуроченностью к долинам доюрского и доледникового размыва, особенно с «открытыми» бортами из карбонатных пород, где возможна интенсивная горизонтальная фильтрация;
- образованием в процессе бурения провальных воронок вокруг стволов скважин в результате прорезания водоупоров и суффозионного выноса песков в карстующиеся известняки;
- наличием температурных и гидрохимических аномалий в подземных водах, свидетельствующих об интенсивном вертикальном перетоке и нарушении режима подземных вод.

В качестве инженерно-геологических мер защиты зданий и сооружений применяются:

- заполнение (тампонирование) трещин и полостей в закарстованном массиве цементными растворами, бетоном или бесцементными нерастворимыми материалами;
- закрепление толщи несвязанных грунтов (не менее 5 м), перекрывающей закарстованные известняки, путем цементации, силикатизации или смолизации;
- регулирование гидрогеологической обстановки с целью стабилизации или замедления карстово-суффозионных процессов.

Вертикальная планировка территории должна обеспечивать быстрый отвод атмосферных вод от зданий и сооружений, с газонов и площадок на дороги с последующим перехватом их дождеприемными решетками закрытой системы водостоков.

Ширина отмосток зданий и сооружений должна быть не менее 2,5 м.

Дороги должны устраиваться с дренажами мелкого заложения, подключаемыми к системе ливневой канализации.

Для обеспечения возможности заполнения карстовых воронок, образовавшихся под фундаментами зданий, необходимо предусматривать устройство в полах подвалов и в фундаментах сквозных отверстий размерами не менее 150×150 мм с шагом 6×6 м для нагнетания цементного раствора, бетона или бесцементного нерастворимого материала.

В качестве фундаментов на естественном основании следует применять, как правило, монолитные железобетонные фундаменты в виде сплошных плит или перекрестных лент.

# Тема 8. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ НА ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Разновидности вечномерзлых грунтов следует различать в зависимости от особенностей их физико-механических свойств как оснований сооружений. Среди вечномерзлых грунтов должны выделяться сильно льдистые, засоленные и биогенные (зоторфованные) грунты, использование которых в качестве оснований сооружений возможно при выполнении дополнительных инженерных требований. Кроме того, грунты делятся на твердомерзлые (практически несжимаемые), пластично мерзлые и сыпучемерзлые.

При строительстве на вечномёрзлых грунтах в зависимости от конструктивных и технологических особенностей зданий и сооружений, инженерно-геокриологических условий и возможности целенаправленного изменения свойств грунтов основания применяется один из следующих принципов использования вечномёрзлых грунтов в качестве основания сооружений:

принцип I - вечномёрзлые грунты основания используются в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации сооружения;

принцип II - вечномёрзлые грунты основания используются в оттаянном или оттаивающем состоянии (с предварительным оттаиванием на расчетную глубину до начала возведения сооружения или с допущением оттаивания в период эксплуатации сооружения).

**Принцип I** следует применять, если грунты основания можно сохранить в мерзлом состоянии при экономически целесообразных затратах на мероприятия, обеспечивающие сохранение такого состояния. На участках с твердомерзлыми грунтами, а также при повышенной сейсмичности района следует принимать, как правило, использование вечномерзлых грунтов по принципу I. При строительстве на пластично мерзлых грунтах следует предусматривать мероприятия по понижению температуры до установленных расчетом значений, а также учитывать в расчетах оснований пластические деформации этих грунтов под нагрузкой.

**Принцип II** следует применять при наличии в основании скальных или других мало сжимаемых грунтов, деформация которых при оттаивании не превышают предельно допустимых значений для проектируемого сооружения, при несплошном распространении вечномерзлых грунтов, а также в тех случаях, когда по техническим и конструктивным особенностям сооружения и инженерно-геокриологическим условиям участка при сохранении мерзлого состояния грунтов основания не обеспечивается требуемый уровень надежности строительства.

Для оснований по принципу I необходимо предусматривать:

- устройство холодных (вентилируемых) подполий или холодных первых этажей зданий,

- укладку в основании сооружения охлаждающих труб, каналов или применение вентиляруемых фундаментов,

- установку сезонно действующих охлаждающих устройств жидкостного или парожидкостного типов - СОУ, а также осуществление других мероприятий по устранению или уменьшению теплового воздействия сооружения на мерзлые грунты основания.

Выбор указанных мероприятий должен производиться на основании теплотехнического расчета с учетом конструктивных и технологических особенностей сооружения, опыта местного строительства и экономической целесообразности.

Холодные (вентилируемые) подполья применяются для сохранения мерзлого состояния грунтов в основаниях жилых и промышленных зданий и сооружений, в том числе сооружений с повышенными тепловыделениями.

Подполья из условий снегозаносимости допускается устраивать открытыми, с вентиляруемыми продухами в цоколе здания или закрытыми. Закрытые подполья, а также холодные первые этажи зданий рекомендуется устраивать при ширине зданий до 15 м и среднегодовых температурах грунта ниже минус 2 °С. Высота подполья принимается по условиям вентиляции, но не менее 1,2 м от поверхности грунта до низа выступающих конструкций.

Поверхность грунта в подполье должна быть спланирована с уклонами в сторону наружных отмосток и иметь твердое покрытие.

Сезоннодействующие охлаждающие устройства (СОУ) следует применять для сохранения мерзлого состояния грунтов оснований.

Для оснований по принципу II предусматривать мероприятия по уменьшению деформаций основания:

предварительное (до возведения сооружения) искусственное оттаивание и уплотнение грунтов основания;

замену льдистых грунтов основания талым или непросадочным при оттаивании песчаным или крупнообломочным грунтом;

ограничение глубины оттаивания мерзлых грунтов основания, в том числе со стабилизацией верхней поверхности вечномерзлого грунта в процессе эксплуатации сооружения;

увеличение глубины заложения фундаментов, в том числе с прорезкой льдистых грунтов и опиранием фундаментов на скальные или другие мало сжимаемые при оттаивании грунты.

Контуры зоны оттаивания или замены грунтов основания в плане должны выходить за контуры сооружения не менее чем на половину глубины предварительного оттаивания грунта.

При использовании вечномёрзлых грунтов в качестве оснований по принципу II следует, как правило, применять:

а) при жесткой конструктивной схеме на оттаивающих грунтах - усиленные армопоясами ленточные фундаменты, в том числе в виде жестких перекрестных лент, воспринимающих и перераспределяющих усилия, вызванные неравномерной осадкой оттаивающего основания, а при необходимости - плитные фундаменты; на предварительно оттаянных и уплотненных грунтах допускается применять столбчатые, ленточные и другие фундаменты на естественном основании, а также свайные фундаменты;

б) при гибкой конструктивной схеме - столбчатые и отдельно стоящие фундаменты под колонны, гибкие ленточные фундаменты, свайные фундаменты (при необходимости).

В проекте оснований и фундаментов на вечномёрзлых грунтах должны быть предусмотрены мероприятия по инженерной подготовке территории, обеспечивающие соблюдение расчетного гидрогеологического и теплового режима грунтов основания и предотвращение эрозии, развития термокарста и других физико-геологических процессов, приводящих к изменению проектного состояния грунтов в основании сооружений при их строительстве и эксплуатации, а также к недопустимым нарушениям природных условий окружающей среды.

Инженерная подготовка отдельных строительных площадок должна быть увязана с общей инженерной подготовкой и вертикальной планировкой территории застройки в соответствии с генпланом и обеспечивать организованный отвод поверхностных и подмерзлотных вод с начала строительства.

В составе мероприятий по инженерной подготовке территории должны быть предусмотрены природоохранные мероприятия, направленные на восстановление нарушенных в процессе строительства природных условий, в том числе мероприятия по рекультивации и восстановлению почвенно-растительного слоя, засыпке выемок, траншей и карьеров, одернованию склонов и откосов, а также по предупреждению развития эрозии, термокарста и процессов размыва грунта.

# Тема 9. ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОТ ЗАТОПЛЕНИЯ И ПОДТОПЛЕНИЯ

При проектировании инженерной защиты территории от затопления и подтопления нужно предусматривать комплекс мероприятий, обеспечивающих предотвращение затопления и подтопления территорий или устранение отрицательных воздействий затопления и подтопления.

Источники подтопления разделяются на естественные и искусственные:

- естественные: атмосферные осадки (дождевые и талые воды), грунтовые воды, сток поверхностных вод с окружающих территорий, вода в парообразной форме в грунтах зоны аэрации.

- искусственные: воды, накапливающиеся в различных искусственных понижениях рельефа, котлованах, траншеях, грунтах обратной засыпки, различные резервуары, отстойники, накопители жидких стоков и шламонакопители, гидрозолоотвалы, очистные сооружения, объекты с мокрым технологическим процессом (цехи мокрых производств, ТЭЦ и др.), водонесущие коммуникации всех видов и др.

Защиту территорий от затопления следует осуществлять:

- обвалованием территорий со стороны реки, водохранилища или иного водного объекта;
- искусственным повышением рельефа до незатопляемых планировочных отметок;
- аккумуляцией, регулированием, отводом поверхностных сбросных и дренажных вод с затопленных, временно затопляемых, орошаемых территорий и низинных нарушенных земель.

В состав средств инженерной защиты от затопления могут входить: дамбы обвалования, дренажи, дренажные и водосбросные сети, нагорные водосбросные каналы, быстротоки и перепады, трубопроводы и насосные станции.

Перехват поверхностных вод, поступающих с сопредельных территорий, осуществляется нагорными канавами, которые проходят выше защищаемой территории. Откосы и дно канав должны быть защищены от размывания. Это достигается соблюдением определенного уклона лотка канавы, а также применением соответствующих покрытий или облицовок.

Искусственное повышение планировочных отметок поверхности территории осуществляется путем подсыпки или намыва грунта преимущественно на пойменных и заболоченных участках и может быть выполнено на вновь осваиваемых (незастроенных) территориях.

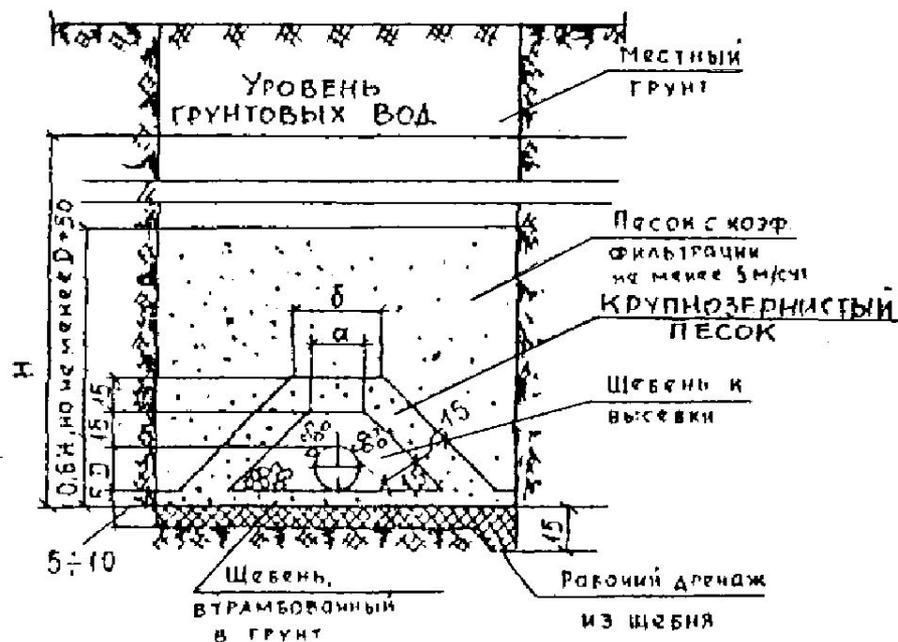
# ДРЕНАЖНЫЕ СИСТЕМЫ И ДРЕНАЖИ

На застроенных и подтопленных территориях основным способом защиты от подземных вод является сооружение дренажа, которое должно осуществляться в сочетании с мероприятиями по организации поверхностного стока, устранению потерь воды из водонесущих коммуникаций и водосодержащих емкостей и др. В зависимости от гидрогеологических условий надлежит применять горизонтальные, вертикальные и комбинированные дренажи.

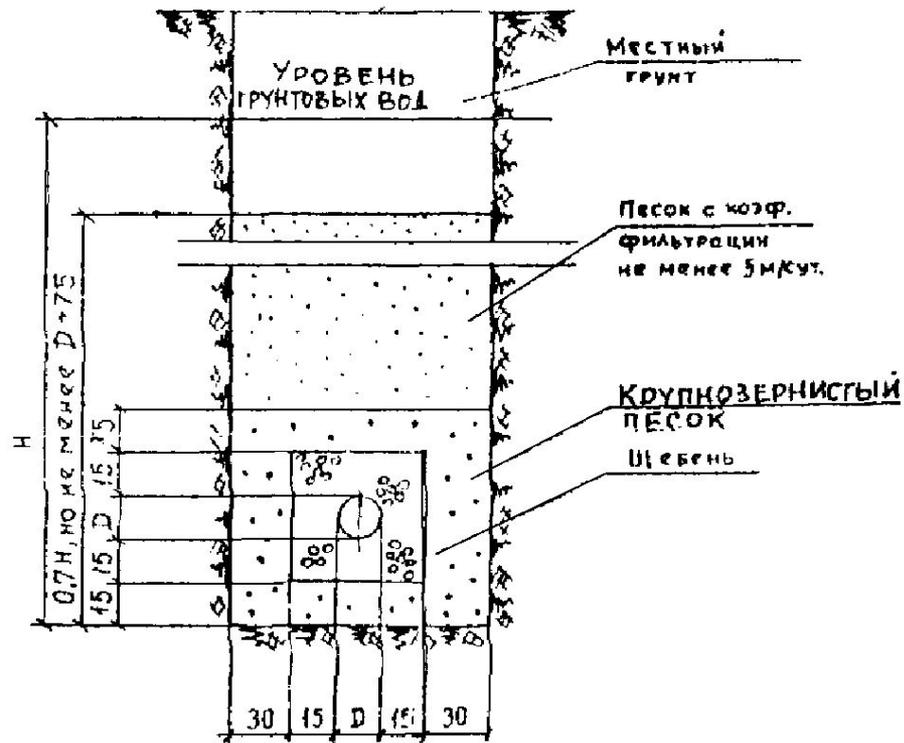
Противокапиллярная гидроизоляция в стенах и обмазочная или окрасочная изоляция вертикальных поверхностей стен, соприкасающихся с грунтом, должна предусматриваться во всех случаях независимо от устройства дренажей.

В зависимости от расположения дренажа по отношению к водоупору дренажи могут быть совершенного или несовершенного типа.

- Дренаж совершенного типа закладывается на водоупоре. Грунтовые воды поступают в дренаж сверху и с боков. В соответствии с этими условиями дренаж совершенного типа должен иметь дренирующую обсыпку сверху и с боков (см. рис. 9. 1).
- Дренаж несовершенного типа закладывается выше водоупора. Грунтовые воды поступают в дренажи со всех сторон, поэтому дренирующая обсыпка должна выполняться замкнутой со всех сторон (см. рис. 9. 2).

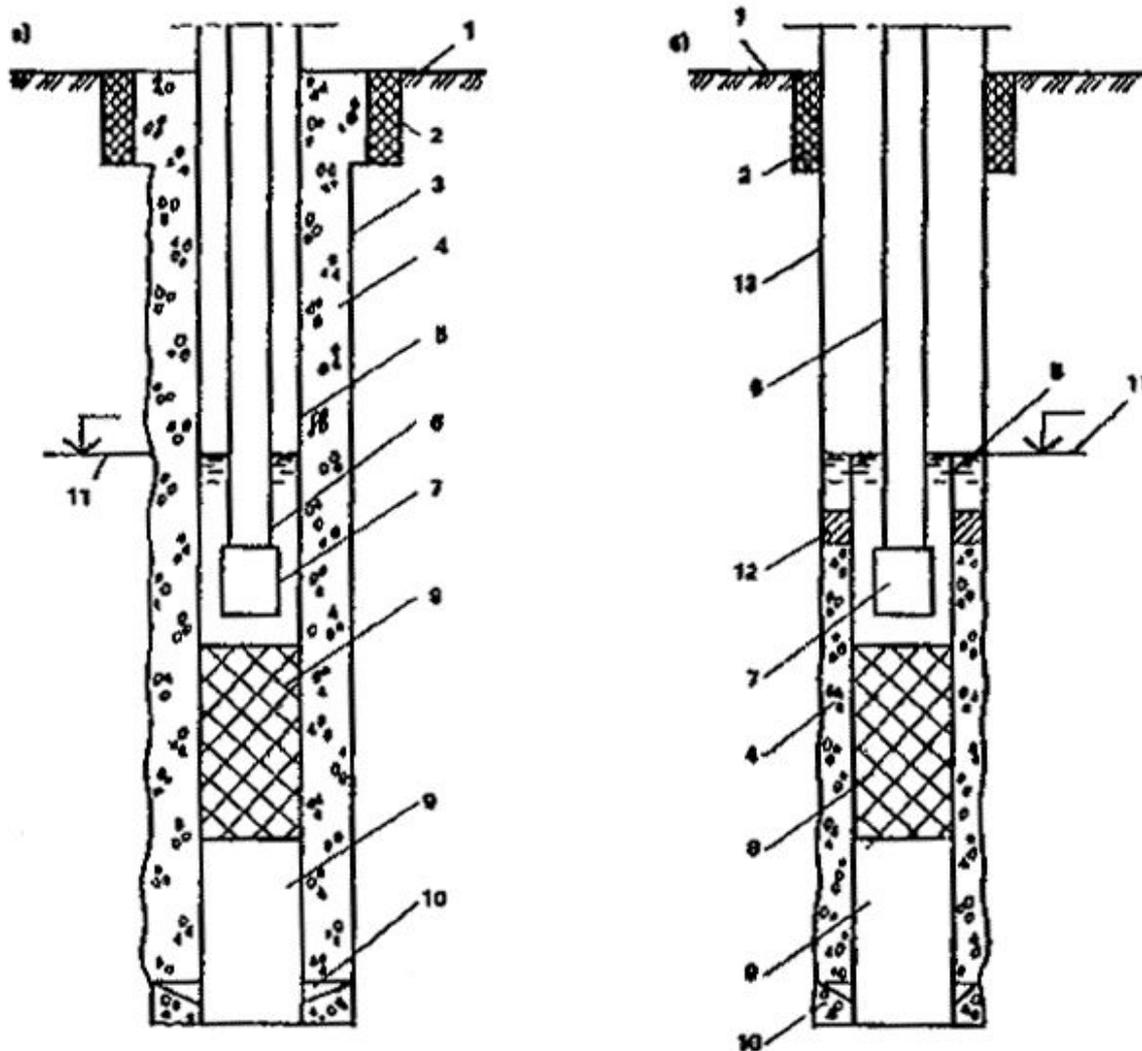


**Рис. 9. 1. Дренаж совершенного типа**



**Рис. 9. 2. Дренаж несовершенного типа**

Всякое дренажное сооружение конструктивно состоит из двух основных элементов - водоприемного и водоотводящего. Первый из них обеспечивает прием воды из водоносного пласта, второй - отвод поступившей воды за пределы осушаемой территории. Отвод воды может быть самотечным или принудительным.



