
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ УСТОЙЧИВЫХ К ПРОГРЕССИРУЮЩЕМУ РАЗРУШЕНИЮ

Выборочный русский перевод

Унифицированные требования
к зданиям и сооружениям (UFC)

Unified Facilities Criteria (UFC)

Design of buildings to resist
progressive collapse

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 3. СТРАТЕГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	3
3-1 Связующие силы	3
3-2 Метод альтернативного пути (АП).....	4

ГЛАВА 3. СТРАТЕГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

3-1 Связывающие силы

В методе Связывающих сил здание механически связывается вместе, усиливая непрерывность, пластичность, и развитие альтернативных путей нагружения. Силы типично предоставляются существующими конструктивными элементами и соединениями, которые спроектированы с использованием стандартных процедур проектирования для несения стандартных нагрузок, налагаемых на конструкцию.

В зависимости от типа строительства, существует несколько горизонтальных связей, которые должны предоставляться: внутренние, периферийные, и связи для отделявания колонн, угловых колонн, и стен. Вертикальные связи необходимы в колоннах и несущих стенах. Рисунок 3-1 иллюстрирует эти связи для рамного строительства. Следует учитывать, что эти «связывающие силы» не синонимы «силам усиления» как определено в издании 2002 года *Требований строительных норм к строительному бетону* из Американского института бетона (ACI 318-02) для проектирования железобетона.

Путь нагрузки для периферийных связей должен быть продолжительным вокруг плана геометрии и для внутренних связей путь должен быть продолжительным от одного края до другого. Вдоль определенного пути нагрузки можно использовать различные конструктивные элементы для обеспечения требуемой силы связи, при условии, что они адекватно соединены, например, внутренняя сила связи может быть предоставлена рядом балок на линии балок, при условии, что соединения промежуточных элементов (балочных ферм, балок или колонн) могут обеспечить требуемую силу связи. Аналогичным образом, вертикальные связи должны быть продолжительными от наинизшего до наивысшего уровня. Горизонтальные связи для отделявания колонн и стен не должны быть продолжительными, но они должны быть надежно закреплены внутри конструкции. Для зданий, которые состоят из отдельных подконструкций, или которые объединяют швы расширения, которые создают конструктивно независимые секции, требования к силе связи применяются к каждой подконструкции или независимой секции, которые рассматриваются как отдельные части. Следует учесть, что пути сил связи должны быть геометрически прямыми, изменения направления для приспособления отверстий или аналогичных разрывов не допускаются.

3-1.1 Проектирование фактора сопротивления и нагрузки для связывающих сил

Вслед за методом проектирования фактора сопротивления и нагрузки (LFRD), расчетная сила связи, предоставляемая элементом конструкции или его соединениями с другими элементами, рассчитывается как продукт фактора снижения силы, Φ , и номинальной силы связи R_n , рассчитываемыми в соответствии с требованиями и допущениями допустимых материальных особых кодов, включая фактор излишка силы, Ω , в зависимости от обстоятельств. (Следует учесть, что для деревянного строительства также включается фактор времени A). Согласно методу LRFD проектирование связи силы должно быть больше чем или равно требуемой связывающей силе.

Проектирование связывающей силы = $\Phi R_n \geq$ Требуемая связывающая сила Уравнение (3-1)

где Φ = Фактор снижения силы

R_n = Номинальная связывающая сила, рассчитанная с соответствующим материальным особым кодом, включая фактор выше-силы Ω где применимо.

Для целей данного UFC все факторы снижения силы, Φ , взяты как соответствующее значение материального особого кода.

3-1.2 Требуемая связывающая сила

Требуемая связывающая сила для горизонтальных и вертикальных связей определяется для каждого типа материала в Главах 4-8. Конструктивные элементы, используемые как связи, должны не только обеспечивать достаточную связывающую силу, но также они должны быть адекватно соединены так, чтобы связывающие силы могли быть распределены по всей площади остального здания.

Проектирование связывающих сил считается отдельным от сил, которые типично несет каждый конструктивный элемент из-за рабочей нагрузки, собственного веса конструкции, ветровой нагрузки, и т.д. другими словами, проектирование связывающей силы элемента или соединения без других нагрузок должно быть больше чем или равно требуемой связывающей силе.

Некоторые связывающие силы основаны на собственном весе конструкции и рабочей нагрузке. В некоторых случаях конструкция может иметь различные нагрузки, такие как нагрузка коридора или офиса на одном и том же этаже. В таких случаях следует использовать средний собственный вес конструкции или рабочую нагрузку, считая общую силу, действующую на этаже и разделив ее на общую площадь в плане. Если связывающие силы основаны на пролете L , который варьируется вдоль длины связи, наибольший пролет в продолжительной связи должен использоваться для расчета силы связи.

3-1.3 Конструктивные элементы и соединения с несоответствующей расчетной связывающей силой

Если все конструктивные элементы и соединения могут быть показаны для обеспечения требуемой связывающей силы, то требование связывающей силы удовлетворено. Если **вертикальное** проектирование связывающей силы любого конструктивного элемента или соединения меньше чем требуемая **вертикальная** связывающая сила, проектировщик должен или: 1) пересмотреть проект для соответствия требованиям связывающей силы или 2) использовать Метод альтернативного пути чтобы доказать, что конструкция способна пере-

крывать данный дефектный элемент. Следует учесть, что метод Альтернативного пути (АП) не применяется к конструктивным элементам или соединениям, которые не могут обеспечивать требуемую горизонтальную связывающую силу, в этом случае проектировщик должен перепроектировать или модернизировать элемент и соединение так, чтобы развивалась достаточная связывающая сила проектирования.