**Рис. 9.3. Схемы конструкций скважин вертикального дренажа**

*a* - без крепления обсадными трубами; *б* - с частичным креплением обсадными трубами  
 1 - цементный замок; 2 - кондуктор; 3 - ствол скважины; 4 - песчано-гравийная засыпка;  
 5 - фильтровая колонна; 6 - водоподъемная колонна; 7 - насос; 8 - фильтр; 9 - отстойник;

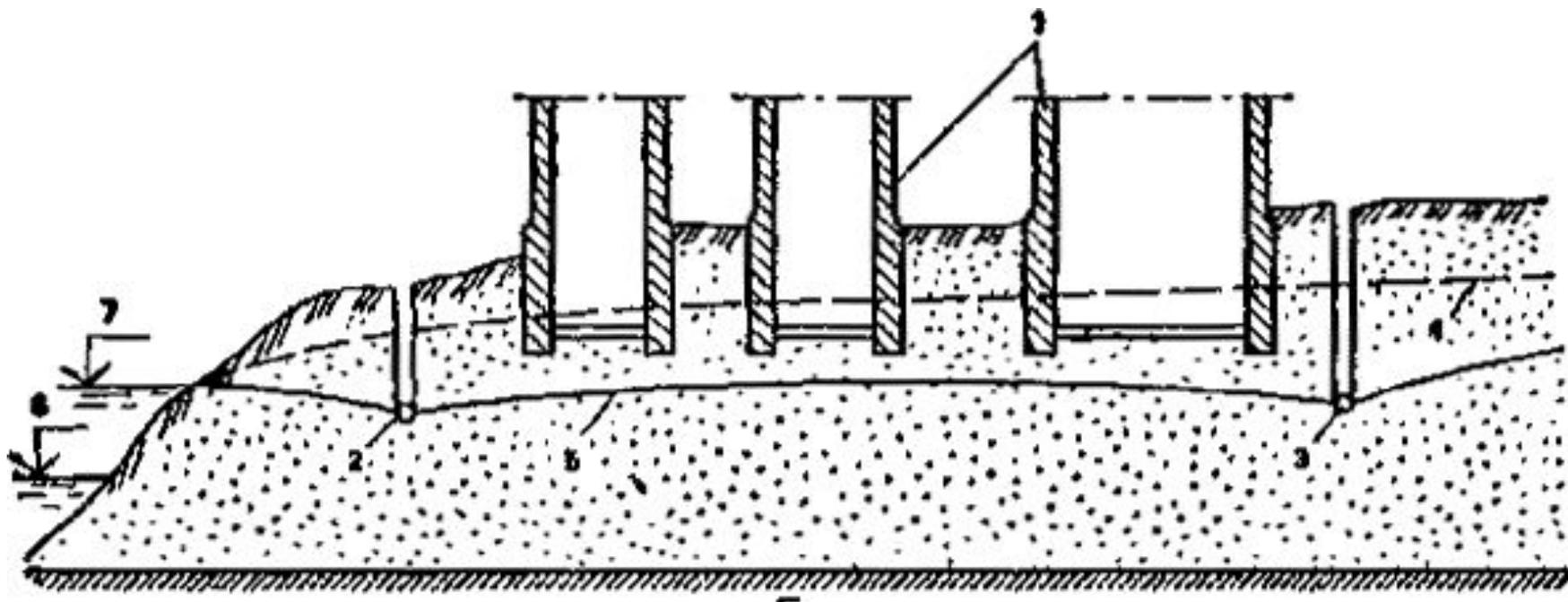
10 - контрольный (мерный) факел; 11 - измерительный маркер глубины скважины; 12 -

Отдельные локальные дрены объединяются в системы защитных дренажей, обеспечивающие требуемое снижение уровней грунтовых вод на всей подтапливаемой территории или на отдельном локальном участке. Основными разновидностями дренажных систем являются однолинейные, двухлинейные, площадные (систематические) и кольцевые (контурные).

**Однолинейные** дренажные системы применяются для перехвата и отвода бокового притока грунтовых вод, а также в тех случаях, когда действия однолинейной дрены достаточно для создания устойчивого понижения в пределах защищаемой территории. Наиболее часто однолинейными являются головные (перехватывающие) и береговые дренажи.

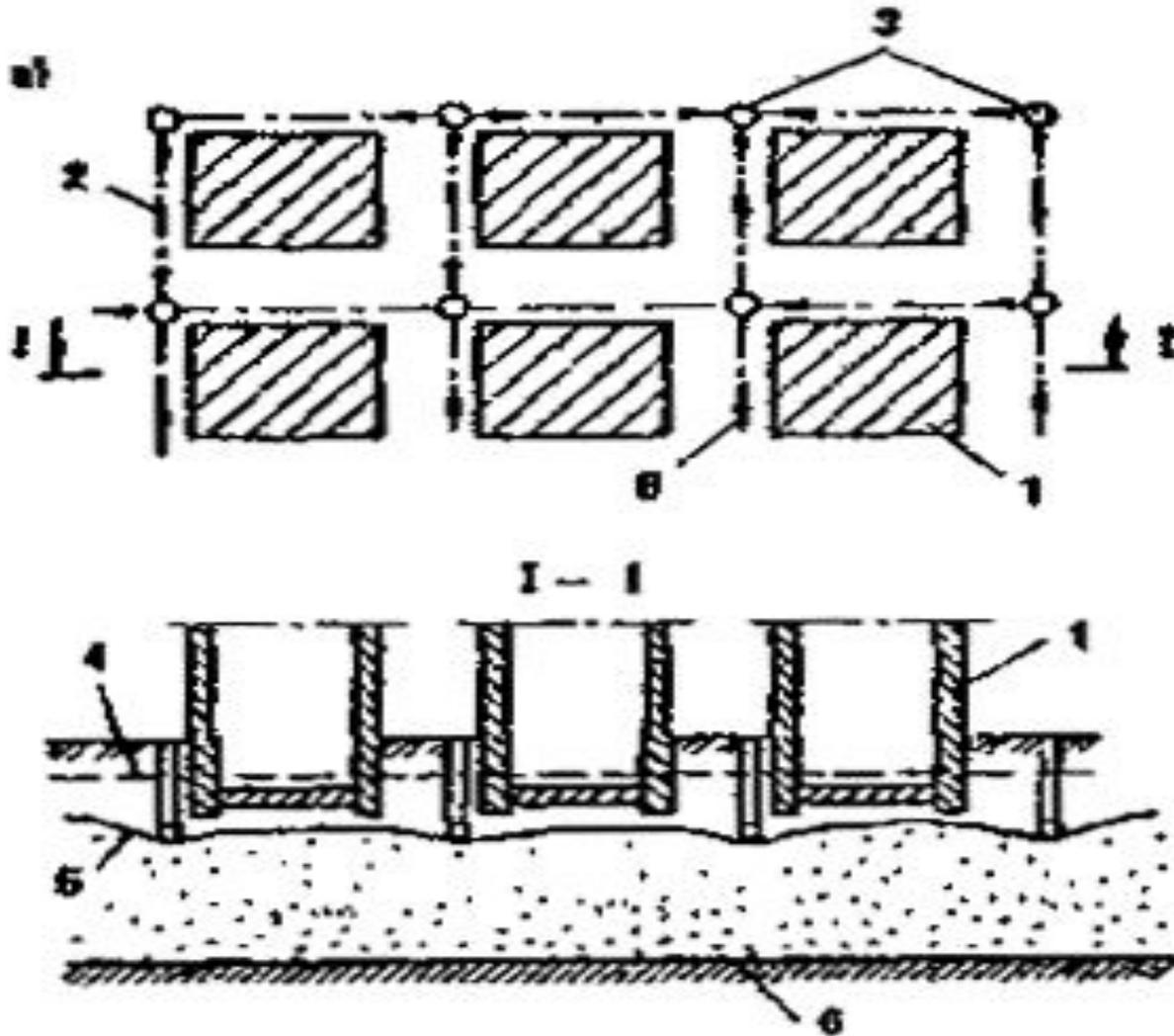
**Двухлинейные** дренажные системы применяются в тех случаях, когда действия однолинейного дренажа недостаточно для обеспечения требуемого понижения на защищаемой территории, а также в случаях, когда необходимо защитить территорию от бокового притока к ней с двух сторон. Такой дренаж наиболее часто состоит из береговой дрены, уложенной вдоль водоема, и головной дрены, проходящей вдоль верхней (со стороны потока грунтовых вод) границы защищаемой территории.

**Площадная** дренажная система предназначена для защиты от подтопления значительных площадей и представляет собой систему горизонтальных или вертикальных дрен, расположенных более или менее равномерно по всей дренируемой территории. Обычно дрены (в горизонтальных площадных системах) или ряды дрен (в площадных системах, объединяющих вертикальные дрены) рекомендуется располагать параллельно друг другу.



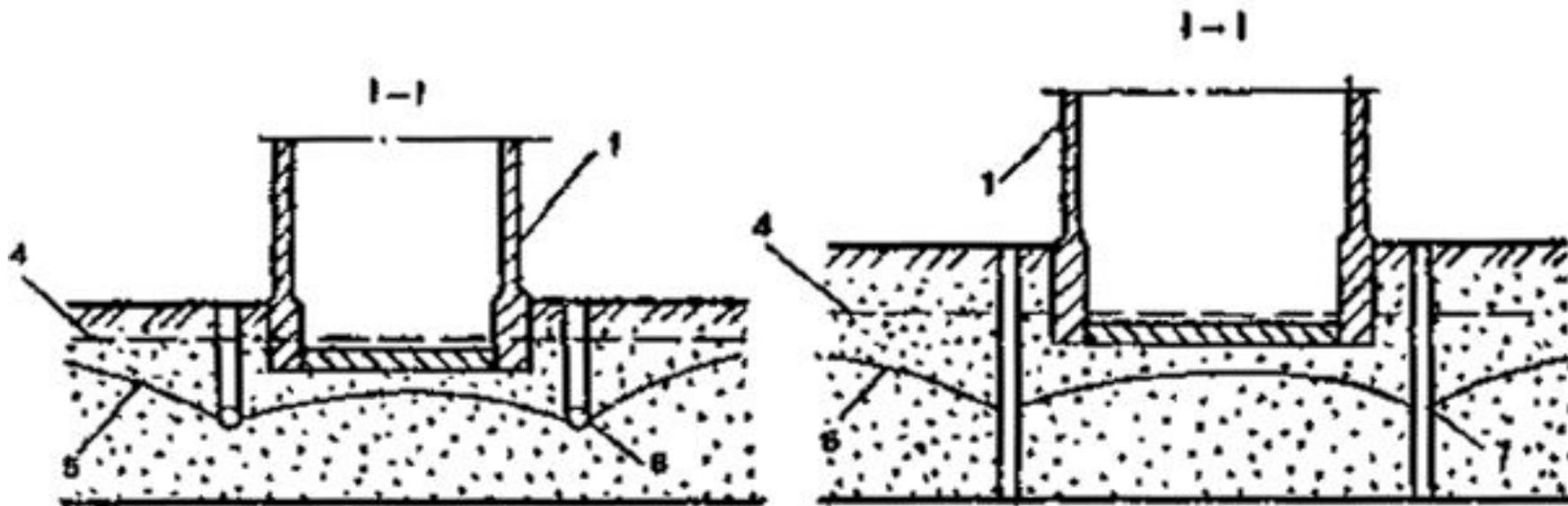
**Рис. 9.4. Схема двухлинейного дренажа**

1 - контуры защищаемых сооружений; 2 - береговая дрена; 3 - головная дрена; 4 - уровень грунтовых вод до устройства дренажа; 5 - пониженный уровень грунтовых вод; 6 - уровень воды в реке до строительства водохранилища; 7 - нормальный подпертый горизонт воды после устройства водохранилища



**Рис. 9.5. Схема кольцевого дренажа**

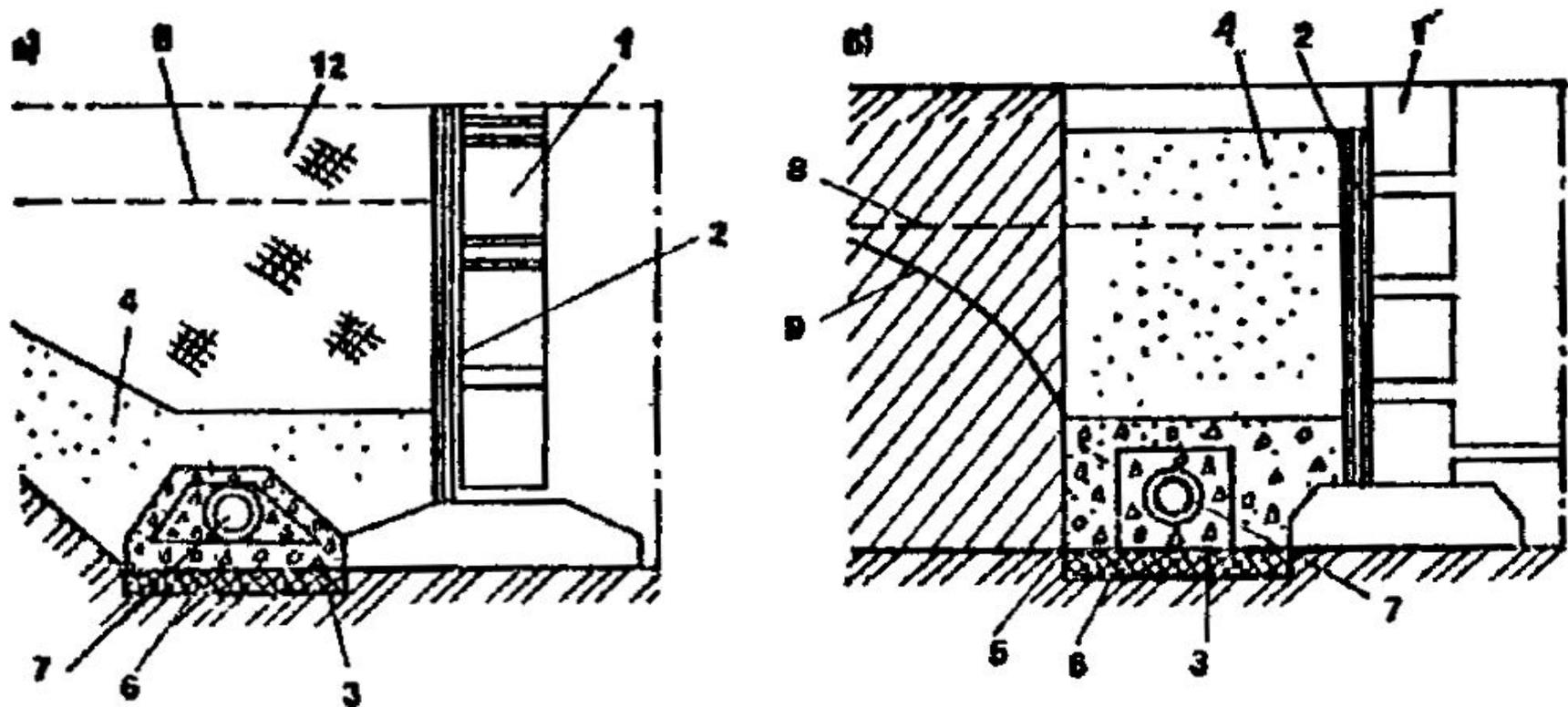
1 - контур защищаемого сооружения; 2 - линия дренажа; 3 - смотровой колодец; 4 - непониженный уровень грунтовых вод; 5 - пониженный уровень грунтовых вод; 6 - горизонтальная дрена; 7 - вертикальная дрена; 8 - водоотвод



**Рис. 9.6. Схема площадного дренажа**

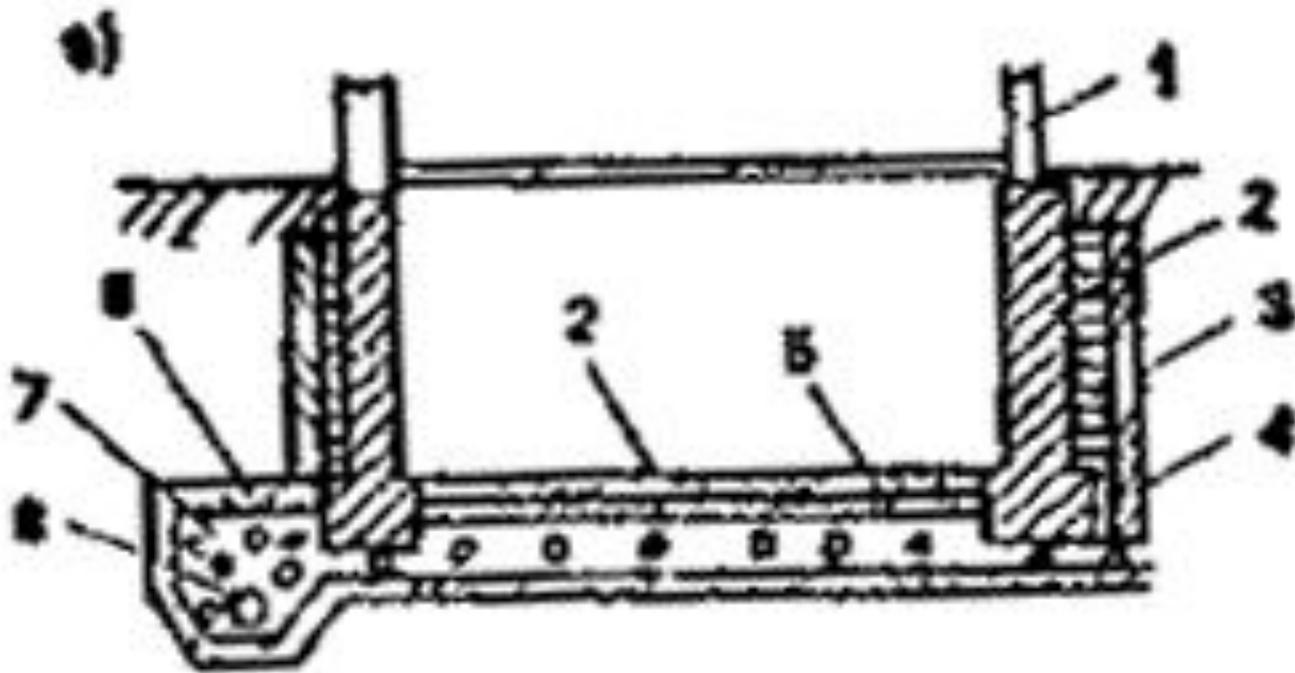
*а* - горизонтального; *б* - вертикального

*1* - контур защищаемого сооружения; *2* - ось горизонтального дренажа; *3* - смотровые колодцы; *4* - непониженный уровень грунтовых вод; *5* - пониженный уровень грунтовых вод; *6* - водоупор; *7* - вертикальные дрены; *8* - направление отвода дренажных вод



**Рис. 9.7. Конструктивные схемы пристенных дренажей**

1 - защитное сооружение; 2 - гидроизоляция; 3 - щебень; 4 - песок; 5 - песчано-гравийный слой; 6 - глинисто-щебеночная подготовка; 7 - дренажная труба; 8 - непониженный уровень грунтовых вод; 9 - кривая депрессии; 10 - плита из пористого бетона; 11 - трубофильтр; 12 - грунт обратной засыпки



**Рис. 9.8. Конструктивная схема пластовых дренажей**

1 - защищаемое сооружение; 2 - гидроизоляция; 3 - прижимная стенка; 4 - глиняный замок; 5 - песчано-гравийный слой; 6 - песок; 7 - щебень; 8 - дренажная труба

# Тема 10. СТРОИТЕЛЬСТВО В СЕЙСМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ РАЙОНАХ

Самый верхний слой земли - кора - состоит из нескольких слоев; сверху - из осадочных стратифицированных (т. е. в свою очередь слоистых) пород толщиной в среднем несколько километров, ниже которых расположен гранитный слой, иногда выходящий на поверхность коры. Толщина этого слоя на равнинах достигает 10 км, а под горными хребтами 40 км. Гранитный слой подстиляется слоем базальтов толщиной под равнинами до 30 км, под горными хребтами до 20 км. Поверхность раздела гранитного и базальтового слоя называется в геофизике поверхностью Конрада. В совокупности эти два слоя носят общее название *сиаль* (от слов *silicium* и *aluminium*).

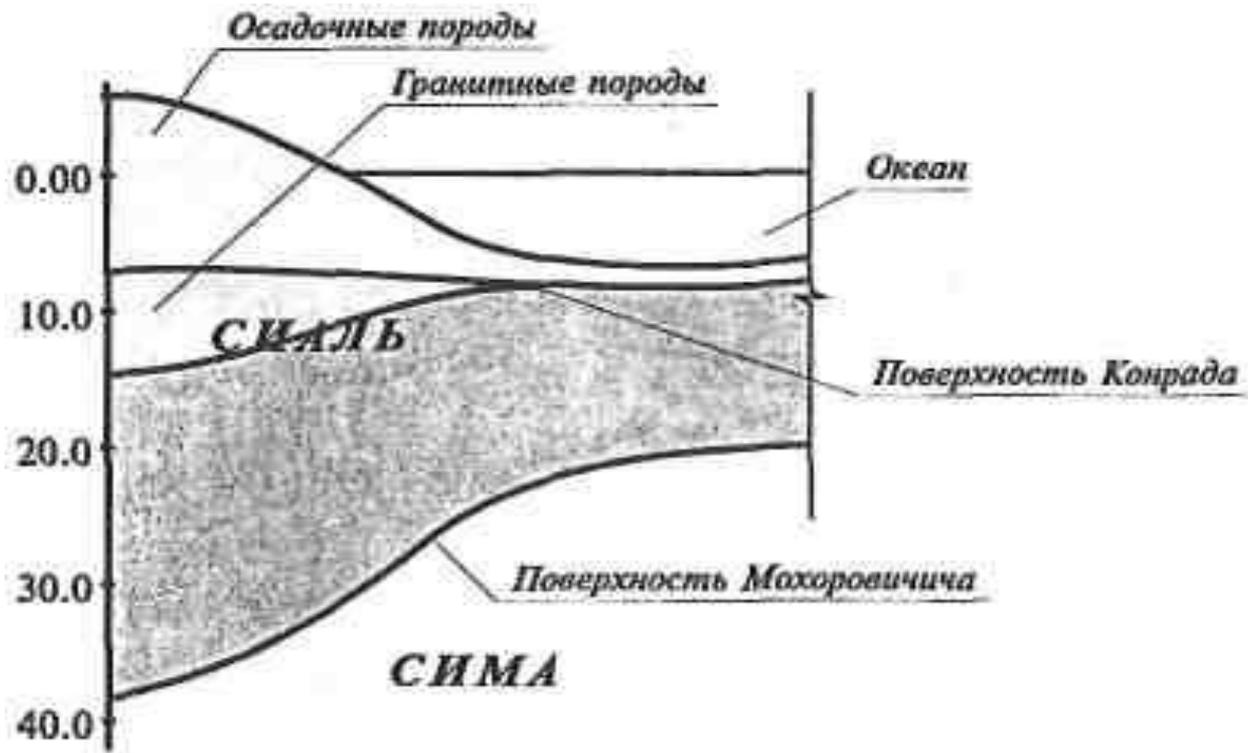
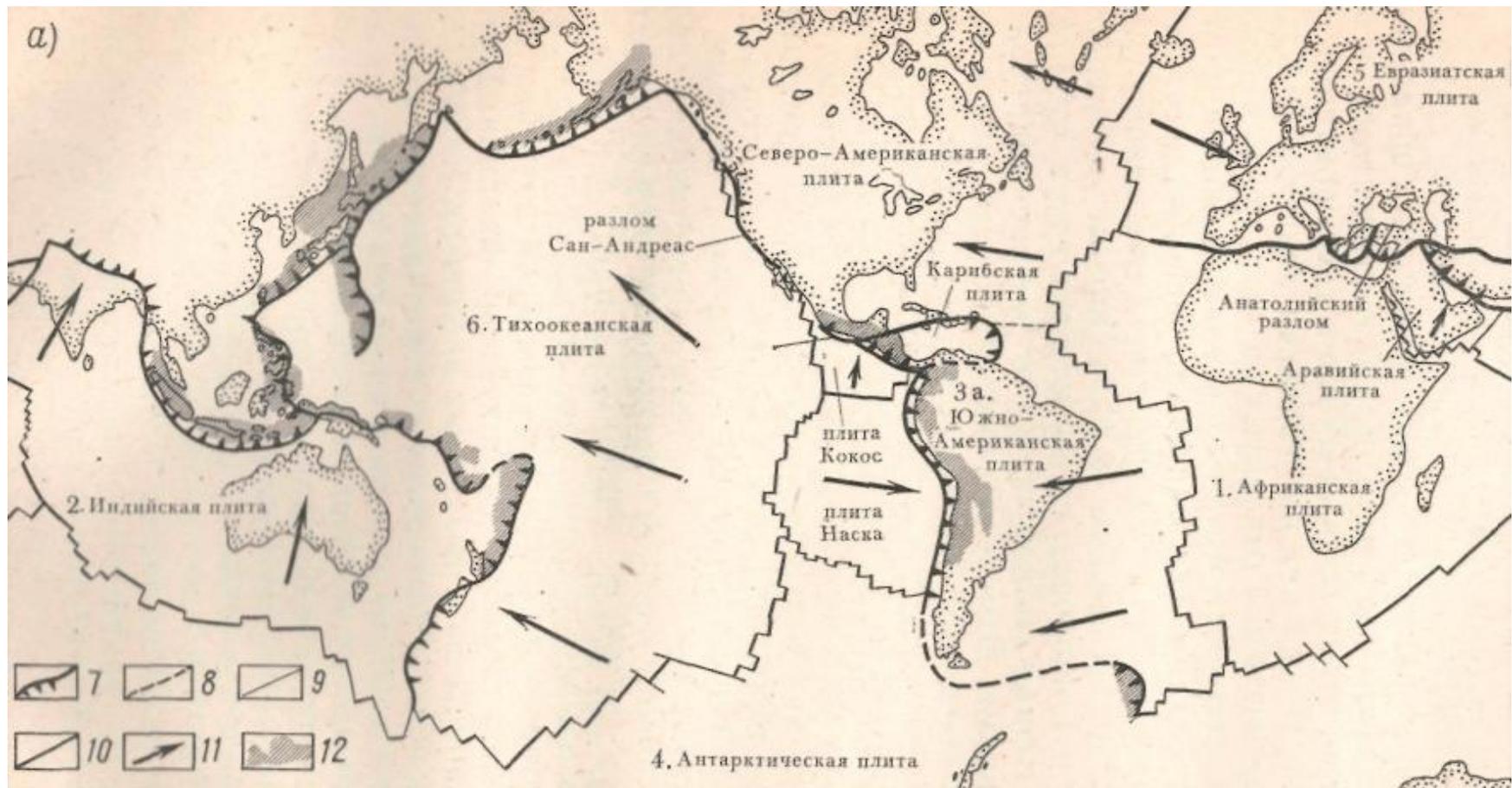


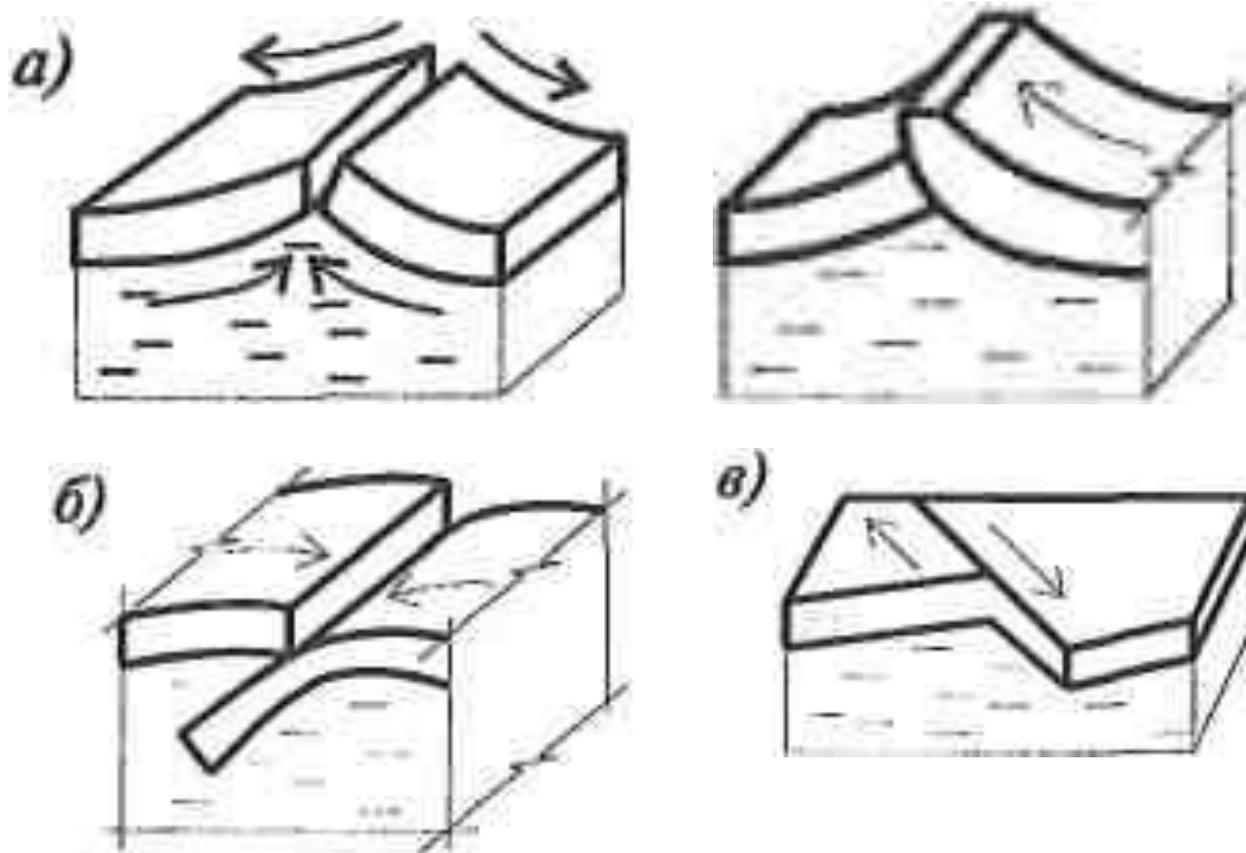
Рис. 10.1. Схематическое представление коры земного шара

Всего толщина коры в районе суши в среднем 35 км, в районе горных хребтов достигает 60-70 км. В отличие от континентальной, океаническая кора имеет значительно меньшую толщину (6-8 км), ниже ее осадочного слоя расположен базальтовый слой. Под корой располагается так называемая верхняя мантия толщиной до 1000 км (также состоящая из слоев), а далее - нижняя мантия толщиной до 2000 км. Верхняя мантия содержит породообразующие элементы кремний и магний и называется *сима*.



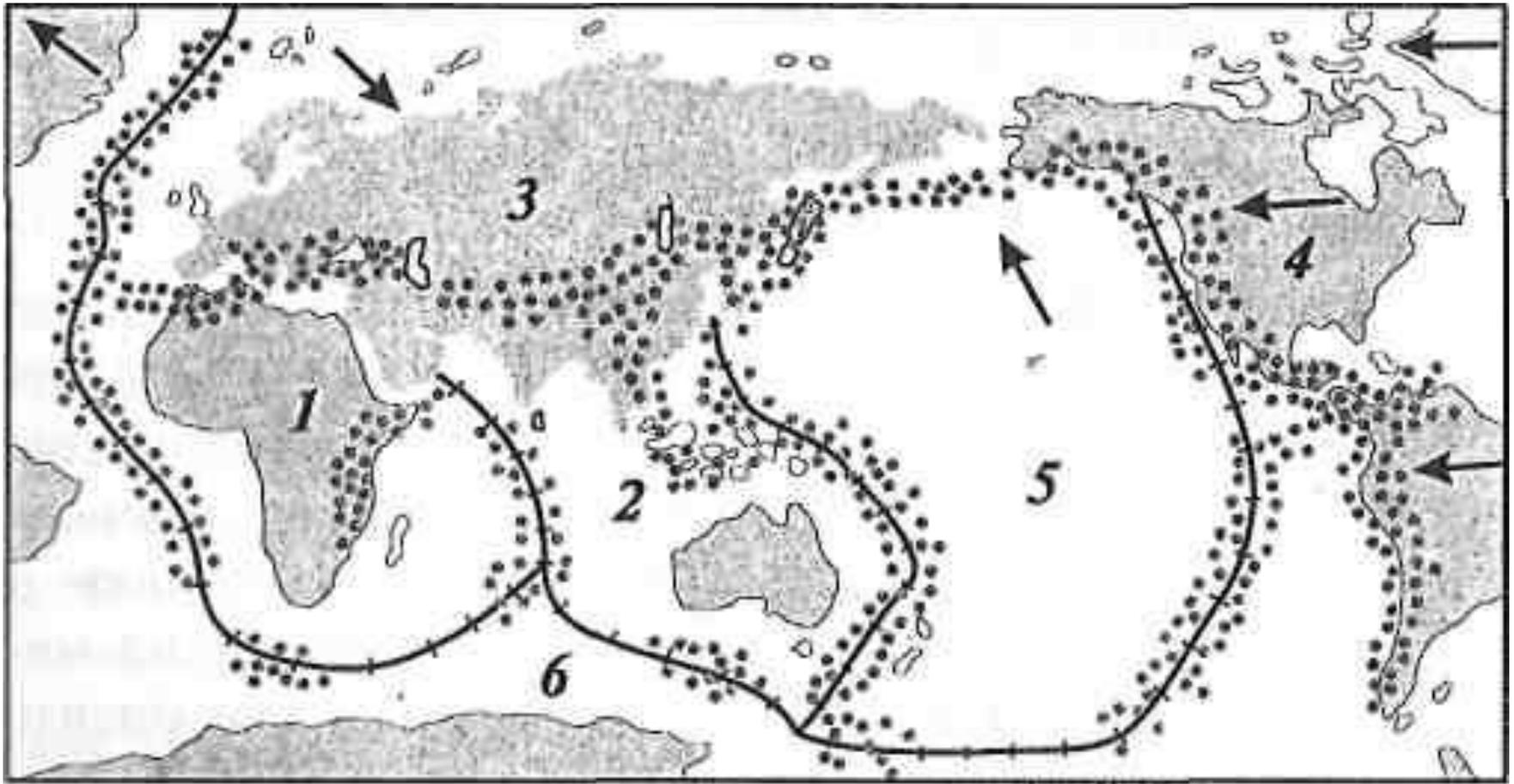
**Рис. 10. 2. Схема деления литосферы Земли на плиты: 7 - зоны океанических желобов, где плиты погружаются внутрь Земли; 8 - неуверенно проведенные границы плит; 9 - трансформные разломы; 10 - оси хребтов; 11 - направления движения плит по отношению к Африканской плите; 12 - области глубокофокусных землетрясений**

Верхний слой Земли - литосфера (земная кора с верхней частью мантии) рассечена на отдельные плиты, которые постоянно перемещаются относительно друг друга, как бы плавающая по разжиженному слою мантии (астеносфера). На этом основана теория тектоники плит. Согласно этой теории, верхняя оболочка Земли - кора и подстилающая ее верхняя мантия, образующие литосферу, вместе с расположенными на ней континентами и океанами разделена на несколько огромных плит, состыкованных, как показано на рис. 10.2. Плиты под воздействием конвекционных потоков постоянно перемещаются относительно друг друга, «плавая» по разогретому слою астеносферы. Направление движения плит показано стрелками. Так, например, расширение стыка установлено между плитами 3 и 5, что приводит к увеличению расстояния между Лондоном и Нью-Йорком примерно на 1 см в год. Плиты 1 и 5, наоборот, сжимают друг друга, что приводит к образованию горных систем, время от времени сопровождающихся землетрясениями. Отмечены также взаимные сдвиги плит, которые приводят к трещинам - трансформным разломам. Разломы фиксируют и на материках. Так, Анатолийский разлом на севере Турции приводит к большим сдвигам смежных плит, и здесь наблюдается много землетрясений. Столь же активен разлом Сан-Андреас, отделяющий узкий участок на тихоокеанском побережье США от их остальной территории.



**Рис. 10. 3. Типы границ между плитами: *а* - хребет; *б* - желоб; *в* - трансформный разлом**

Детальное изучение границ между континентальными плитами (Н. Кэлдер) позволяет наметить три основных типа границ: хребет, желоб, трансформный разлом (сдвиг) (рис. 10.3). Схема *а* представляет собой заполнение расплавленной породой расщелины, образовавшейся при отходе плит друг от друга (например, плит 3 и 5 на рис. 10.2). Схема *б* показывает границу плит при их сближении, когда одна из них изгибается и погружается под край другой, а в месте перегиба образуется желоб - океаническая впадина. Трение, возникающее при подвижках в стыкуемых элементах желоба, приводит к разогреву породы и способствует образованию вулканов. Желобам сопутствуют глубоко расположенные очаги сильных землетрясений. Большинство глубоководных желобов обрамляет Тихий океан. Во всех анализированных до сих пор случаях установлено, что по мере заглубления разломы все больше уходят в сторону от океана к континенту. На схеме *в* показано образование трансформного разлома. Так как все три схемы взаимных движений плит связаны с образованием очагов землетрясений (в районах впадин - глубоких землетрясений), то границам плит соответствует область сейсмических явлений.



**Рис. 10.4. Схематическое изображение континентальных плит и областей сейсмостойкости (точками показаны области землетрясений высокой интенсивности): 1 - Африканская; 2 - Индийская; 3 - Евразийская; 4 - Американская; 5 - Тихоокеанская; 6 - Антарктическая**

На рис. 10.4. показаны области земной коры, где по данным сейсмологов наблюдаются землетрясения высокой интенсивности (зоны или пояса сейсмичности). Нетрудно видеть, что они совпадают с границами континентальных плит.

Продолжительность основного землетрясения, как правило, составляет несколько десятков секунд, причем, в течение этого времени может быть зарегистрировано несколько основных толчков. Иногда основному землетрясению предшествуют слабые толчки, называемые *форшоками*. Часто после сильного основного землетрясения по истечении некоторого времени наблюдаются повторные толчки - *афтершоки*, объясняемые вторичными землетрясениями. Как правило, интенсивность афтершоков слабее интенсивности основного землетрясения, но иногда их воздействия сопоставимы, и тогда можно говорить о последовательности, "рое", землетрясений.