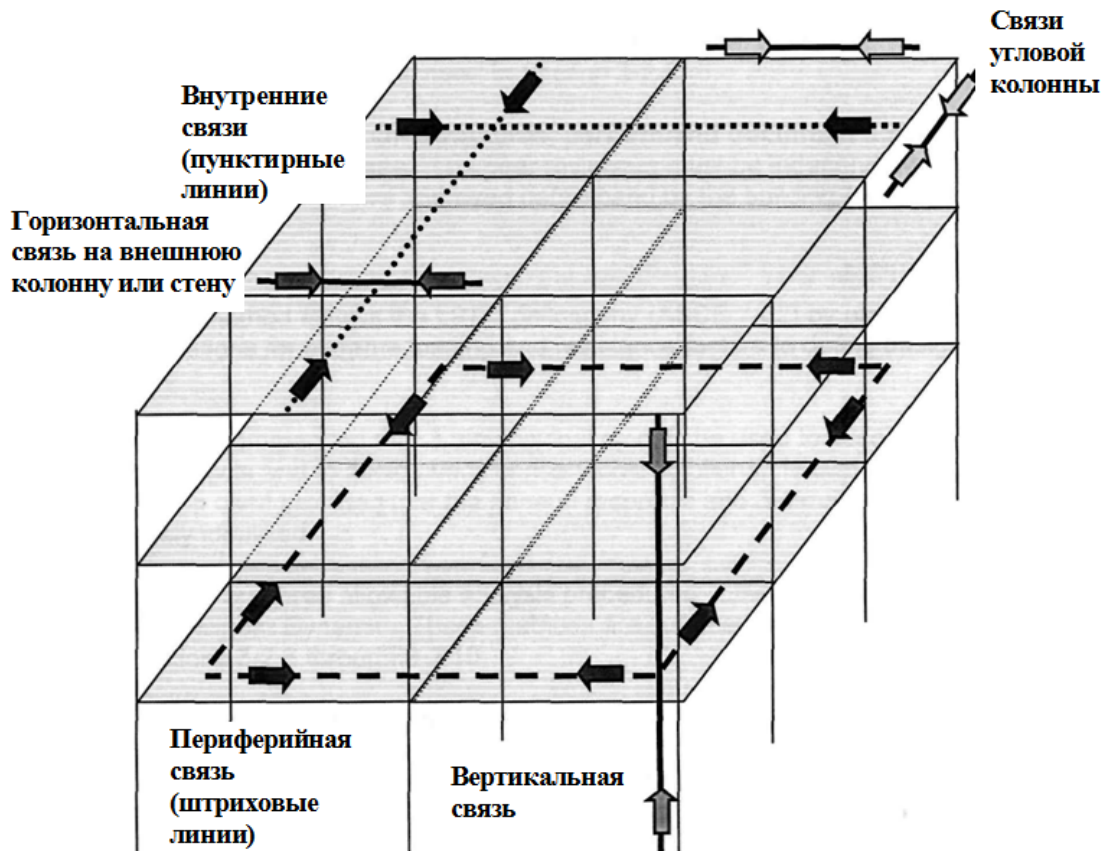


Рис. 3-1. Схема связывающих сил в решетчатой конструкции

Примечание: требуемые связывающие силы внешней колонны, внешней стены и угловой колонны могут обеспечиваться частично или полностью теми же элементами, которые используются для соответствия требованию периферийной или внутренней связи.

3-2 Метод альтернативного пути (АП)

Метода альтернативного пути используется в двух ситуациях: 1) если вертикальный конструктивный элемент не обеспечивает требуемую связывающую силу, проектировщик может использовать метод АП для определения, если конструкция может перекрывать дефектный элемент после того как он был номинально удален, и 2) для конструкций которым требуется Средний или Высокий уровень защиты метод АП должен применяться для удаления особых вертикальных несущих элементов, которые описаны в Разделе 3-2.3.

Для конструкций MLOR и HLOR выполните и задокументируйте независимое рассмотрение для всех анализов Альтернативного Пути. Экспертиза должна быть независимой и выполняться квалифицированными организациями, которые заранее одобрены владельцем здания.

3-2.1 Общие сведения

Этот метод следует философии LRFD (ASCE 7-02) при помощи задействования сочетаний факторов нагрузки для экстремальных факторов нагрузки и сопротивления, чтобы определить расчетное сопротивление.

Рекомендуется использовать трехмерные модели для учета трехмерных эффектов и избегания слишком консервативных решений. Однако двухмерные модели могут использоваться при условии, что общий ответ и трехмерные эффекты могут быть адекватно идеализированы.

Существует три допустимые процедуры анализа: линейная статическая, нелинейная статическая, и нелинейная динамическая. Эти методы обобщены здесь и подробно описаны в Разделах 3-2.8-3-2.10.

- Линейная статическая. Геометрическая формулировка основана на небольших деформациях, и материал рассматривается как линейно упругий, за исключением отдельных шарниров которые могут быть встроены, как описано в Разделах 3-2.7 и 3-2.8. Полная нагрузка прилагается одновременно к конструкции, с которой был удален вертикальный несущий элемент.

- Нелинейная статическая: как материал, так и геометрия рассматриваются как нелинейные. История нагрузки от нулевой нагрузки до полной расчетной нагрузки прилагается к конструкции с удаленным вертикальным несущим элементом.
- Нелинейная динамическая: материал и геометрия рассматриваются как нелинейные. Динамический анализ выполняется при помощи немедленного удаления вертикального несущего элемента из полностью нагруженной конструкции и анализа последующего перемещения.

3-2.2 Проектирование фактора сопротивления и нагрузки для метода альтернативного пути

Следуя методу LRFD Расчетное сопротивление, предоставленное элементом конструкции и его соединении с остальными элементами на основе изгиба, осевой нагрузки, сдвига и кручения берется как продукт фактора снижения силы Φ и номинальной силы R_n , рассчитанными в соответствии с требованиями и допущениями допустимых материальных особых кодов, включая фактор выше-силы, Ω , в зависимости от ситуации. Следует учесть, что для деревянного строительства также включается фактор времени A , см. Раздел 7.1.

Расчетная сила $\Phi = R_n \geq$ Требуемая сила Уравнение (3-2)

где Φ = Фактор снижения силы

R_n = Номинальная связывающая сила, рассчитанная с соответствующим материальным особым кодом, включая факторы выше-силы Ω где применимо.

Согласно методу LRFD расчетное сопротивление должно быть больше чем Требуемая сила, то есть внутренняя сила, создаваемая расчетными нагрузками.

Для целей данного UFC все факторы снижения силы, Φ , взяты из значения материального особого кода, как определено в Главах 4-8.

3-2.3 Удаление несущих элементов для метода альтернативного пути

Несущие элементы удаляются из модели АП в двух случаях: 1) в конструкциях с элементами, которые не могут обеспечить требуемую вертикальную связывающую силу, дефектный элемент должен быть удален, и 2) для конструкций MLOP и HLOP расположение и размер удаленного элемента определяются для проверки, что конструкция имеет адекватное сопротивление изгибу для перекрытия отсутствующего элемента. Более подробно о типе, расположении и размере удаленного несущего элемента сказано в следующих подразделах.

3-2.3.1 Конструкции с дефектной вертикальной способностью связывающей силы

Определение размера и типа несущего элемента, который должен быть удален, зависит от материала конструкции и представлено в каждой из глав, описывающих специфичные материалы (Главы 4-8).

3-2.3.2 Рамные и плоские листовые конструкции MLOP и HLOP

Для конструкций со средней и высокой уровнями защиты выполняются многократные анализы АП, с несущими элементами, удаленными из плана расположения, описанного в следующих подразделах.