Другой причиной возникновения землетрясений может быть вулканическая деятельность. Вулканы являются одним из самых интересных и загадочных образований на планете. Раскаленные газы и лава, бурлящие в недрах вулканических гор толкают и давят на верхние слои Земли, как пары кипящей воды на крышку чайника. Вулканы делятся на действующие, уснувшие и потухшие. Вулканическая деятельность сопровождается целым рядом природных явлений, в том числе взрывами огромных количеств пара и газов, что сопровождается сейсмическими и акустическими колебаниями. Первое, из известных извержений этого вулкана относится к 1500 году до нашей эры. Районы, активной вулканической деятельности, как правило, совпадают с зонами активной сейсмической деятельности, описанными ранее.

Наконец, причиной возникновения землетрясений может служить и хозяйственная деятельность человека. Это так называемые наведенные землетрясения. Проводя подземные ядерные взрывы, закачивая в недра или извлекая оттуда большое количество воды, нефти или газа, создавая крупные водохранилища, которые своим весом давят на земные недра, человек, сам того не желая, может вызвать подземные удары.

В настоящее время выделяют следующие типы землетрясений:

**Мегалоземлетрясения.** Это достаточно редкие, почти планетарного масштаба события - фавориты в череде тектонических землетрясений. По шкале Рихтера их магнитуда более 8.5. Их энергии оказывается достаточной, что бы так "раскачать" земной шар.

**Разрушительные-катастрофические землетрясения.** Такими землетрясениями независимо от их природы издавна называют те, при которых рушатся города и погибают люди. Колебания от них могут ощущаться за тысячи километров от их эпицентров вторичным, а иногда основным поражающим факторам относятся лавины, обвалы, цунами, сели. Цунами способны вызвать огромные разрушения и большое количество жертв среди населения (например, цунами 2008 г. – погибло около 250 тыс. человек (Таиланд); цунами 2009 г. – погибло около 200 тыс. человек (Гаити) и другие случаи).

**Слабые землетрясения.** Почти ежедневно, где-то в мире происходят землетрясения, при которых здания дают трещины (но не разрушаются), звенит и разбивается посуда и другое. Особенную опасность слабые толчки представляют в горах, где могут оказаться неустойчивые горные склоны. Тогда, даже при незначительном сейсмическом колебании, произойдет их обрушение. Могут возникнуть каменные и ледовые лавины и начаться оползень.

**Микроземлетрясения.** Эти землетрясения регистрируются только в пределах локальных территорий высокочувствительными приборами. Их энергии недостаточно, что бы возбудить интенсивные сейсмические волны способные распространяться на большие расстояния.

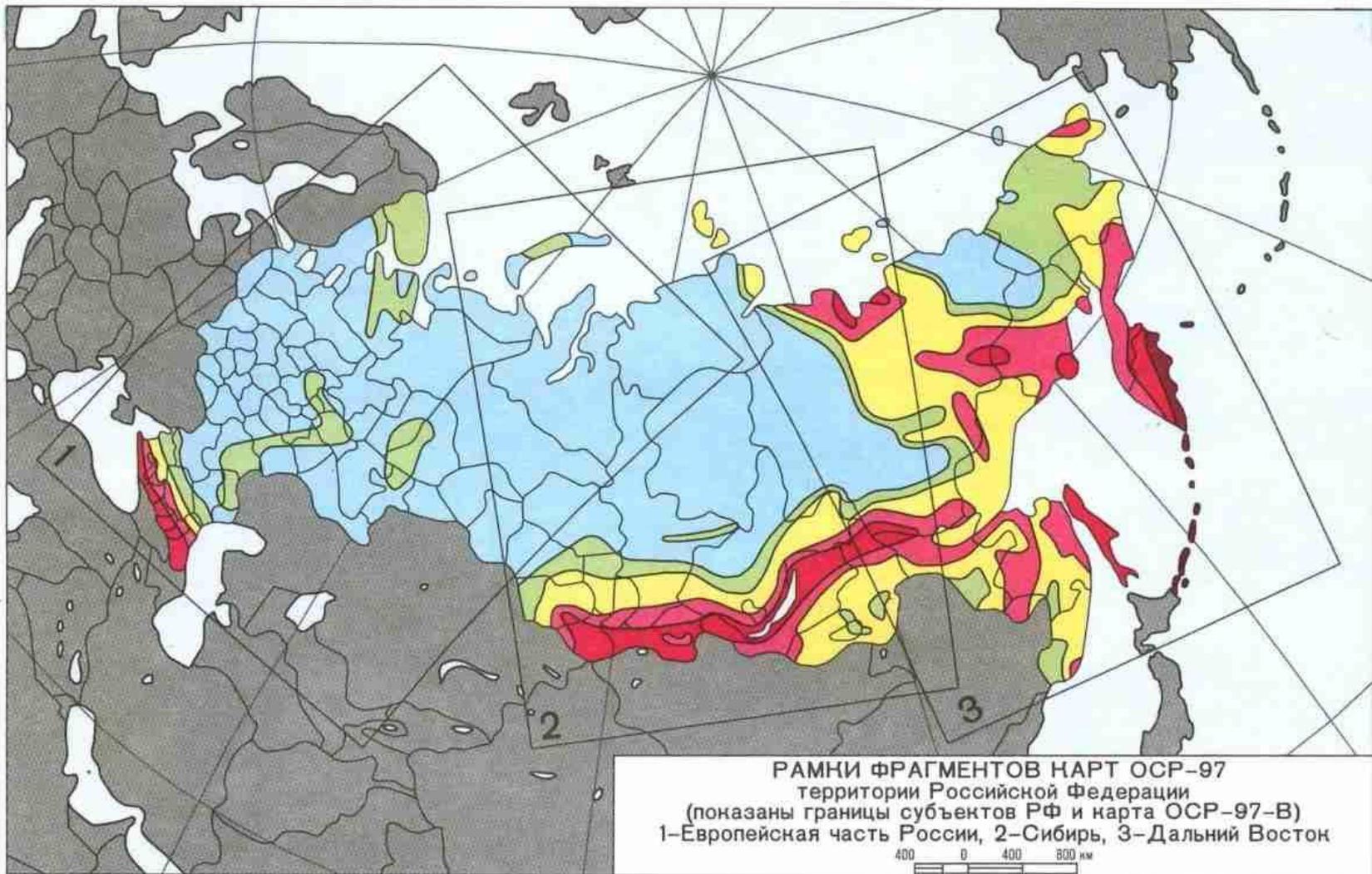
**Сейсмический шум и микросейсмы.** Еще более слабые толчки и трески - сейсмический шум и микросейсмы практически непрерывен. Он порождается целым комплексом явлений - от более сильных землетрясений до атмосферных явлений на поверхности земли и уже относиться к микросейсмическим явлениям.

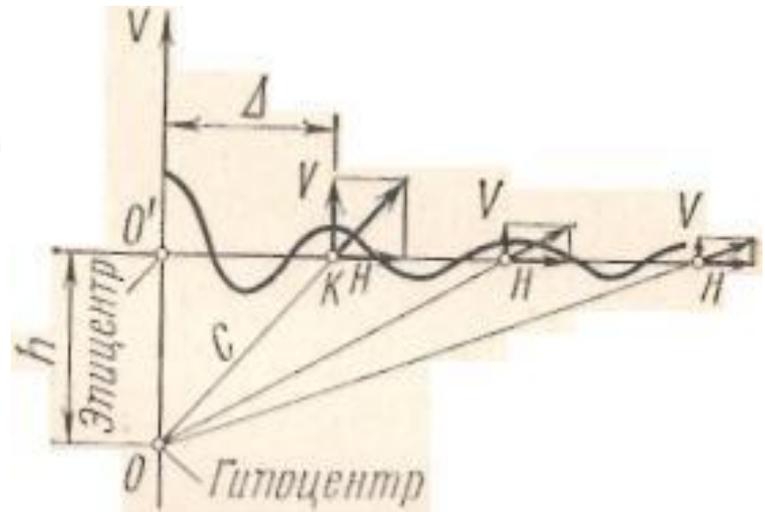
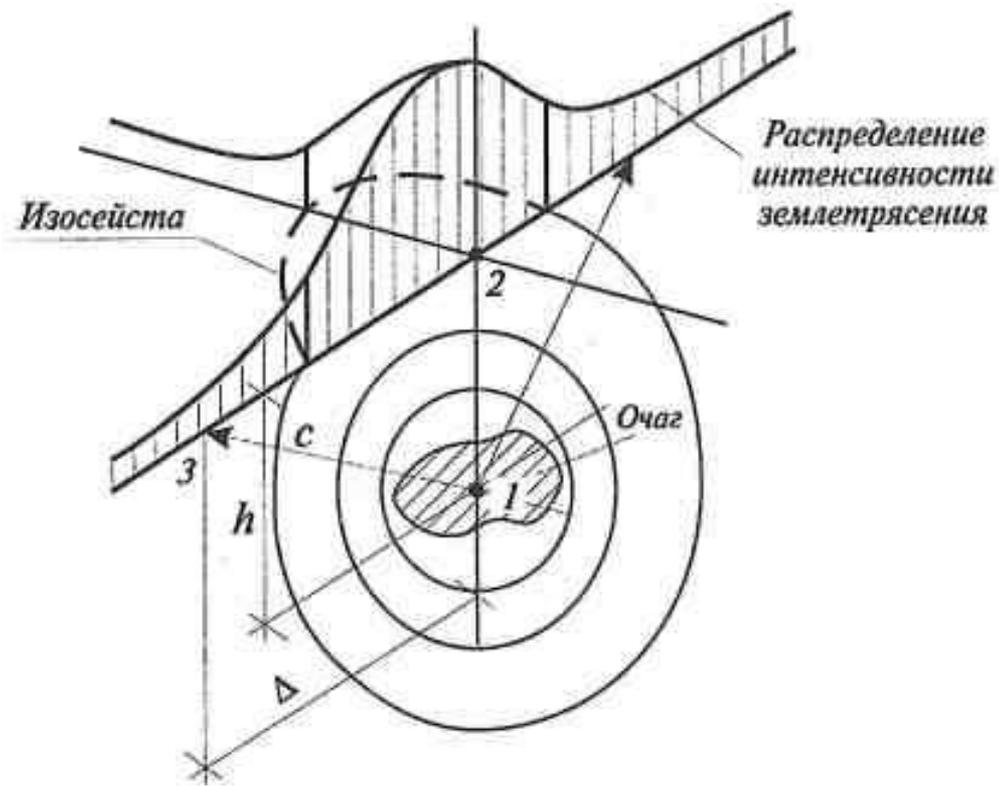
**Обвальные землетрясения.** Из-за вымывания известковых пород подземными водами образуются карсты, более тяжелые породы давят на образующиеся пустоты и они иногда обрушаются, вызывая землетрясения. В некоторых случаях, за первым ударом следует другой или несколько ударов с промежутком в несколько дней. Это объясняется тем, что первое сотрясение провоцирует обвал горной породы в других ослабленных местах. Подобные землетрясения называют еще *денудационными*.

Землетрясения классифицируются в зависимости от глубины расположения их очагов. Нормальными (поверхностными) называются землетрясения при глубине их очага до 70 км. Это основное количество землетрясений. При глубине очага более 300 км землетрясения называются глубокофокусными. Такие землетрясения редки, они отличаются большой величиной выделенной энергии.

В зависимости от эффекта проявления на поверхности Земли землетрясения классифицируются по их интенсивности в баллах. Ожидаемая для каждого района максимальная величина интенсивности - *сейсмичность* - различна.

На территории России созданы карты ОСР-97-А, ОСР-97-В и ОСР-97-С отражают 10%-, 5%- и 1%-ную вероятность возможного превышения (или 90%-, 95%- и 99%-ную вероятность непревышения) в течение 50 лет интенсивности сейсмических воздействий, указанных на картах цифрами в баллах шкалы MSK-64, и соответствуют повторяемости сейсмических потрясений в среднем один раз в 500 (карта А), 1000 (В) и 5000 (С) лет.





**Рис. 10.2.1. Модель схемы землетрясения:**

1 - гипоцентр (фокус); 2 - эпицентр;

h - глубина очага; Δ-эпицентральное расстояние;

c - гипоцентральное расстояние  $c = \sqrt{h^2 + \Delta^2}$

Основной характеристикой землетрясения является его интенсивность, определяющая оценку мощности очага. В настоящее время для оценки мощности, или интенсивности землетрясения, используются два подхода: инструментальный и описательный, основанный на регистрации повреждений зданий, остаточных явлений в грунтах, изменений гидрогеологического режима и прочих признаков. В основе инструментального подхода лежит понятие магнитуды (авторы Ч. Рихтер и Б. Гутенберг, США).

Магнитуда  $M$  характеризует происшедшие явления в очаге землетрясения, но не дает информации о разрушительном эффекте его на поверхности Земли, который оценивается интенсивностью  $I$  в баллах. Выявлена приближенная эмпирическая зависимость между  $M$  и  $I$  (баллы):

$$I = 1,5M - 3,5 \lg + 3$$

## **Сокращенная модифицированная шкала Меркалли (ММ) –**

**соответствует шкале ИФЗ АН (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 направление 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.*

*VIII. Людям трудно устоять на ногах. Замечается водителями транспорта, Подвешенные предметы начинают дрожать. Ломается мебель. Повреждения непрочной кирпичной кладки, включая трещины. Непрочные дымовые трубы разрушаются. Падает 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 прочной 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.*

*X. 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.*

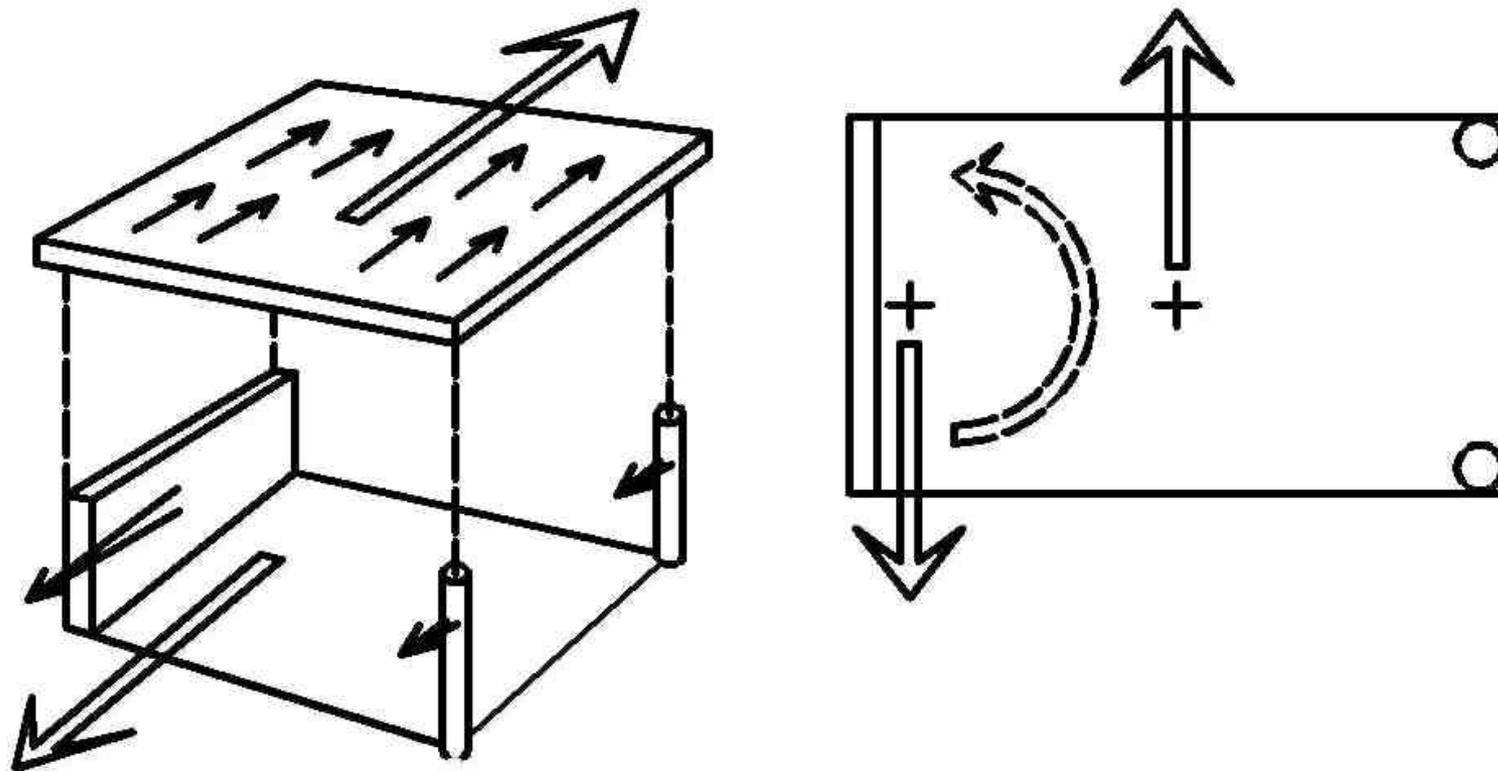
*XI. Значительные искривления рельсов. Подземные коммуникации полностью выходят из строя.*

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

Категория грунтов	Грунты	Сейсмичность площадки строительства в баллах при сейсмичности района		
		7	8	9
<b>I</b>	Скальные грунты всех видов (в т. ч. вечномёрзлые и вечномёрзлые оттаявшие) неветрелые и слабоветрелые; крупнообломочные грунты плотные маловлажные из магматических пород содержащие до 30% песчано-глинистого заполнителя; ветрелые и сильно ветрелые скальные и нескальные твердомерзлые (вечномёрзлые) грунты при температуре минус 2° С и ниже при строительстве и эксплуатации по принципу I (сохранение грунтов основания в мерзлом состоянии)	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>II</b>	Скальные грунты ветрелые и сильноветрелые, в т. ч. вечномёрзлые, кроме отнесенных к I категории; крупнообломочные грунты, за исключением отнесенных к I категории; пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные и средней плотности маловлажные и влажные; пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности маловлажные; глинистые грунты с показателем консистенции $I_L < 0,2$ при коэффициенте пористости $e < 0,9$ — для глин и суглинков и $e < 0,7$ — для супесей; вечномёрзлые нескальные грунты пластично-мерзлые или сыпучемерзлые, а также твердомерзлые при температуре выше минус 2° С при строительстве и эксплуатации по принципу I	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>III</b>	Пески рыхлые, независимо от влажности и крупности; пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные и средней плотности водонасыщенные; пески мелкие и пылевые плотные и средней плотности влажные и водонасыщенные; глинистые грунты с показателем консистенции $II > 0,5$ ; глинистые грунты с показателем консистенции $II < 0,5$ при коэффициенте пористости $e > 0,9$ — для глин и суглинков и $e > 0,7$ — для супесей; вечномёрзлые нескальные при строительстве и эксплуатации по принципу II (допускается оттаивание грунтов основания)	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>&gt;9</b>

**Передача нагрузок** в виде перемещений, колебаний на здание происходит следующим образом. При землетрясении нагрузки (в виде перемещений, колебаний) передаются через грунты основания на конструкции фундаментов и стен подвалов, и, через них, на перекрытия подвалов. Далее нагрузки (в виде перемещений, колебаний) передаются на вертикальные конструкции первого этажа, перекрытие первого этажа, вертикальные конструкции второго этажа, перекрытие второго этажа и т.д. Конструкции здания, получив перемещение в виде сейсмического толчка, и, соответственно, получив некоторую потенциальную энергию из-за возникших при этом деформаций, стремятся вернуться в исходное состояние, используя силы упругости путем перехода потенциальной энергии в кинетическую. Пройдя начальное положение, конструкции продолжают двигаться по инерции (т.к. кинетическая энергия в нулевой точке не погашена) и переходят в положение, противоположное начальному отклонению. Так в здании возникают колебания как следствие проявления сил инерции, создаваемых перемещениями массы здания.

# КРУЧЕНИЕ. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗДАНИЙ



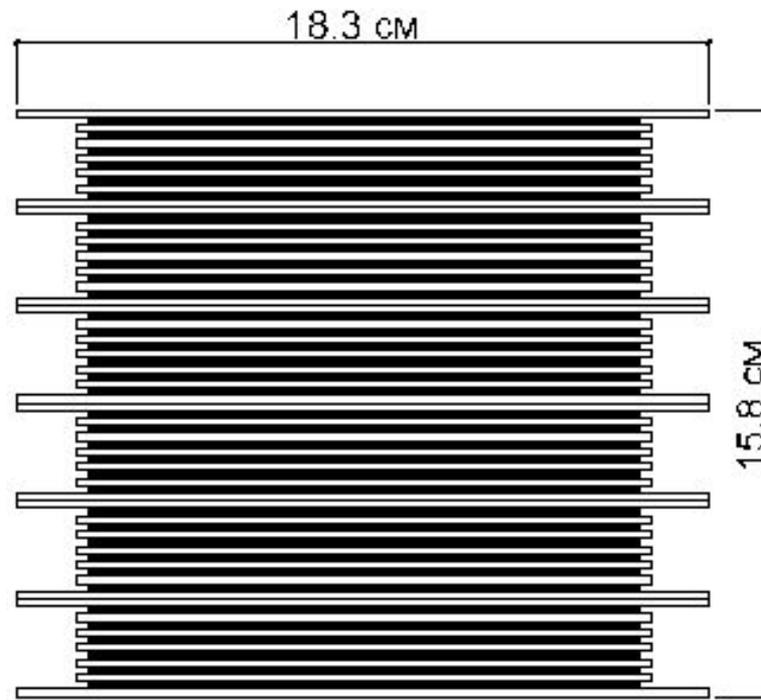
**Кручение в здании простой конфигурации**

Общая компоновка конструкций сейсмостойкого здания предусматривает такое расположение несущих вертикальных конструкций (рам, связевых диафрагм и других конструктивных элементов), при котором удовлетворяются требования симметричности и равномерности распределения масс и жесткостей. При этом следует иметь в виду, что конструктивные меры, повышающие пространственную жесткость здания в целом, вместе с тем повышают и его сейсмостойкость. План здания должен быть простым, в виде прямоугольника, без выступающих пристроек и углов. При сложных очертаниях здания в плане устраивают антисейсмические швы, разделяющие здание на отдельные блоки простой прямоугольной формы. Чтобы повысить сейсмостойкость здания, фундаменты в пределах одного блока должны залегать на одной глубине.

Связевые каркасы работают подобно диафрагмам, 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.

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 воспринять изгибающий момент. Стыки находятся в условиях большого напряжения, поэтому детали их конструкции являются особенно важными. Рамные каркасы обычно выполняются в металле с жесткими сварными швами или в железобетоне, обеспечивая несущую способность конструкции стадией неупругой работы до начала разрушения.

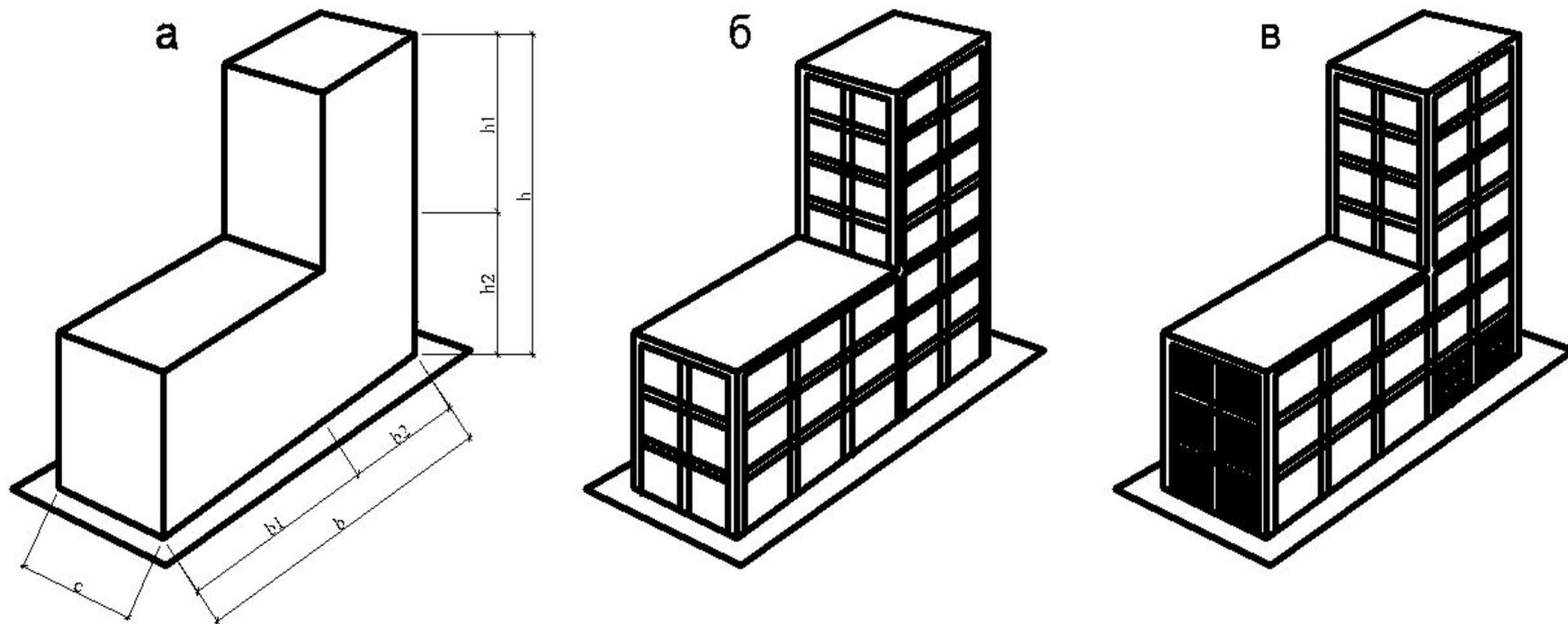
Ненесущие элементы здания иногда могут включаться в работу несущей системы, предназначенной для восприятия горизонтальных нагрузок.



**Конструкция сейсмоизоляции фундамента типа "сэндвич", выполненная из стальных пластин и резиновых прокладок**

Одним из эффективных методов возведения многоэтажных зданий в районах повышенной сейсмичности является применение сейсмоизолирующих опор. Они снижают расчетную сейсмическую нагрузку с 8- до 6-баллов. Анализ показал, что принципы влияния конфигурации здания при этом сохраняются.

# КОНФИГУРАЦИЯ



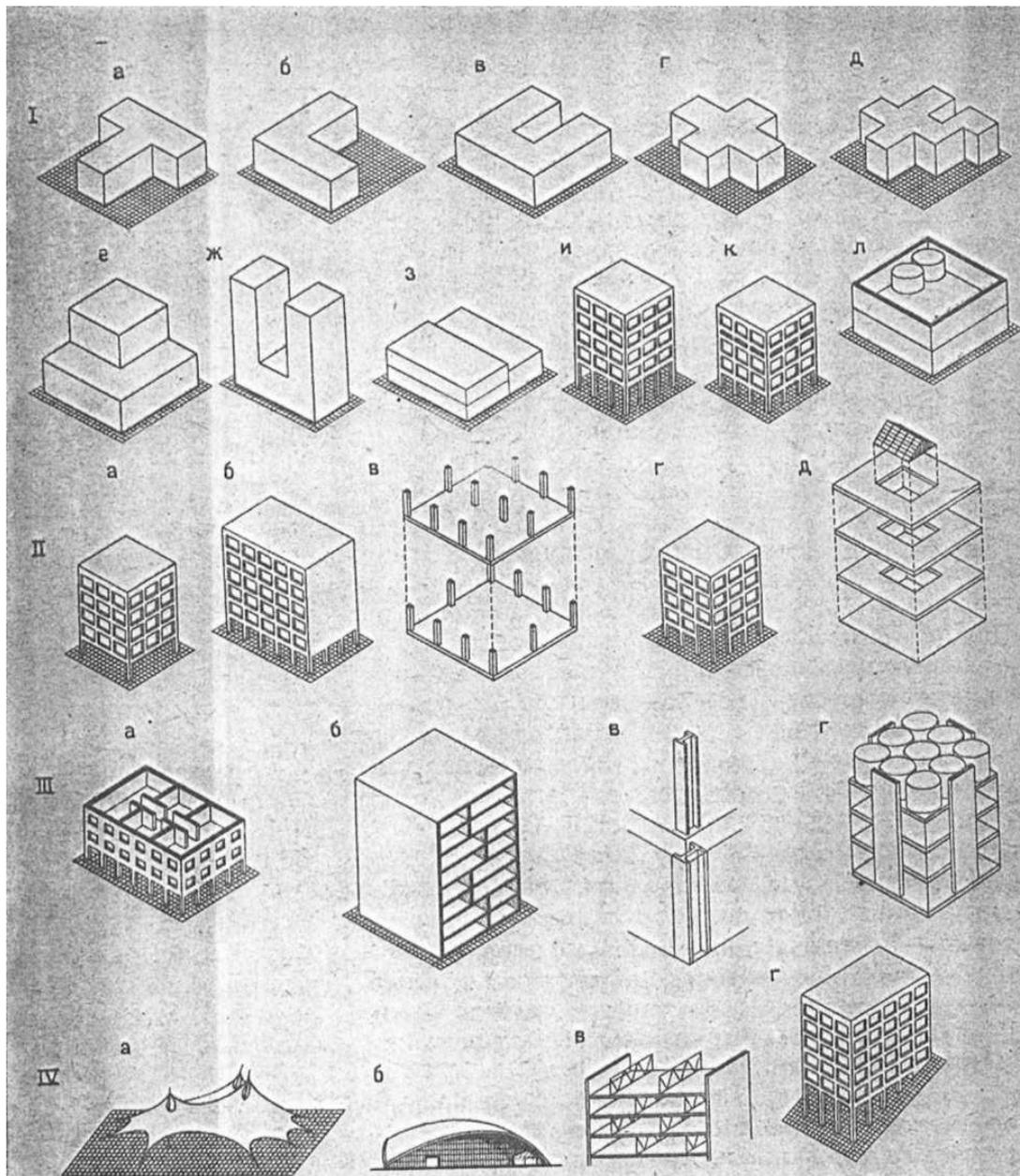
**Определение конфигурации, принятое в настоящей книге, включает три понятия:**

а - размер и форма; б - характер, размер и проектное положение всех несущих элементов конструкции; в - характер, размер и проектное положение всех ненесущих (но важных) элементов конструкции

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 здания в плане.

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. 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 конструкции при землетрясении. Поэтому принятое здесь понятие *конфигурации* выходит за рамки понятия формы здания, которое ограничено общими контурами или функциональным характером 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 технологий производства строительных работ; то и другое взаимосвязанные процессы одинаковой важности, обеспечивающие надежность и эффективность эксплуатации здания и сооружения. Поэтому за проектирование сейсмостойких конструкций в равной степени отвечают как инженер, так и архитектор.



**Изображение понятия "конструкции нерегулярной формы и рамные каркасы":**

**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 - прерывистость 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.

**Размеры зданий.** 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. Для малых зданий с деревянным каркасом влияние конфигурации на работу при сейсмическом воздействии может быть невелико. Причина 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, объемы ремонта будут невелики.

**Высота здания.** На первый взгляд увеличение высоты здания может показаться эквивалентным увеличению пролета консольной балки. Но это не 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. Обычно землетрясения вызывают интенсивные перемещения грунта с высоким ускорением и периодом основных колебаний не более 0,5 с. Следовательно, здание высотой более 20 этажей с основным периодом колебаний более 1 с будет испытывать меньшее ускорение массы, чем здание высотой в 5-10 этажей с периодом колебаний 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.

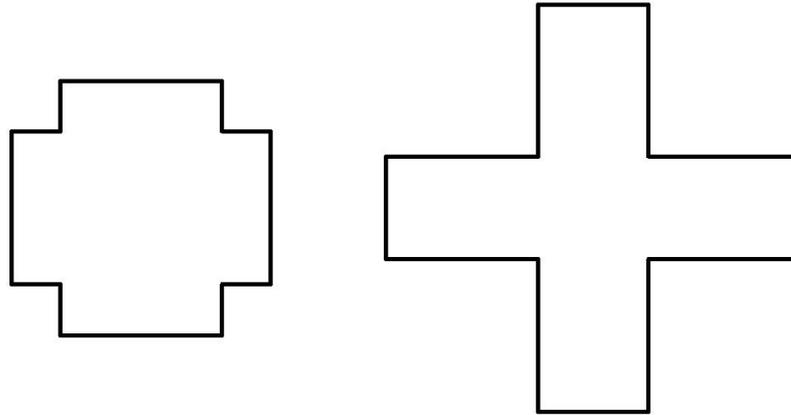
**Горизонтальные размеры.** Кроме опрокидывающих усилий, возрастающих с увеличением высоты зданий и сооружений, при действии землетрясения отрицательно сказываются слишком большие размеры плана. Если план велик, даже если он симметричен и имеет простую форму, здание как единое целое не всегда может оказывать сопротивление воздействию сейсмических волн. 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, 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. При прочих равных других условиях эти усилия будут тем более существенны, чем большей будет длина сооружения.

**Геометрические пропорции.** При проектировании сейсмостойких конструкций геометрическая пропорция здания важнее его абсолютных размеров. Для зданий повышенной этажности гибкость здания имеет большее значение, чем просто высота. Чем больше гибкость, тем пагубнее воздействие опрокидывающего момента во время землетрясения и больше вызываемые им усилия в конструкциях наружных колонн. Специалисты предлагают принять величину гибкости для зданий не более 4. Так как требования внутренней архитектурно-планировочной структуры административных зданий предусматривают ширину здания в плане около 16-18 м, то ограничение гибкости величиной 4 допускает возможность осуществления строительства приблизительно 20-этажных зданий, что характерно для большинства проектов обычного функционального назначения. Поэтому указанное требование в этих случаях соблюдается автоматически. Вопреки зрительным впечатлениям американские небоскребы не всегда имеют высокую гибкость. Сравнительные гибкости некоторых многоэтажных зданий составляют: для 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.

**Симметрия.** 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. 12.4.3). *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.

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.

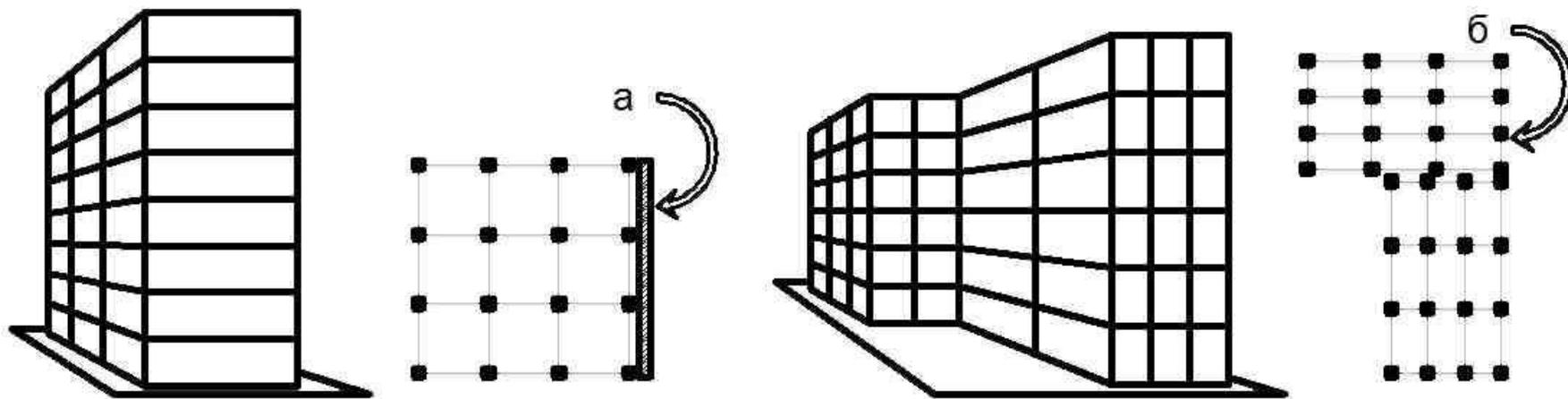


### **Планы зданий**

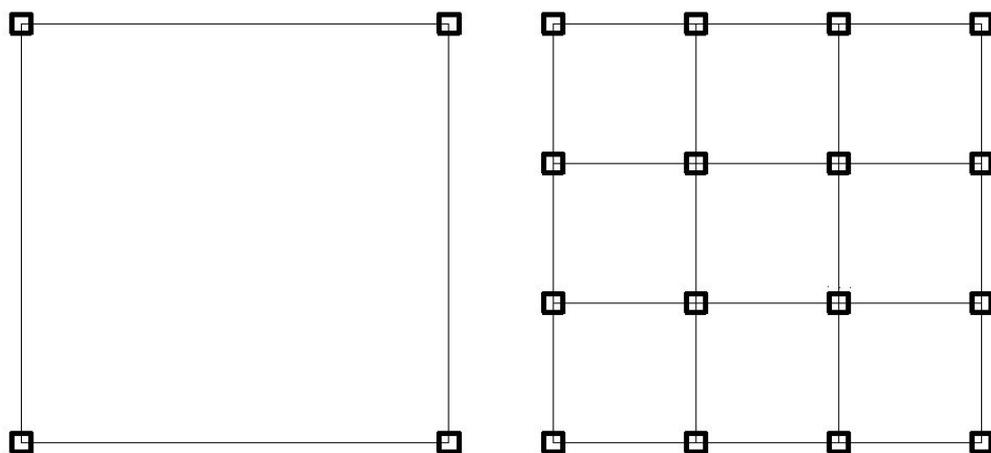
Кроме того, несимметричность конструкций часто приводит к концентрации напряжений. Концентрация напряжений возникает у надрезов входящих углов зданий. Но решение плана здания с входящими углами не обязательно должно быть асимметричным (здание крестообразное в плане может иметь симметричную форму).

*Отсюда вывод:* для уменьшения концентрации напряжений одной симметричности не достаточно; при решении планов здания необходимо соблюдать другое требование - простоту конфигурации (конфигурация выпуклого типа)

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. В этом случае можно применить термин "псевдосимметрия", который подчеркивает, что в понятие симметрии вкладывается не только симметрия геометрически формы плана и расположения наружных элементов, но и внутренняя компоновка несущих и ненесущих элементов конструкций зданий и сооружений. 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.