3-2.3.2.1 Удаление внешней колонны

Как минимум удалите внешние колонны около середины короткой стороны, около середины длинной стороны, и в углу здания, как показано на Рис. 3-2. Также удалите колонны в расположениях, где плановая геометрия конструкции существенно меняется, такая как внезапное уменьшение размера пролета или входящих углов, или в расположениях, где смежные колонны слегка нагружены, пролеты имеют разные боковые размеры, и элементы конструкции обрамляют в разных направлениях или повышениях. Используйте инженерную оценку для распознавания этих критических расположений колонн.

Для каждого планового расположения, определенного для удаления элемента, выполните анализ АП для каждого этажа одновременно. Например, если угловая колонна определена как расположение удаляемого элемента, один анализ АП выполняется для удаления угловой колонны первого этажа, другой анализ АП выполняется для удаления угловой колонны второго этажа, другой анализ АП выполняется для удаления угловой колонны третьего этажа, и т.д. Если проектировщик может показать, что аналогичный конструктивный ответ ожидается для удаления колонны на многих этажах (скажем, этаже 4-10), анализ данных этажей можно опустить, но проектировщик должен задокументировать оправдание для невыполнения данных анализов.

3-2.3.2.2 Удаление внутренней колонны

Для конструкций с подземной парковкой или неконтролируемыми общественными зонами первого этажа, удалите внутренние колонны около середины короткой стороны, около середины длинной стороны и у угла неконтролируемого пространства, как показано на Рисунке 3-3. Удаленная колонна простирается от этажа подземной парковки или неконтролируемой общественной зоне первого этажа до следующего этажа (т.е. следует удалить высоту одного этажа). Внутренние колонны также должны быть удалены на остальных критических расположениях в пределах неконтролируемых зон общественного доступа, как определено инженерной оценкой. Для каждого плана расположения анализ АП выполняется только для колонны на первом этаже или этаже зоны парковки и не для всех этажей в конструкции.

3-2.3.2.3 Непрерывность через горизонтальные элементы

Для обоих внешних и внутренних удалений, должна сохраняться непрерывность через горизонтальные элементы которые соединяют концы колонны, см. Рис. 3-4.

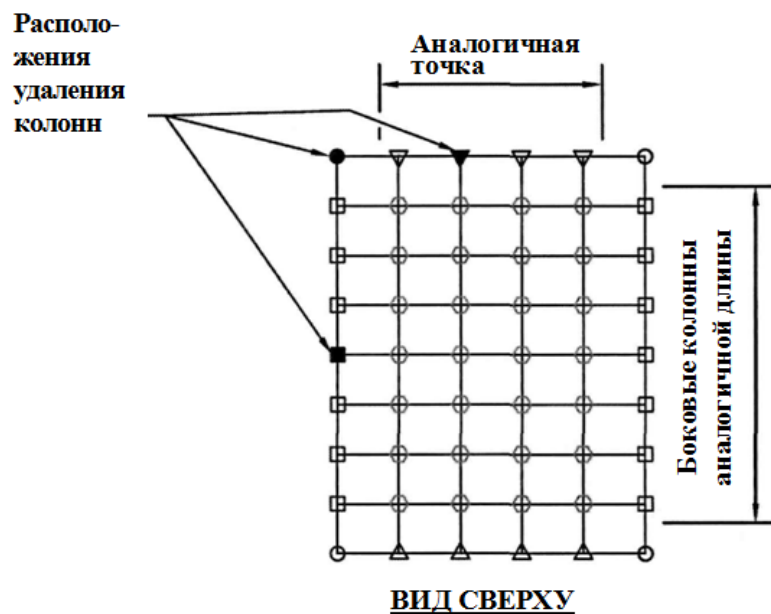


Рис. 3-2. Расположение удаления внешних колонн для конструкций MLOP и HLOP

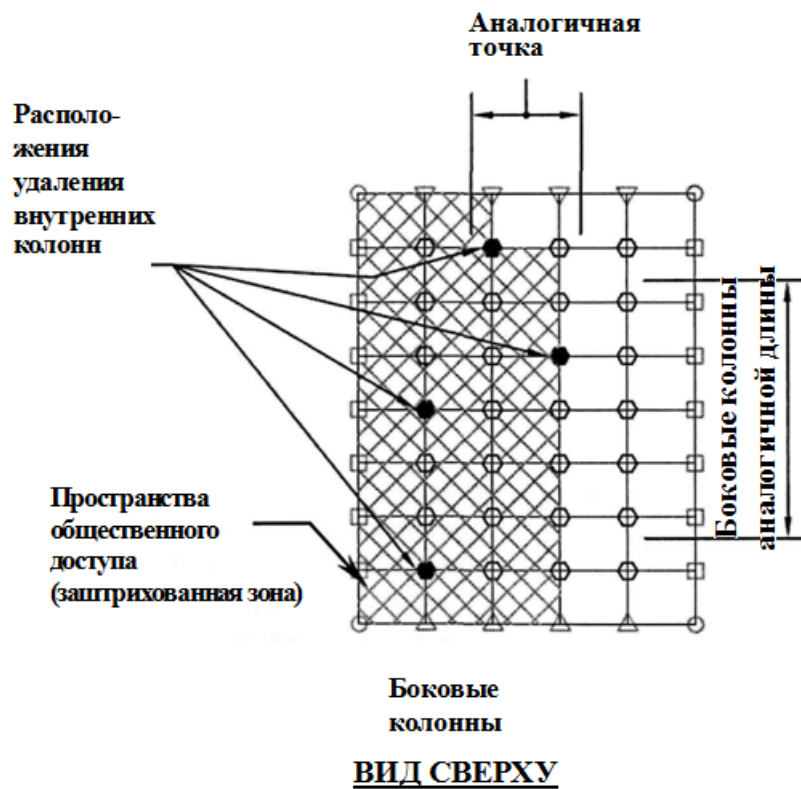


Рис. 3-3. Расположение удаления внутренних колонн для конструкций MLOP и HLOP

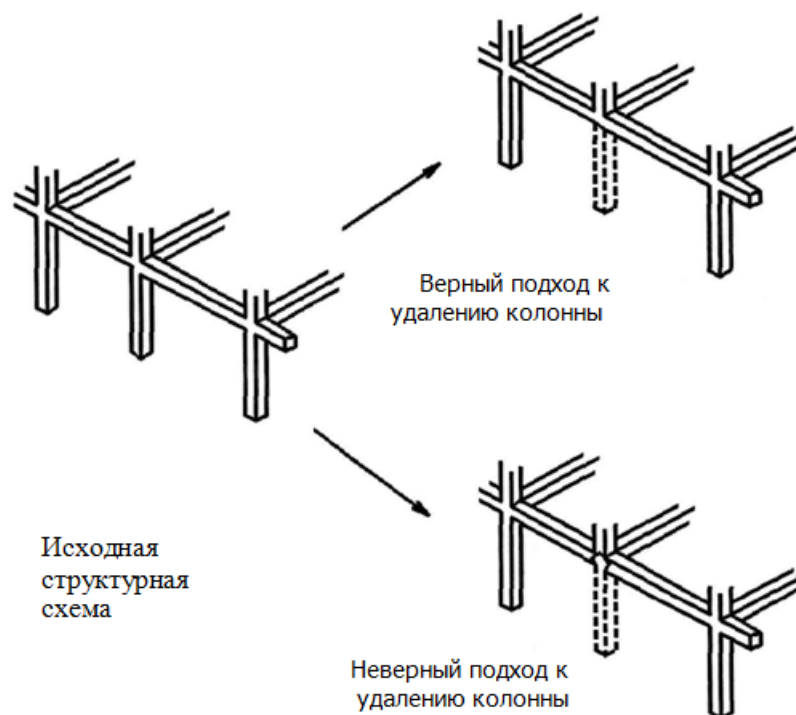


Рис. 3-4. Удаление колонны из модели альтернативного пути

3-2.3.3 Конструкции несущих стен MLOP и HLOP

3-2.3.3.1 Внешние несущие стены

Как минимум, удалите внешние несущие стены около середины короткой стороны, около середины длинной стороны и у угла здания, как показано на Рисунке 3-5. Также удалите несущие стены на расположениях, где плановая геометрия конструкции существенно меняется, так, что внезапное понижение размера пролета или входящих углов, также как и расположениях, где смежные колонны слегка нагружены, пролеты имеют разные боковые размеры, и пролеты имеют разные размеры, и элементы конструкции обрамляют в разных направлениях или повышаются. Используйте инженерную оценку для распознавания этих критических расположений. Длина удаленной секции стены определена в Разделе 3-2.3.3.3. Проектировщик должен использовать инженерную оценку для изменения расположения секции удаленной стены до максимума высоты стены, если это создаст наихудший сценарий.

Для каждого планового расположения, определенного для удаления элемента, выполните анализ АП для каждого этажа одновременно. Например, если секция стены на короткой стороне определена как расположение удаленного элемента, анализ АП выполняется для удаления секции стены второго этажа, другой анализ АП выполняется для секции стены третьего этажа и т.д. Если проектировщик может показать, что аналогичный конструктивный ответ ожидается для удаления колонны на многих этажах (скажем, этаже 3-5), анализ данных этажей можно опустить, но проектировщик должен задокументировать оправдание для невыполнения данных анализов.

3-2.3.3.2 Внутренние несущие стены

Для конструкций с подземной парковкой или неконтролируемыми общественными зонами первого этажа, удалите внутренние несущие стены около середины короткой стороны, около середины длинной стороны и у угла неконтролируемого пространства, как показано на Рисунке 3-6. Удаленная стена простирается от этажа подземной парковки или неконтролируемой общественной зоны первого этажа до следующего этажа (т.е. следует удалить высоту одного этажа). Внутренние несущие стены также должны быть удалены на остальных критических расположениях в пределах неконтролируемых зон общественного доступа, как определено инженерной оценкой. Для каждого плана расположения анализы АП выполняются только для несущих стен на первом этаже или этаже зоны парковки и не для всех этажей в конструкции. Длина удаленной секции стены определена в Разделе 3-2.3.3.3. Проектировщик должен использовать инженерную оценку для изменения расположения секции удаленной стены до максимума высоты стены, если это создаст наихудший сценарий.

3-2.3.3.3 Длина удаленных несущих стен

Для несущих стен по бокам здания, удалите длину стены равную двум высотам стен, но не меньше чем расстояние между швами расширения или швами сжатия. Для несущих стен по углам, удалите длину стены, равную высоте стены в каждом направлении, но не меньше чем расстояние между швами расширения или швами сжатия. Для ситуации, при которой внешняя стена не является несущей, но пересекаемая внутренняя стена является несущей, как показано внизу Рисунка 3-5, удалите ширину несущей стены равную высоте стены.

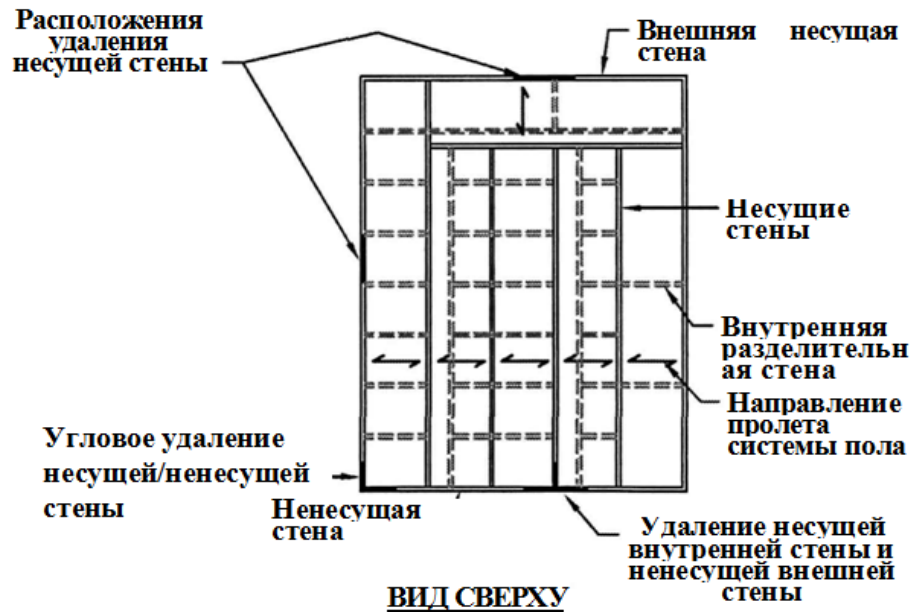


Рис. 3-5. Расположение удаления внешней несущей стены для конструкций MLOP и HLOP