**Асимметричные конфигурации, которые фактически являются симметричными: а - несущее заполнение; б - антисейсмические разделительные швы**

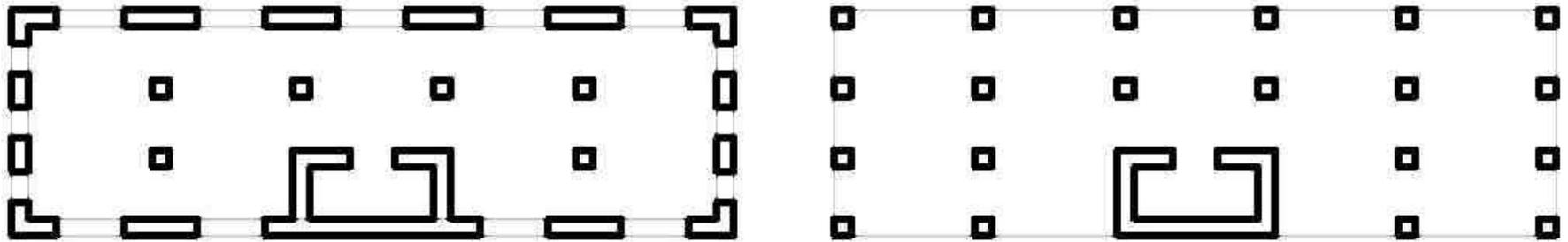


**Планы зданий с различным насыщением конструктивными элементами**

**Распределение и концентрация усилий.** В условиях воздействия реальной сейсмической нагрузки возможны различные варианты разрушения элементов конструкций; 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 прикладываемым 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.

**Конструктивные решения (плотность плана).** Размер и количество несущих элементов в зданиях и сооружениях, построенных в предыдущие века, значительно превышают те, которые предусматриваются в современных архитектурно-планировочных решениях. В зданиях повышенной этажности с большой гибкостью наблюдаются 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 следующие: здание со свободным первым этажом (опирающееся на стойки), жилой дом или гостиница с просторным помещением гаража в нижнем этаже (с колоннами, расположенными на большом расстоянии друг от друга) и т.д.

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. Например, типовое 10- или 20-этажное здание с несущим металлическим или железобетонным рамным каркасом контактирует 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, это отношение равно 15%.



### **Отношение длины стенового заполнения к площади пола для двух зданий**

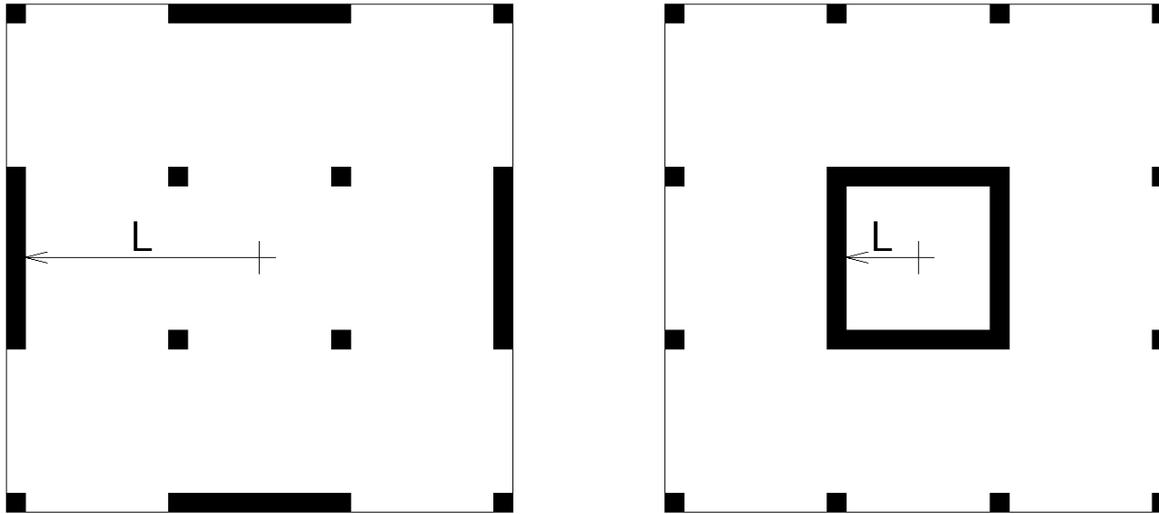
Понятием, аналогичным плотности конструктивной схемы, является количественный показатель протяженности стен здания (т.е. связь между длиной стен зданий каркасной системы и объемом повреждений от землетрясения).

Выявлено:

- при объеме проемов в наружных стенах свыше 40% возникали повреждения стен;
- в каркасных конструкциях с небольшим количеством стен, воспринимающих сейсмическую нагрузку, объем повреждений зависит от количества стен (в самих стенах возникает много трещин от сдвига, но в колоннах и балках каркаса были только незначительные трещины).

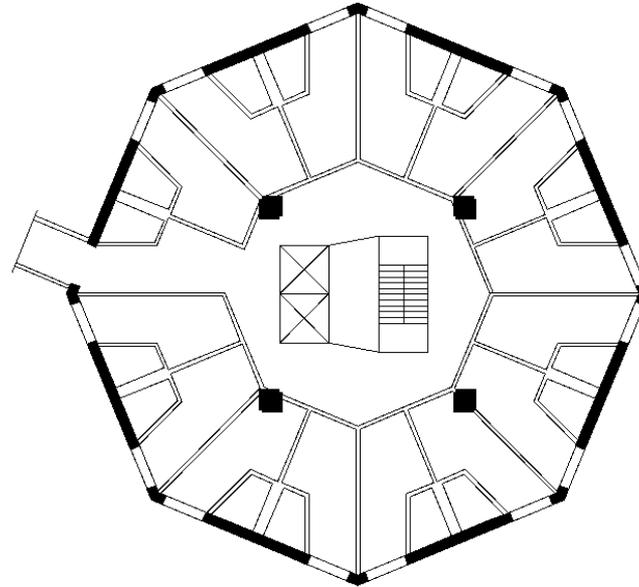
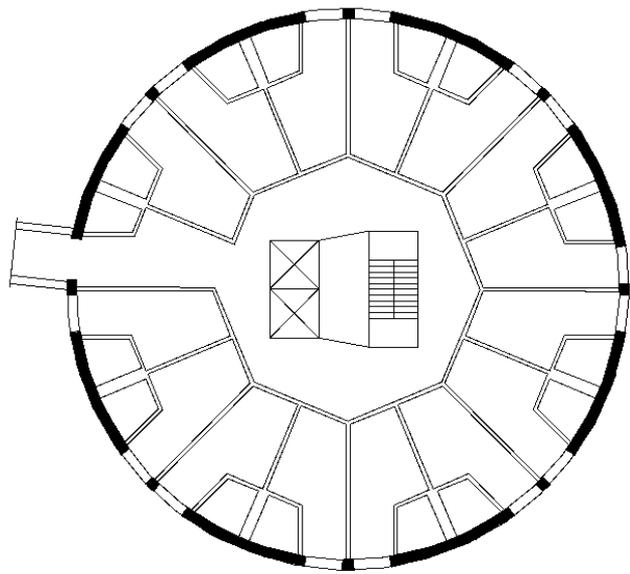
**Углы зданий.** Углы зданий являются особой проблемой проектирования сейсмостойких конструкций. Движение грунта по диагонали к зданию может создавать напряжения в его конструкциях (особенно в угловых элементах), которые значительно больше тех, которые возникают вдоль основных осей. В углах здания прогиб 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 следующем рисунке 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. При проектировании сейсмостойких конструкций рекомендуется уделять особое внимание явлениям кручения.



**Проектное положение вертикальных диафрагм для восприятия моментов кручения и опрокидывания:  $L$  - плечо рычага**

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

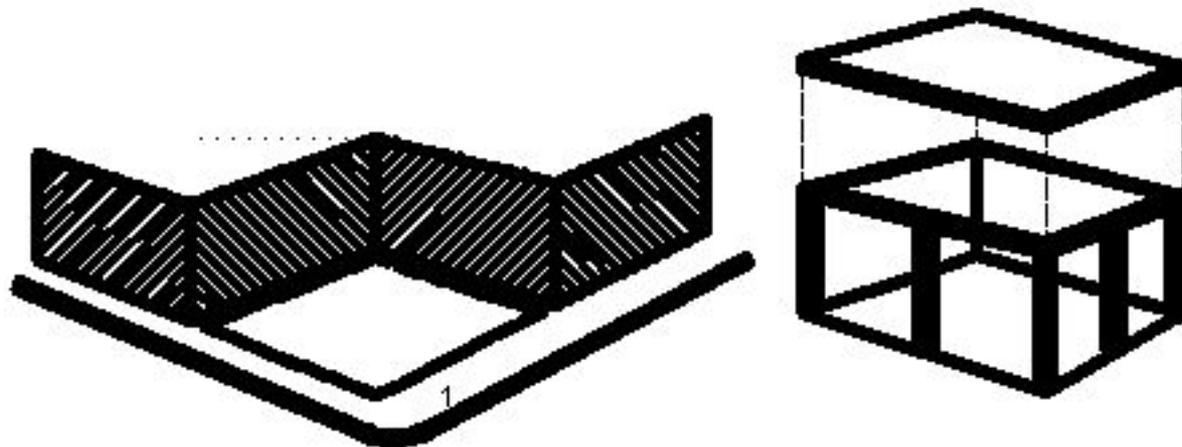


## **Целесообразное расположение несущих элементов по периметру здания**

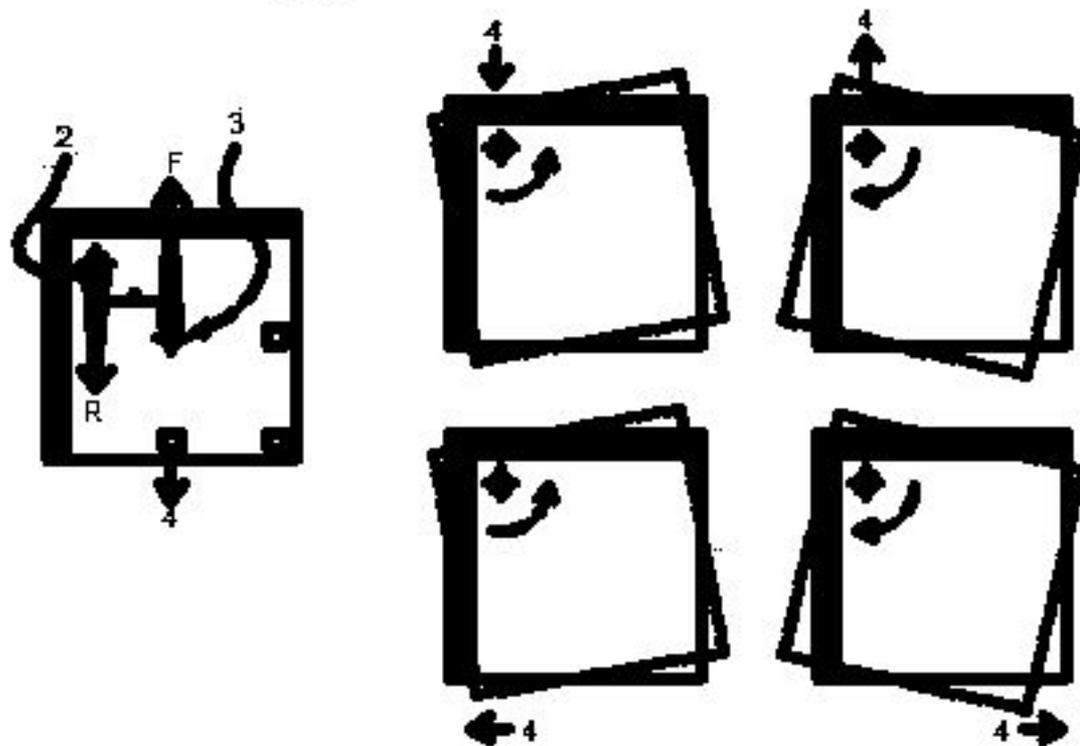
Здания круглые в плане, имеющие одинаковую несущую способность во всех направлениях, в наибольшей степени отвечают требованиям сейсмостойкого проектирования, учитывающим те неопределенности, которые могут возникнуть во время землетрясения. Принимая вероятность воздействия сейсмических нагрузок по любому из возможных направлений, следует также говорить о неодинаковости сейсмических движений грунта в разных направлениях.

# НАРУШЕНИЕ СИММЕТРИИ ПРОСТЫХ ПЛАНОВ

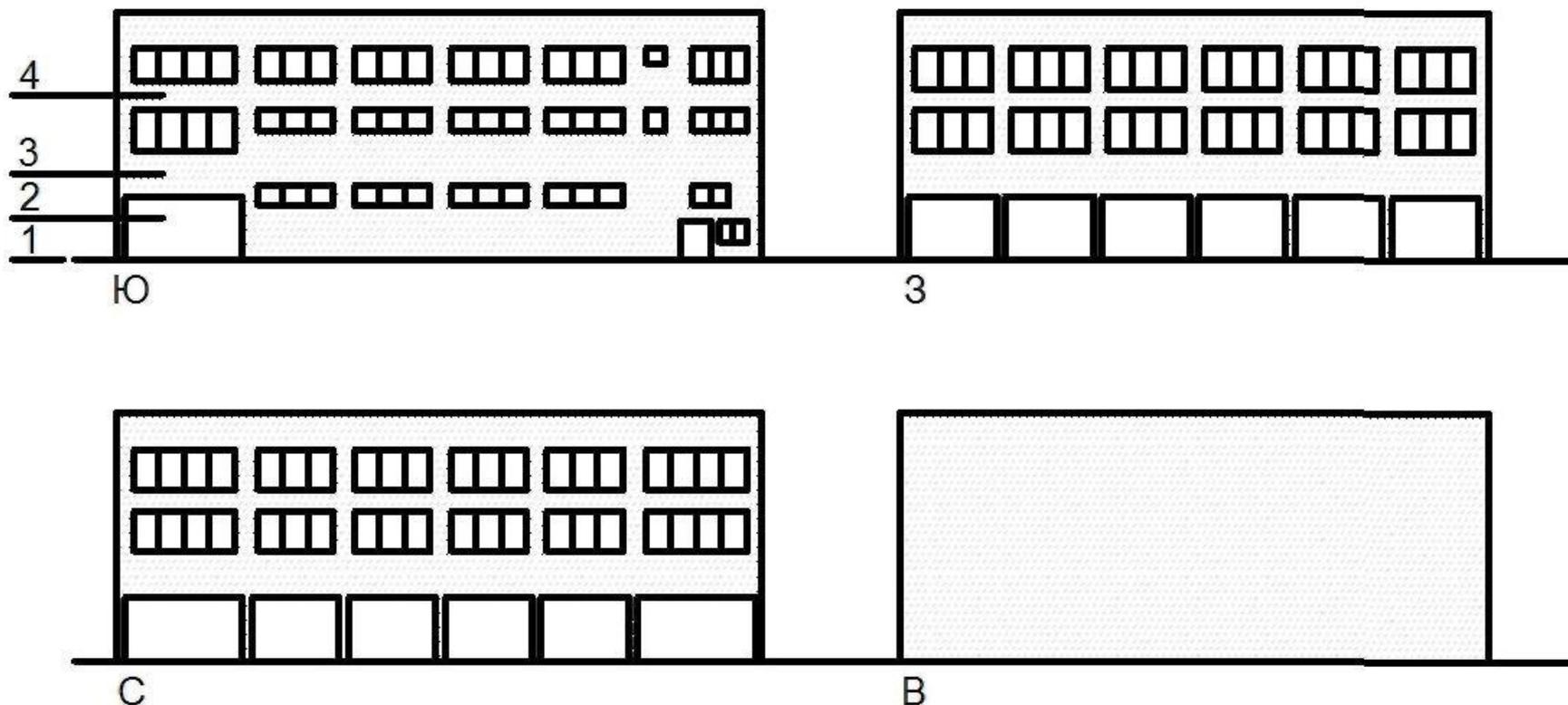
**Изменение прочности и жесткости по периметру конструкций.** На работу здания в условиях воздействия сейсмических нагрузок большое влияние оказывают конструктивные особенности элементов по периметру. В случае большого изменения прочности и жесткости в элементах, расположенных по периметру здания или сооружения, центр распределения масс не совпадает с центром жесткостей, в результате чего крутящие моменты будут стремиться повернуть здание вокруг центра жесткостей



**Неуравновешенное сопротивление в горизонтальной плоскости. Реактивное усилие  $R$  и инерционная нагрузка  $F$  приложены внецентренно.**



1 - угловой участок; 2 - центр вращения; 3 - центр масс в горизонтальной плоскости; 4 - перемещение грунта



**Фасады здания магазина Брока, показывающие различные варианты  
расположения оконных проемов**

*1 - 1-й этаж; 2 – мезонин (антресоли); 3 - 2-й этаж; 4 - 3-й этаж*

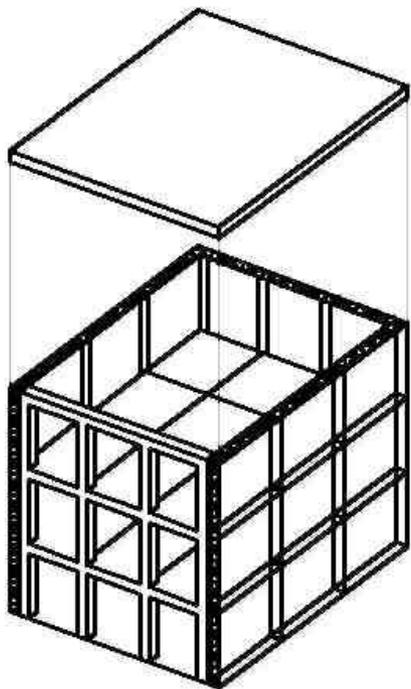
Магазин Брока серьезно пострадал во время землетрясения в 1952 г. в Керн-Каунти, Калифорния. Фасады этого здания выходят на три улицы, и поэтому конструктивное решение включало каркасную систему с оконными проемами. Четвертая сторона периметра здания примыкала к соседнему дому и была выполнена сплошной. Неравномерное распределение жесткости элементов в плане вызвало большие разрушения в результате кручения. Согласно проведенным расчетам на жесткость южной стены второго этажа приходилось от 80 до 90% суммарной жесткости элементов этого этажа в направлении запад-восток.

Основная цель любого решения данной проблемы заключается в уменьшении 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 ненесущих элементов, не оказывающих влияния на работу каркаса при воздействии сейсмических нагрузок. В этом случае могут использоваться легкие материалы или полностью изолированное от каркаса заполнение из тяжелых материалов, таких, как железобетон кирпичная кладка. Жесткая диафрагма отделена от трех гибких стен, усиленных каркасом с разделительным швом, который позволяет независимое перемещение.

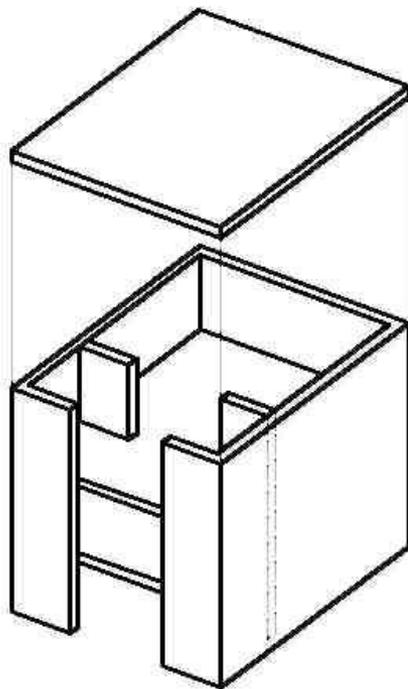
Второе - увеличение жесткости открытых фасадов за счет установки дополнительных диафрагм, располагаемых у открытых фасадов или вблизи них. Выбор решения зависит от особенностей данного проекта.