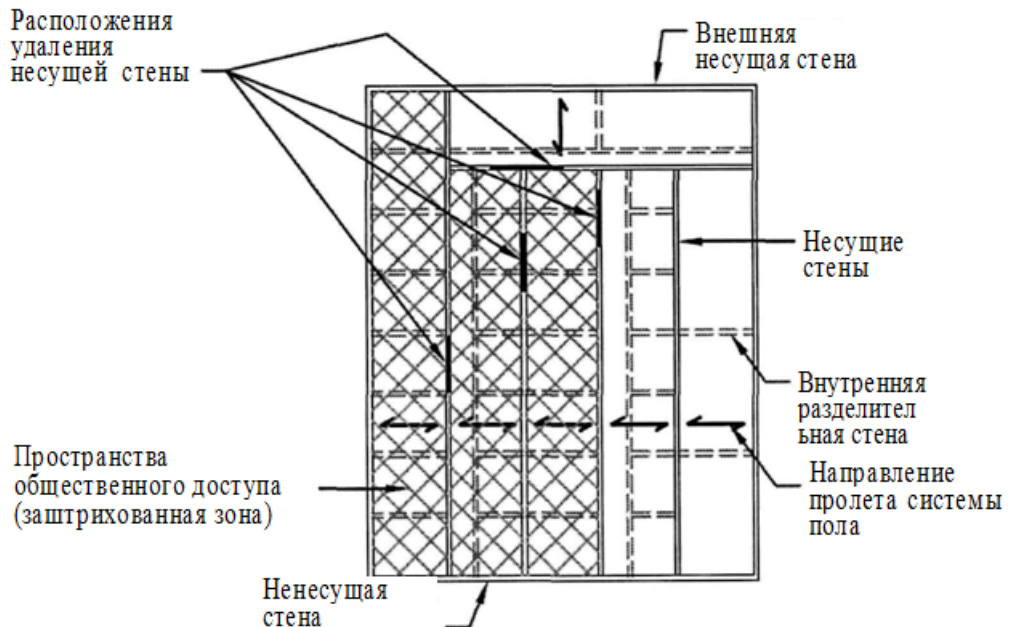


Рис. 3-6. Расположение удаления внутренней несущей стены для конструкций MLOP и HLOP

3-2.4 Расчетные нагрузки для метода альтернативного пути

3-2.4.1 Сочетание нагрузок нелинейного динамического анализа

Для нелинейных динамических анализов всех типов строительства, примените следующие сочетания расчетных нагрузок ко всей конструкции:

$$(0.9 \text{ или } 1.2) D + (0.5 L \text{ или } 0.2 S) + 0.2 W$$

где D = собственный вес конструкции (кН/м² или фунт/фут²)

L = Рабочая нагрузка (кН/м² или фунт/фут²)

S = Снеговая нагрузка (кН/м² или фунт/фут²)

W = Ветровая нагрузка, как определено для основной системы противостояния ветру в Разделе 6 ASCE 7-02 (кН/м² или фунт/фут²)

3-2.4.2 Сочетание нагрузок линейного и нелинейного статистического анализа

Для линейных и нелинейных статических анализов для всех типов строительства, примените следующее увеличенное сочетание расчетной нагрузки к тем пролетам, которые непосредственно смежны с удаленным элементом и на всех этажах выше удаленного элемента, см. Рисунки 3-7и 3-8.

$$2.0 [(0.9 \text{ или } 1.2) D + (0.5 L \text{ или } 0.2 S)] + 0.2 W$$

Для остальной конструкции примените сочетание нагрузок в Разделе 3-2.4.1.

Для систем несущих стен смежный пролет определяется как площадь в плане, которая перекрывает между удаленной стеной и ближайшими несущими стенами.

3-2.4.3 Нагрузки, связанные с неисправными элементами

Как обсуждалось ранее, внутренние силы деформации в конструктивном элементе или соединении могут быть показаны превышающими критерии допустимости. Если это так, то элемент считается неисправным и удаляется из модели.

Для нелинейного динамического анализа удвойте нагрузки от неисправного элемента, чтобы учесть влияние и примените их немедленно к секции конструкции прямо ниже неисправного элемента, до того как продолжить анализ. Примените нагрузки из зоны, поддерживаемой неисправным элементом к зоне, равной или меньшей чем зона, где они были изначально.

Для линейного или нелинейного статистического анализа, если нагрузки на неисправный элемент уже удвоены, как показано в Разделе 3-2.4.2, то нагрузки с неисправного элемента применяются к секции конструкции прямо ниже неисправного элемента, до того как продолжить или повторно провести анализ. Если нагрузки неисправного элемента не удвоены, то удвойте их и примените их к секции конструкции прямо ниже неисправного элемента, до того как продолжить или повторно провести анализ. В обоих случаях примените нагрузки с зоны, поддерживаемой неисправным элементом, к зоне равной или меньшей чем зона, где они были изначально.

3-2.5 Свойства материала

Свойства материала, такие как нижний предел текучести, разрушающее напряжение, и т.д. должны браться в соответствии с требованиями соответствующих норм особых материалов. Для некоторых типов строительства фактор выше-силы Ω или фактор времени A разрешается для учета типичной выше-силы, ожидаемой от данного материала. Соответствующие факторы для повышения номинальную силу для каждого материала даны в Главах 4-8.