Третье - использование в конструкции открытых фасадов усиленных рамных или связевых каркасов, которые по прочности и жесткости приближаются к сплошным стеновым элементам. Выбор этого решения зависит от размера фасада в плане: жесткость длинноразмерной металлической рамы не может приблизиться по жесткости к такой 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.

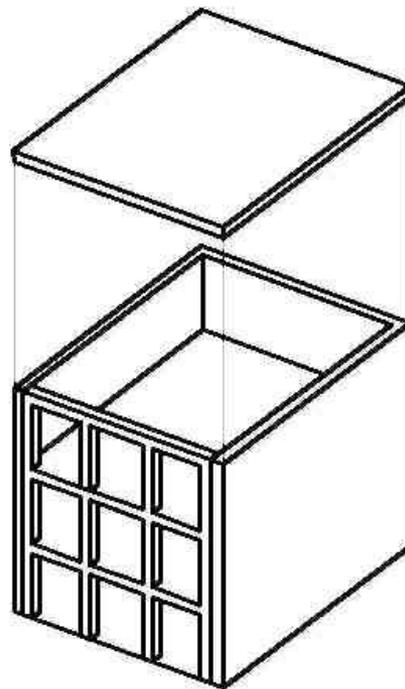
Четвертое – расчет конструкций осуществляется на основе допущения о возможности кручения. Такое решение пригодно только для сравнительно небольших сооружений с жесткими диафрагмами, конструкция которых обеспечивает совместность их работы.



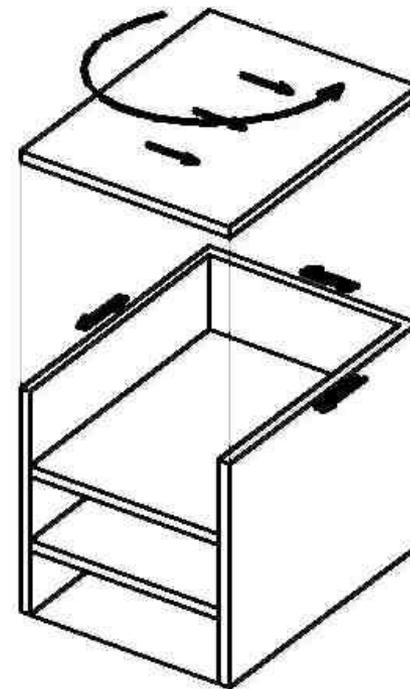
***Решение 1.***  
Рамная  
конструкция с  
равной  
прочностью и  
жесткостью по  
периметру



***Решение 2.***  
Поперечные  
диафрагмы  
добавлены вблизи  
открытого фасада



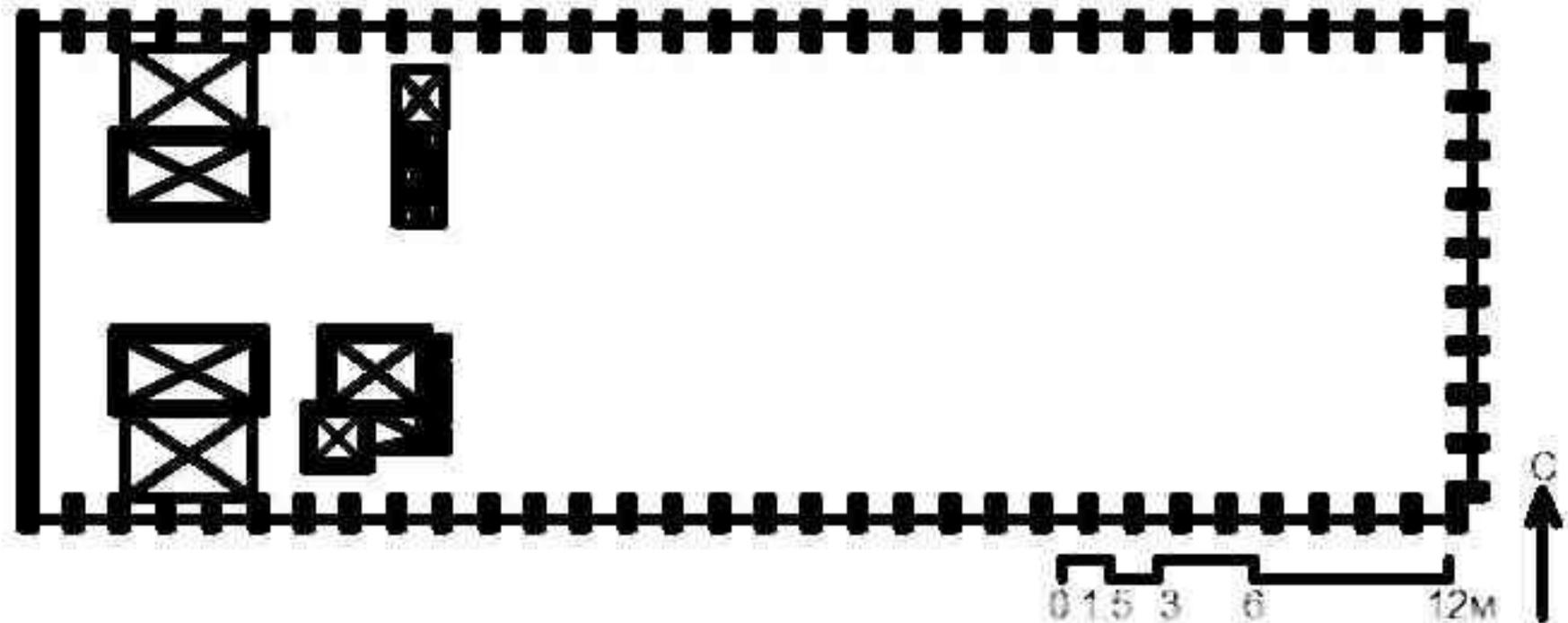
***Решение 3.***  
Жесткие рамные  
или связевые  
каркасы встроены  
в стену фасада



***Решение 4.***  
Открытый  
фасад, фактор  
кручения учтен  
при расчете

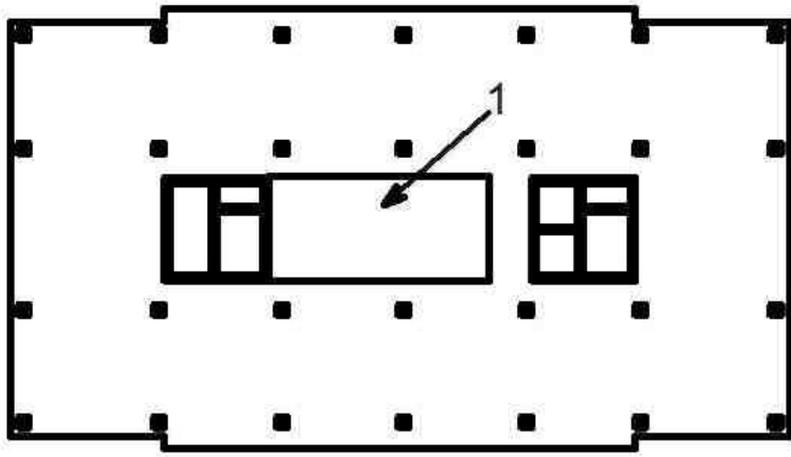
## **Проектное положение ядер (стволов) жесткости. Псевдосимметрия.**

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 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 в условиях сейсмического воздействия. 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.

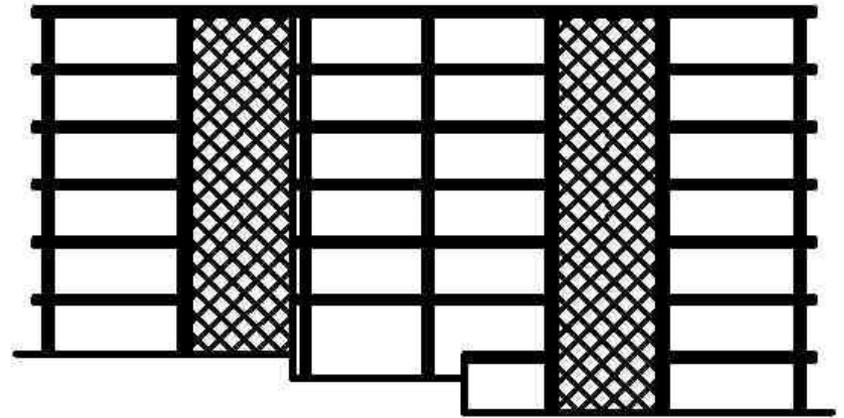


### План здания Банко Централь, Манагуа

Здание жилого дома Фор Сизонз в г. Анкоридж, Аляска, представляло собой шестиэтажную железобетонную конструкцию, возведенную методом подъема этажей, с простым прямоугольным планом и двумя симметрично расположенными железобетонными стволами жесткости: один - для лифта, другой - для лестничной клетки. Ствол, расположенный в южной части здания, был частично изолирован от перекрытия вырезом по каждому этажу. Во время землетрясения это совершенно новое здание было полностью разрушено.

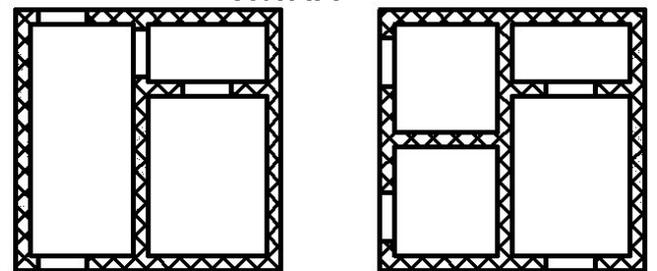


План и разрез (1- проем)

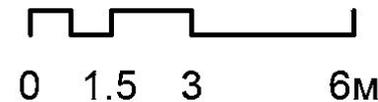


**План и разрез жилого дома  
Фор Сизонс, землетрясение в  
г. Анкоридж 1964 г.**

1 - южное ядро; 2 - северное



1 2

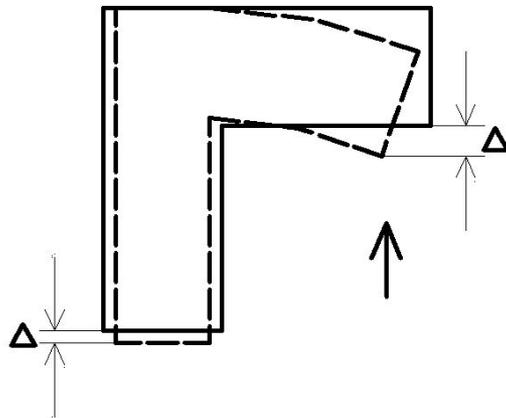
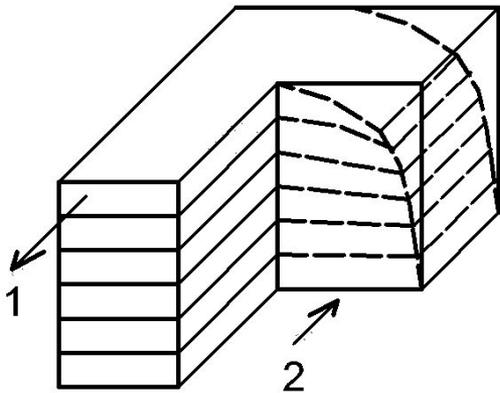


С точки зрения архитектурно-планировочного решения здание имело три основных недостатка:

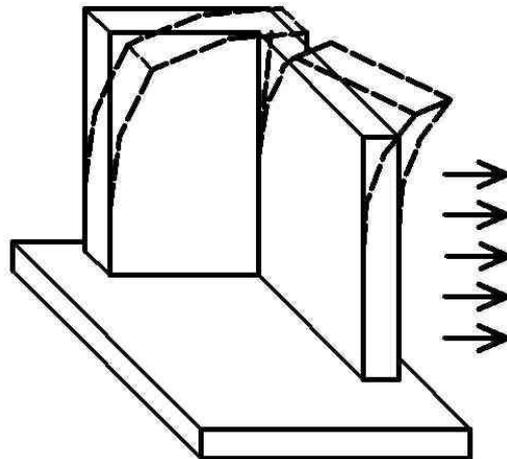
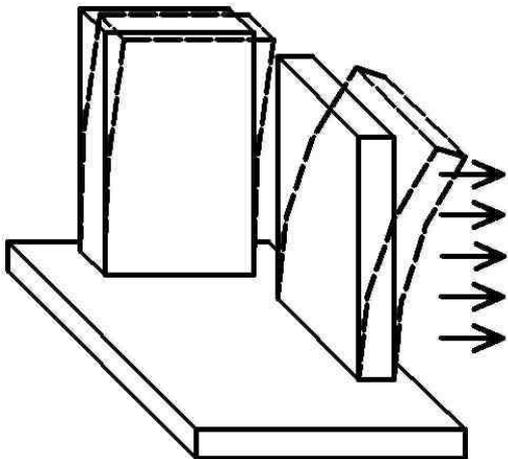
1. две шахты не были соединены между собой в уровне фундамента (см. разрез);
2. несмотря на то, что внешне обе шахты кажутся одинаковыми, стены северной шахты создали значительно большую жесткость сечения, а следовательно, и псевдосимметрию, в результате чего несущая способность на действие изгибающих нагрузок этой шахты превышала на одну четверть несущую способность южной шахты;
3. за счет проема атриума в перекрытиях (которой расположен между двумя стволами жесткости здания) уменьшилась площадь контакта перекрытия и ядра.

Кроме того, здание построено на местности с большим перепадом отметок, имеет разное количество этажей (фундаменты неразрезные, в разных уровнях) и не имеет деформационных швов, а покрытие в одном уровне.

# ВХОДЯЩИЕ УГЛЫ ЗДАНИЙ



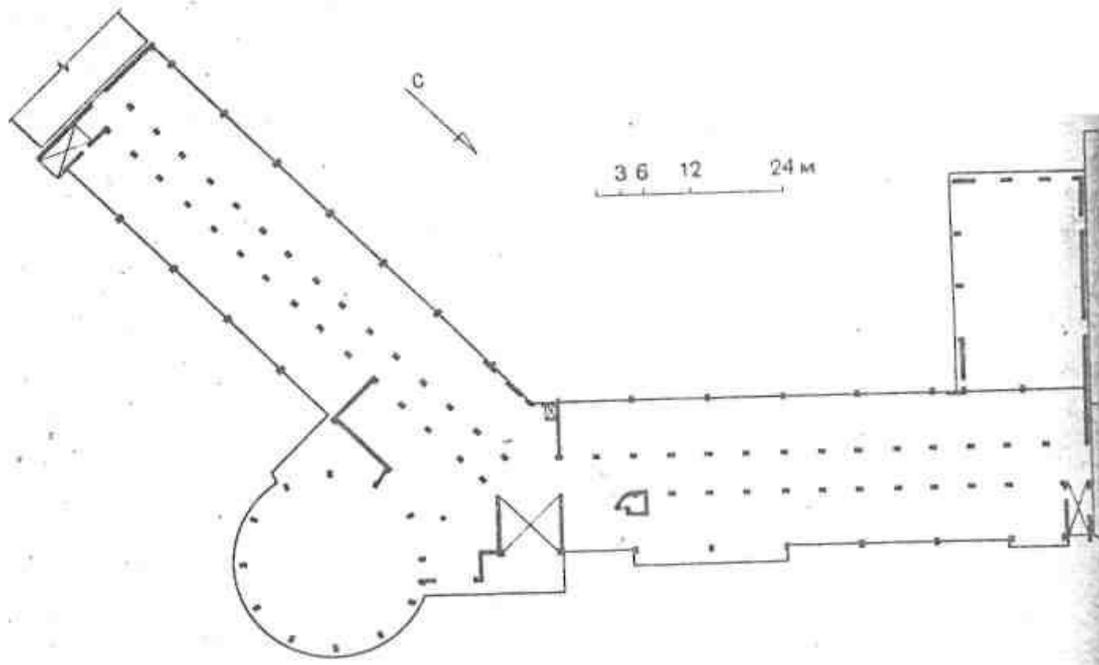
Усилия,  
воздействующие на Л-  
образное в плане  
здание:  
1 - усилия;  
2 - перемещение грунта;  
 $\Delta$  - деформации здания



Две схемы  
Л-образного плана

Входящие углы составляют одну из общих характеристик конфигурации здания, которая в плане имеет форму L-, T-, П-, Н-, X- или некоторое сочетание из этих форм. 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 способствует вторичному появлению в практике строительства узких конфигураций с традиционными простыми входящими углами.

**Примеры повреждений зданий.** Анализ разрушений во время землетрясения в Чили, 1960, показывает, что чаще всего 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 L-образном здании школы повреждение наступило в месте конструктивного соединения двух отдельных частей (крыльев) здания.