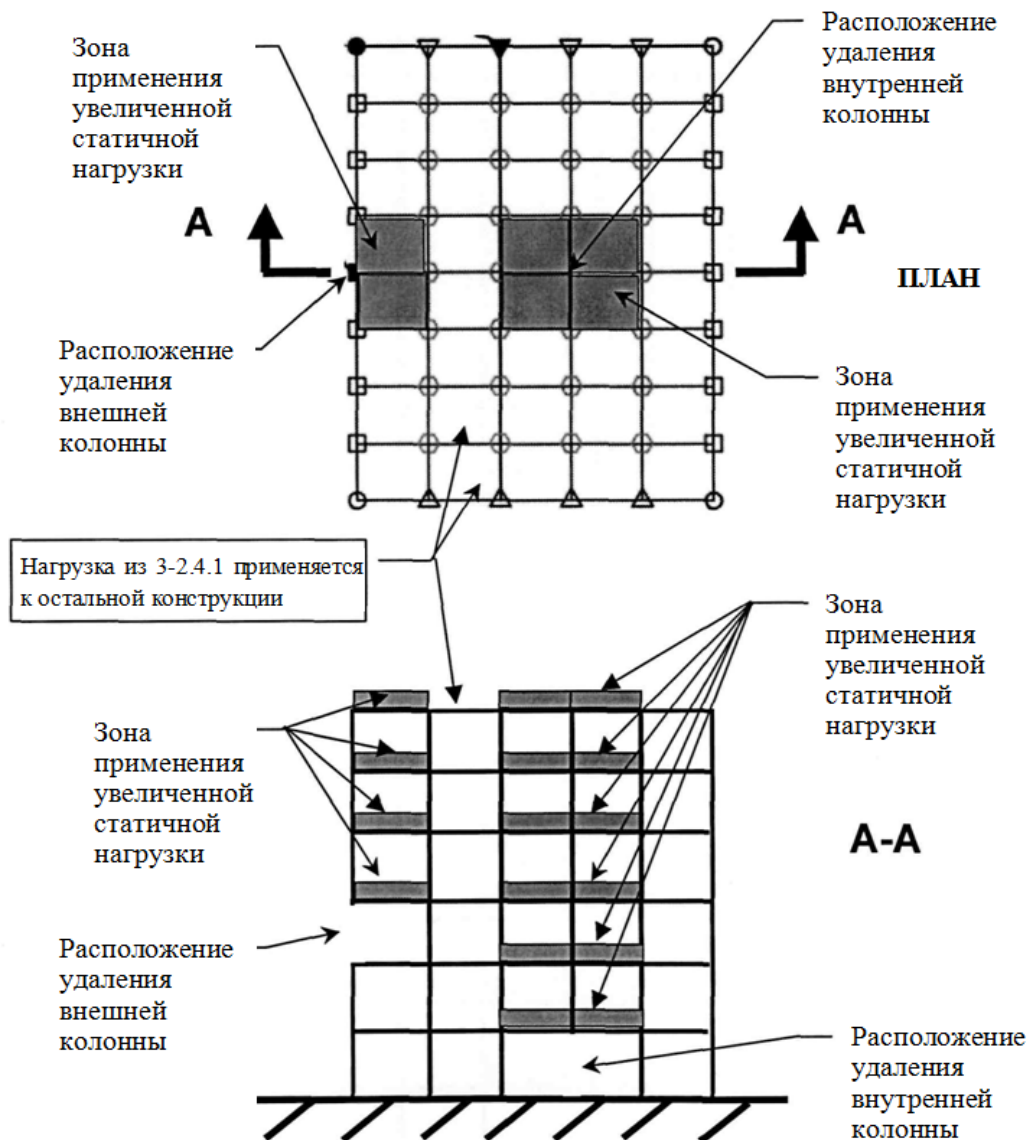


Рис. 3-7. Примеры линейных и нелинейных статистических расположений нагрузки для удаления внешней и внутренней колонны (Левая сторона показывает удаление внешней колонны, правая сторона показывает удаление внутренней колонны)

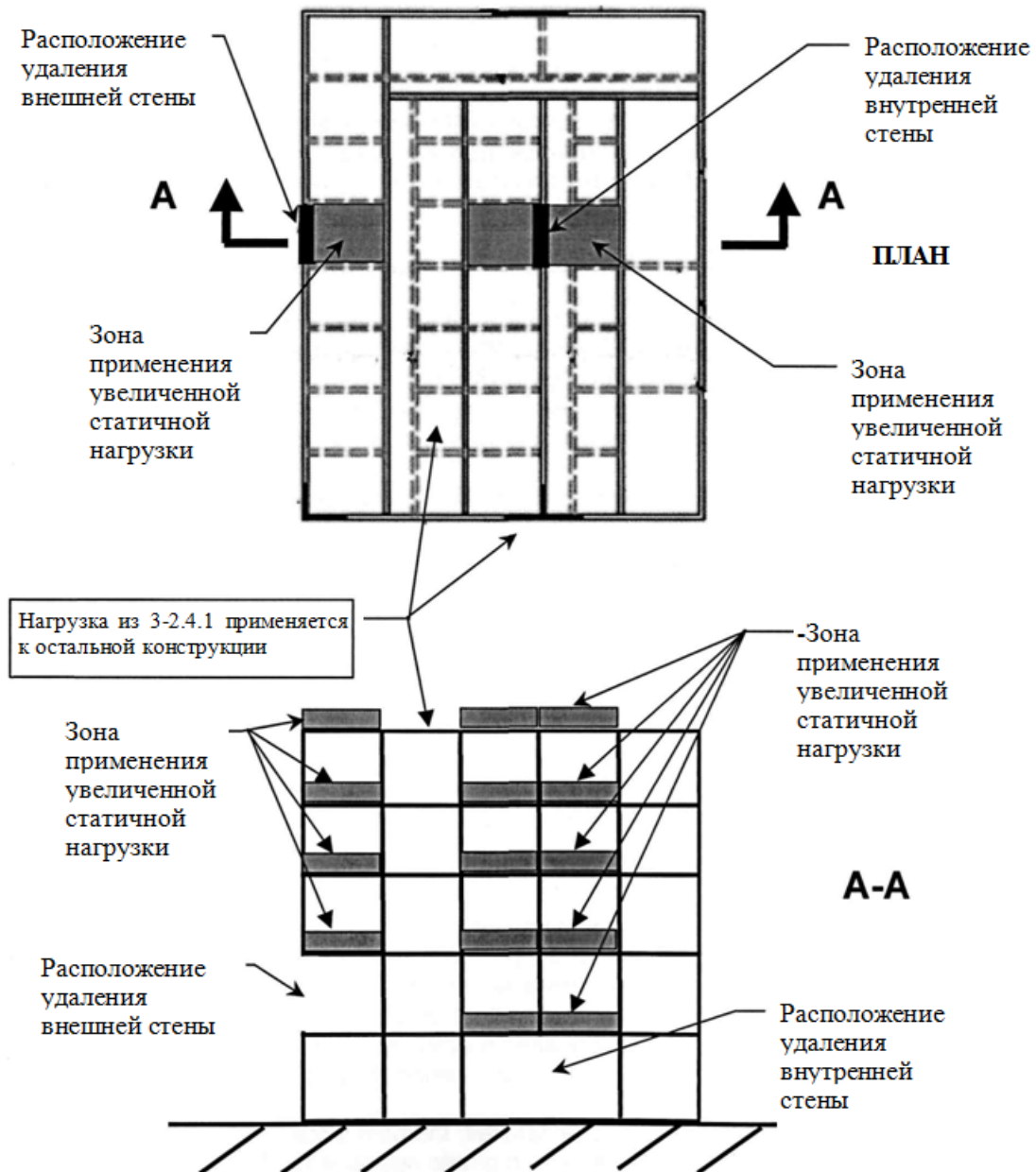


Рис. 3-8. Примеры линейного и нелинейного расположения нагрузок для удаления внешних и внутренних несущих стен (Левая сторона показывает внешнее удаление колонн, правая сторона показывает внутреннее удаление колонн)

3-2.6 Ограничение повреждения для конструкции

В анализе АП с любым из трех методов (линейным статическим, нелинейным статическим, и нелинейным динамическим), проектировщик должен определить размер повреждения во время анализа и в конце анализа.

3-2.6.1 Ограничение повреждения для удаления внешней колонны или несущей стены

Для удаления стены или колонны на внешней границе здания t , Ограничение повреждения требует, чтобы разрушенная зона этажа прямо над удаленным элементом должна быть меньше чем маленькая 70 м^2 (750 футов²) или 15% от общей площади данного этажа и этаж прямо под удаленным элементом не должен разрушиться. В дополнение любое разрушение не должно выходить за рамки конструкции, дополнительной к удаленному элементу.

3-2.6.2 Ограничение повреждения для удаления внутренней колонны или несущей стены

Для удаления внутренней стены или колонны на внешней границе здания t , Ограничение повреждения требует, чтобы разрушенная зона этажа прямо над удаленным элементом должна быть меньше чем маленькая 140 м^2 (1500 футов²) или 30% от общей площади данного этажа и этаж прямо под удаленным элементом не должен разрушиться. В дополнение любое разрушение не должно выходить за рамки пролетов непосредственно смежных с удаленным элементом.

3-2.7 Критерии допустимости для конструктивных элементов и соединений

Критерии допустимости для метода АП состоят из требований к силе и ограничений деформации. Моменты, аксиальные силы, и поперечные силы которые рассчитываются для элементов и соединений в каждом анализе АП являются Требуемыми силами, как определено в Уравнении 3-2. Данные требуемые силы каждого элемента необходимо сравнить с расчетными силами каждого элемента и соединения, как в общем показано в Таблице 3-1. В дополнение отклонение и повороты, рассчитанные в модели АП, необходимо сравнить против ограничений деформации, которые специфичны для каждого типа материала. Если какой-либо конструктивный элемент нарушает критерии допустимости (силу или деформацию), следует внести изменения в модель прежде чем ее повторно проанализировать, как указано в Таблице 3-1 и обсуждается более подробно в следующих подразделах.

3-2.7.1 Изгиб

Критерии допустимости для изгибающих нагрузок основаны на проектировании изгибающей силы конструктивного элемента, включая фактор снижения силы Φ , и фактор выше-силы Ω , применяемый к свойствам материалов в зависимости от ситуации. При расчете проектирования изгибающей силы, нужно учесть факторы, зависящие от материалов, которые могут снизить проектирование изгибающей силы, такие как плотность и горизонтальные связи для строительной стали, количество арматурной стали в железобетоне, и т.д.

Когда момент внутренних сил (требуемая изгибающая сила), определенный моделью АП, превышает проектирование изгибающей силы элемента, элемент или удаляется или модифицируется. Для линейных статических моделей конструктивные элементы которые могут выдерживать постоянный момент при этом выдерживая постоянную деформацию, должны быть изменены посредством установки эффективного пластикового шарнира. Поместите отдельный шарнир в модель в расположение осадки и примените два постоянных момента, по одному на каждую сторону отдельного шарнира, в соответствующем направлении для действующего момента, см. Рисунок 3-9. Определите расположение эффективного пластикового шарнира посредством инженерного анализа и оценки или под руководством, предоставленным для определенного типа строительства. В нелинейной статической и динамической моделях программное обеспечение должно иметь способность адекватно представлять нелинейный изгибающий ответ, после того как момент внутренних сил достигнет проектирования изгибающей силы элемента.

Для конструктивных элементов, которые разрушаются, когда достигнут пикового момента и во всех трех типах моделей (линейной статической, нелинейной статической и нелинейной динамической), удалите элемент, когда момент внутренней силы превысит проектирование изгибающей силы. Перераспределите нагрузки, связанные с разрушившимся элементом согласно Разделу 3-2.4.3 перед продолжением анализа.

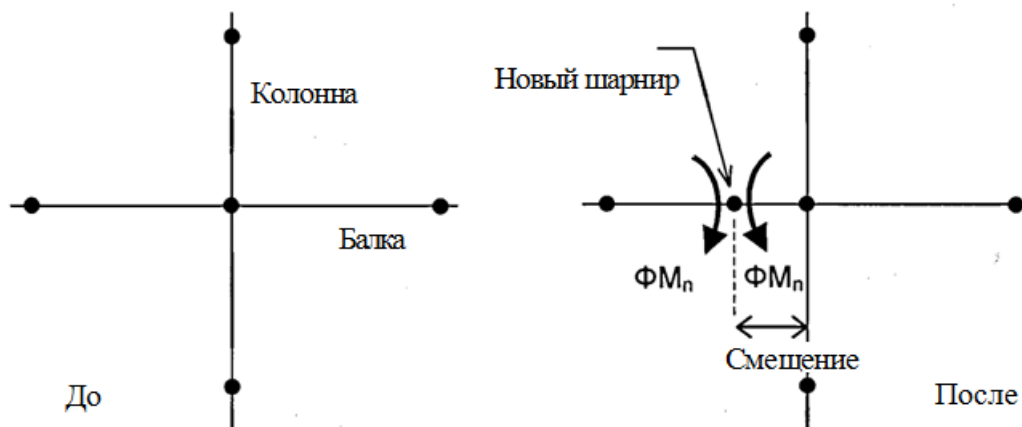


Рис. 3-9. Установленный шарнир и моменты в модель линейного статического альтернативного пути

**Таблица 3-1. Критерии допустимости для элементов и соединений
и последующее действие для модели АП**

Поведение конструкции	Критерии допустимости	Последующее действие за нарушение критерия
Изгиб элемента	Проектирование изгибающей силы ^А (основано на плотности, креплении, количестве и типе стальной арматуры, и т.д.)	Для элементов, которые могут нести момент после достижения пикового момента: в линейном статическом анализе, установите эффективный пластиковый шарнир в соответствующее расположение и примените постоянный момент на обе стороны шарнира (Рисунок 3-9). Для нелинейного статического и динамического анализа модель и программное обеспечение должны автоматически объединять нелинейный изгибающий ответ. Для элементов, которые разрушаются при достижении изгибающей силы проектирования, удалите разрушившийся элемент из модели и перераспределите нагрузки согласно Разделу 3-2.4.3.
Элемента в сочетании с осью и изгибом	Уравнения взаимодействия с использованием осевых сил и проектирования изгибающих сил ^А	Для элементов, которые контролируются изгибом, следуйте процедуре, описанной в Разделе 3-2.7.1. Для элементов, которые контролируются изгибом, удалите разрушившийся элемент из модели и перераспределите нагрузки согласно Разделу 3-2.4.3.
Сдвиг элемента	Сила проектирования сдвига ^А	Удалите разрушившийся элемент из модели и перераспределите нагрузки согласно Разделу 3-2.4.3.
Соединения	Сила проектирования соединения ^А	Удалите соединение.
Деформация	Ограничения деформации, определенные для каждого материала в Главах 4-8.	Удалите разрушившийся элемент из модели и перераспределите нагрузки согласно Разделу 3-2.4.3.

^А Значения рассчитываются с использованием соответствующих специфичных кодов материалов, включая факторы материалов выше-силы Ω в зависимости от ситуации, как оговорено в Главах 4-8.

3-2.7.2 Сочетание оси и изгиба

Критерии допустимости для элементов, подвергающихся сочетанию аксиальной нагрузки и изгибающей нагрузке, основаны на условиях, данных в расчетном коде особых материалов. Для элементов, контролируемых изгибом, следуйте процедуре, описанной в Разделе 3-2.7.1. Для элементов, контролируемых изгибом, удалите разрушившийся элемент из модели и перераспределите нагрузки согласно Разделу 3-2.4.3.