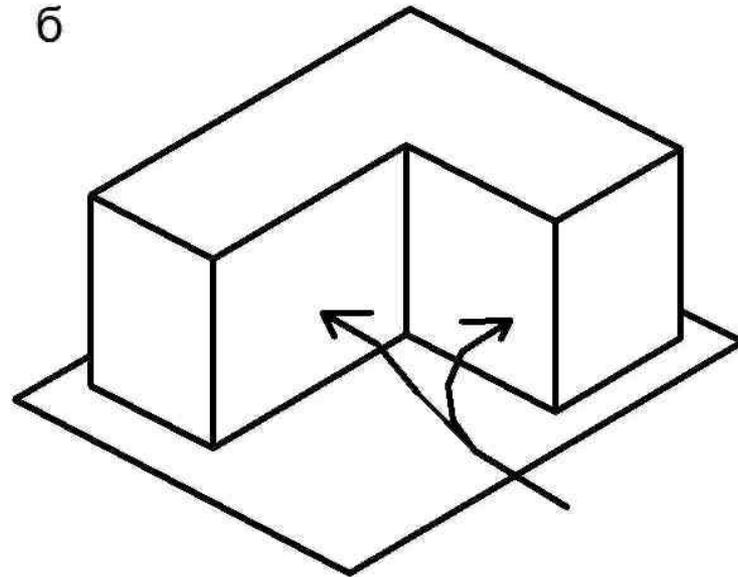
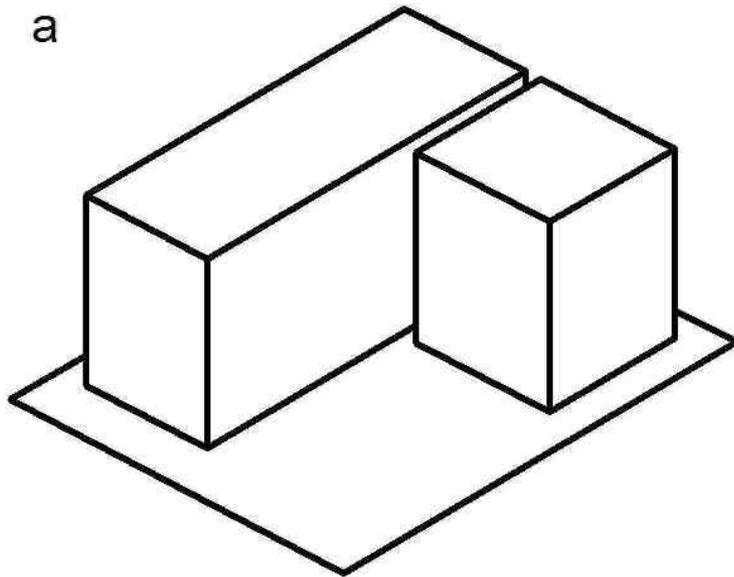


**План здания высшей школы в г. Анкоридж.**



**Высшая школа в г. Анкоридж.  
Повреждение диафрагм  
в месте пересечения  
крыльев здания**

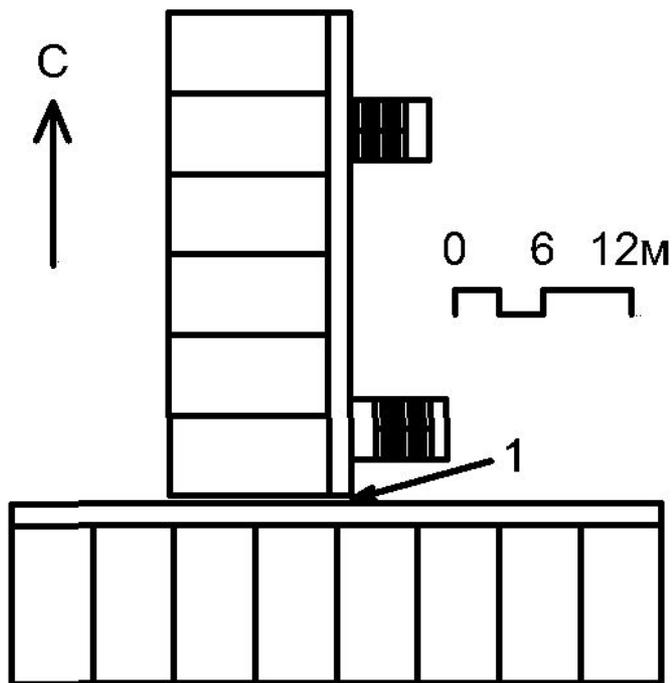
Существуют два основных альтернативных метода решения проблемы зданий, имеющих входящие углы: конструктивное разделение здания на более простые формы и более прочное и жесткое соединение отдельных частей здания. В случае использования антисейсмических швов их проектирование и устройство должно осуществляться с высоким качеством и надежностью, обеспечивающими требуемую работу в условиях воздействия сейсмической нагрузки.



**Два основных решения входящих углов здания:**

а - разделение здания;

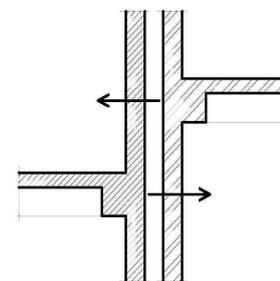
б - соединение



**План здания Саннихайтс,  
показывающий  
расположение  
антисейсмических швов (1)**

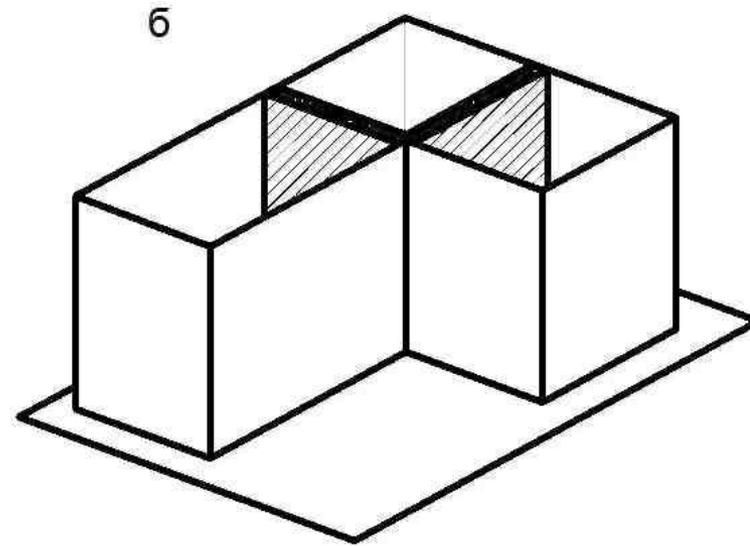
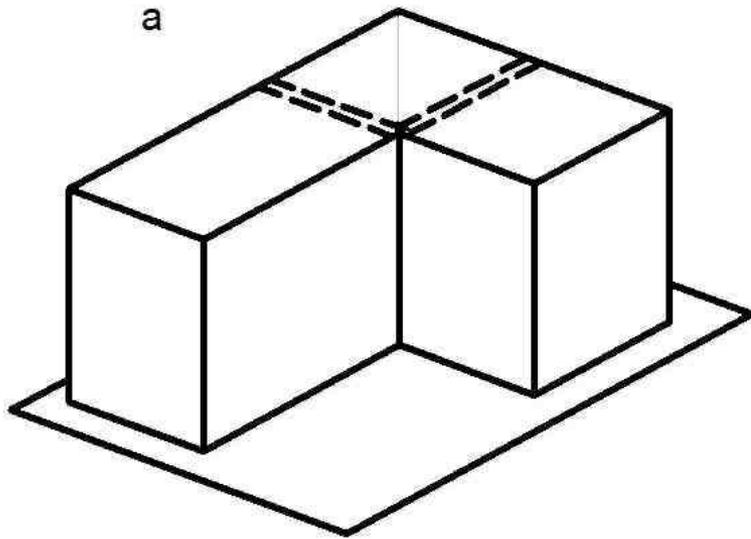
**При устройстве антисейсмических швов** следует учитывать возможность соударения с соседними зданиями или с частями одного здания во время землетрясений. При этом особенно важно определение жесткости соседних зданий, так как от ее величины зависит перемещение конструкций и, следовательно, ширина разделительного промежутка, требуемого для предотвращения контакта соответствующих элементов.

В нормах США значение смещения конструкций не должно превышать 0,5% высоты этажа (для высоты этажа, равной 5,08 м, эта величина будет равна 2,54 см). В нормах России предлагается значение разделения, равное 3 см для зданий высотой до 5 м, дополнительные 2 см на каждые следующие 5 м. Применение этих цифр целесообразно на стадии эскизного проектирования, т.е. до того, как на основе расчета будут получены точные цифровые данные.

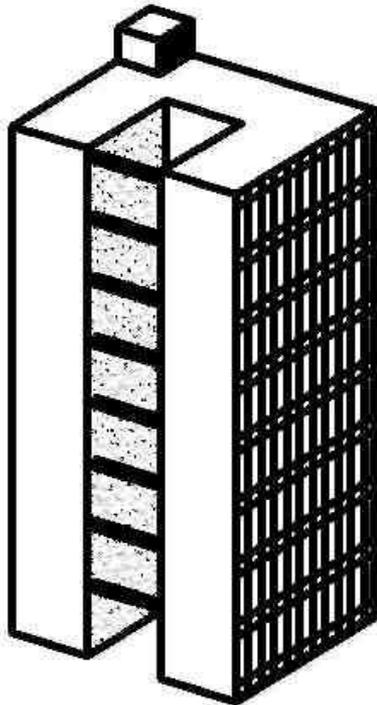


**Рис. 10.6.11.**  
**Возможность**  
**повреждения в**  
**уровне**  
**перекрытий**  
**расположенных**  
**рядом зданий**

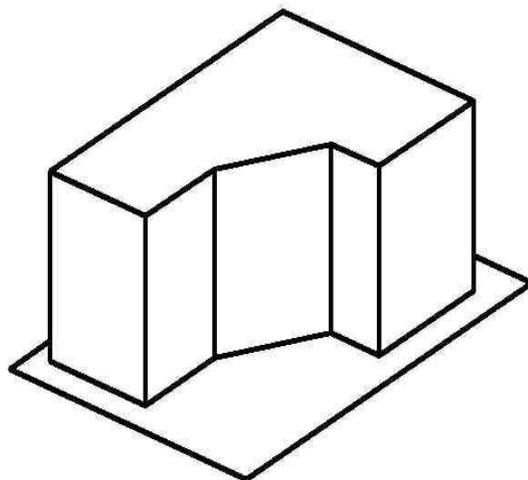
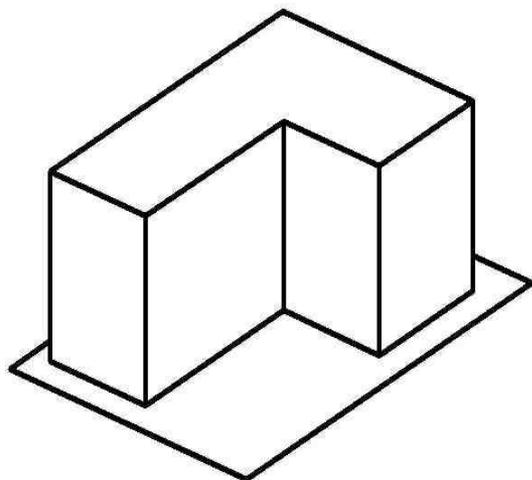
**Рис. 10.6.10.** Повреждение здания  
Лэнг Билдинг в результате  
соударений во время  
землетрясения в Манагуа, 1972.



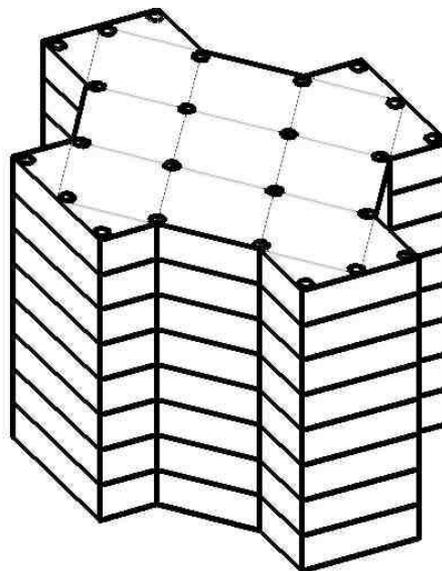
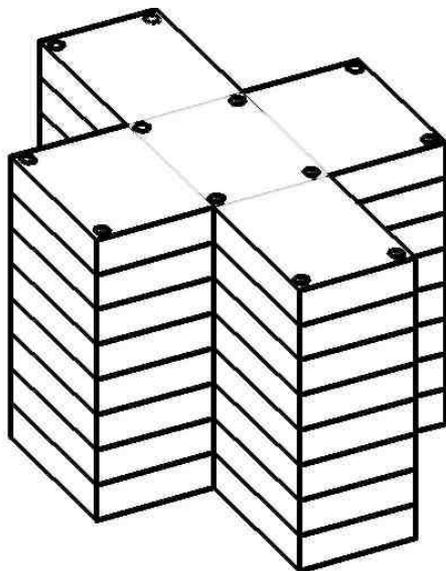
**Соединение здания в единое целое:**  
а - связевые балки; б - диафрагмы



**Решение конструктивной схемы П-образного в плане здания Парк Роу (Нью-Йорк) рассчитанного на сопротивление ветровым нагрузкам**



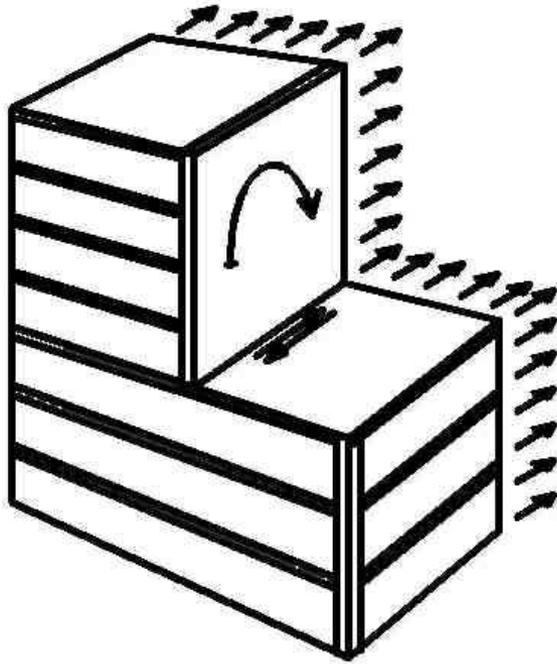
**Скошенный  
входящий угол**



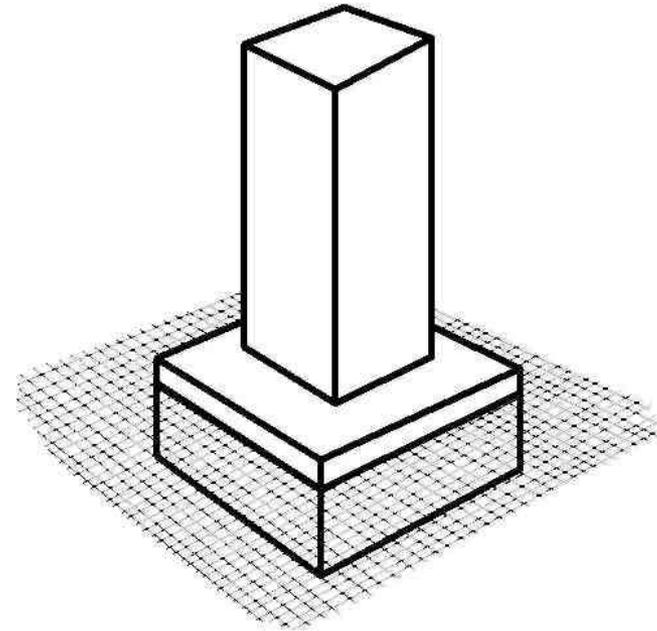
**Перераспределение  
напряжений за  
счет  
конструктивного  
решения**

# ВЕРТИКАЛЬНЫЕ УСТУПЫ ЗДАНИЙ

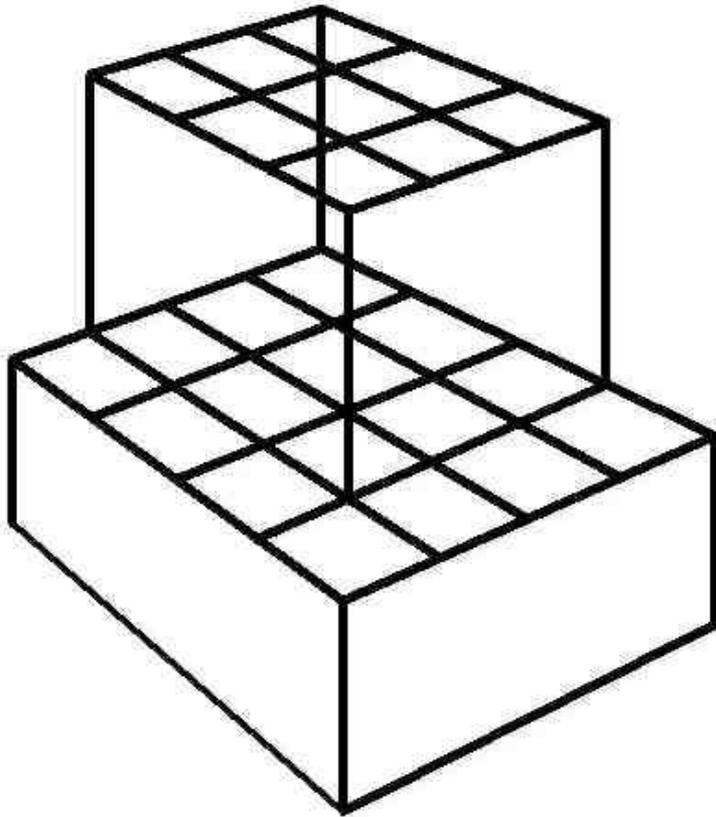
Наличие вертикальных уступов в здании и сооружении определяет изменение прочности и жесткости по вертикали. Степень влияния вертикального уступа на работу здания зависит от относительных пропорций и абсолютных размеров частей здания. Кроме того, симметрия или асимметрия плана части здания, расположенной 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. 10.7.3. Уступы, включающие диафрагмы, могут исказить траекторию передачи нагрузок на конструкцию фундаментов**

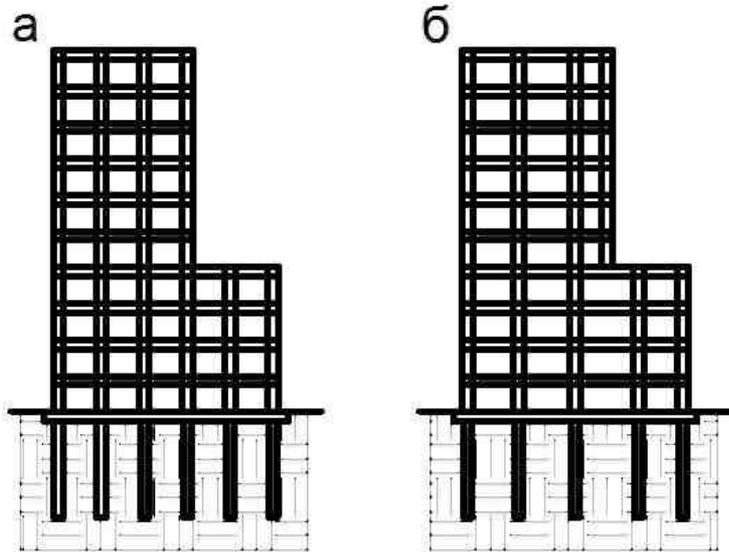


**Рис. 10.7.4. Конструкция, состоящая из узкой башни на широком подиуме, часто используемая для зданий с встроенным гаражом**



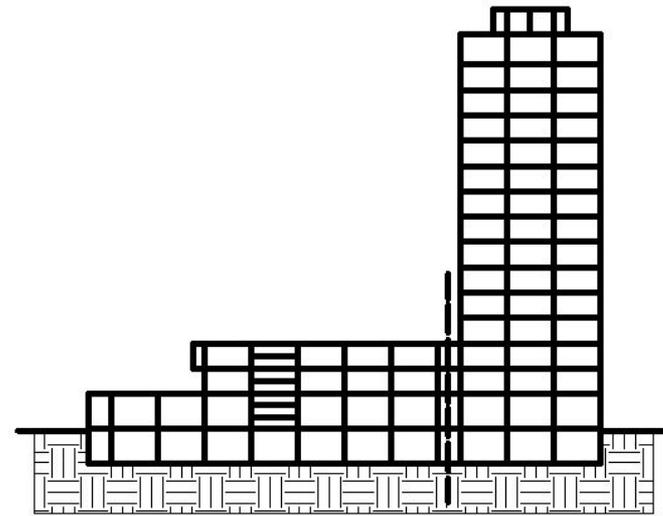
**Соотношение площадей  
уступов по вертикали**

На протяжении многих лет проектирование вертикальных уступов считается одной из наиболее сложных проблем архитектурно-строительной технологии. Здания, в конструкцию которых включены вертикальные уступы с размерами башенной части в плане в каждом из направлений равными по меньшей мере 75% соответствующего размера нижней части здания в плане, могут рассматриваться 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. 10.7.7. Уступы каркасных зданий:**

- а - сплошные колонны;
- б - разрыв колонны по вертикали



**Рис. 10.7.8. Башня административного здания Кайама Интернешнл Билдинг, Лос-Анджелес, отделенная антисейсмическими швами от гаража**