3-2.7.3 Сдвиг

Если силы проектирования сдвига превышены для какого-либо типа строительства, удалите элемент конструкции и перераспределите нагрузки с элемента согласно Разделу 3-2.4.3 до того как продолжить анализ.

3-2.7.4 Соединения

Если расчетная сила для какого-либо режима разрешения соединения превышена, удалите соединение. Если соединение на обоих концах элемента разрушено, удалите элемент и перераспределите нагрузки с этого элемента согласно Разделу 3-2.4.3 до того как продолжить анализ.

Используйте руководство, предоставленное в расчетных кодах особых материалов, или другие источники для развития характеристик соединения которые могут предоставить требуемую силу при подвержении потенциально большим деформациям. В некоторых расчетных кодах особых материалов представлены условия для расчета на сейсмические нагрузки, включая характеристики соединения, объедините эту информацию соответствующим образом при проектировании соединений.

3-2.7.5 Ограничения деформации

Ограничения деформации определены на основе отклонений и поворотов в конструктивных элементах, соединениях и сооружениях. Избыточные отклонения и повороты подразумевают что элемент или часть со-

оружения деформировалась до такой степени, что она не может больше выдерживать нагрузку. Расчет поворотов для элементов конструкции, соединений и сооружений показан на Рисунках 3-10 и 3-11.

Если элемент или соединение превышает предел деформации, удалите его из модели. Значения для ограничений деформации специфичны для каждого типа конструкции и перечислены в соответствующих разделах (Главы 4-8).

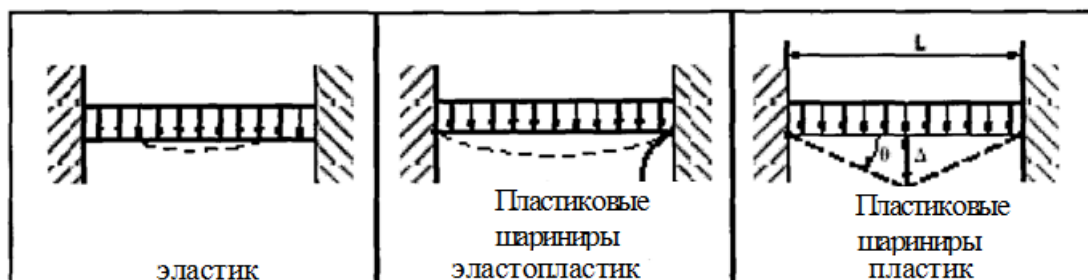


Рис. 3-10. Измерение поворота шарнира θ после образования пластиковых шарниров

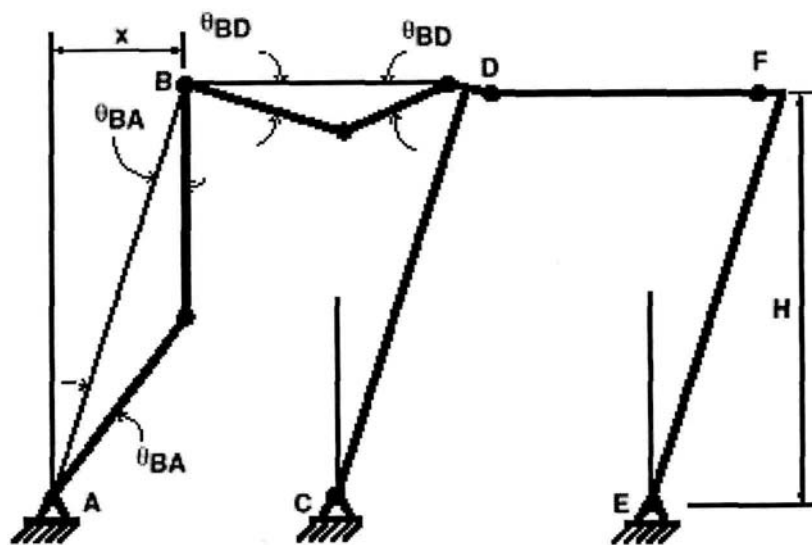


Рис. 3-11. Перекас и угол поворота концевой сечения балки элемента (θ) для сооружений

3-2.8 Процедура линейного статистического расчета

Выполните следующие шаги в линейном статистическом анализе. Следует учесть, что необходим второй порядок или анализ Р-Д.

1. Для анализов АП для несущих элементов, которые не имеют адекватной способности вертикальной связывающей силы, удалите элемент из конструктивной модели в соответствии с особыми требованиями материалов, данными в Главах 4-8 (см. Раздел 3-2.3.1). Для анализов АП конструкций MLOP и HLOP удалите колонну или несущую стену согласно Разделам 3-2.3.2 и 3-2.3.3.

2. Приложите нагрузки, описанные в Разделе 3-2.4.2.

3. После выполнения анализа сравните расчетный элемент и силы соединения и деформацию против критериев допустимости, которые, в общем, показаны в Таблице 3-1. Для демонстрации соответствия критериям допустимости может использоваться пакет программного обеспечения с модулями, выполняющими проверки строительных норм, при условии, что модули можно настроить на проверку критериев в Таблице 3-1. Подтвердите, что все условия норм особых материалов для крепления, плотности, взаимодействия оси-изгиба, и т.д. соблюдены.

4. Если не один из конструктивных элементов или соединений не нарушает критерии допустимости, анализ считается полным, и было продемонстрировано удовлетворительное сопротивление прогрессирующему разрушению. Если какой-либо из конструктивных элементов или соединений нарушает критерии допустимости, выполните следующую процедуру:

А. Измените геометрию или свойства материалов модели согласно Таблице 3-1 (т.е. удалите элементы и/или установите шарниры и постоянные моменты).

В. Если показано что элемент разрушится, перераспределите нагрузки элементов согласно Разделу 3-2.4.3.

С. Повторно проанализируйте эту измененную модель и применимую нагрузку, начиная с условия без нагрузки/без деформации.

Д. В конце повторного анализа оцените состояние последующих повреждений и сравните с ограничениями повреждений Раздела 3-2.6. Если ограничения повреждений нарушены, перепроектируйте и повторно про-

анализируйте конструкцию, начиная с Шага 1. Если ограничения повреждений не нарушены, сравните последующие внутренние силы и деформацию каждого элемента и соединения с критериями допустимости.

Е. Если в новом анализе нарушены какие-либо критерии допустимости, повторите этот процесс (Шаг А-Е), до тех пор, пока не будут нарушены ограничения повреждений или не будет больше нарушений критериев допустимости. Если ограничения повреждений нарушены, перепроектируйте и повторно проанализируйте конструкцию, начиная с Шага 1. Если ограничения повреждений не нарушены и ни один из новых элементов не нарушил критерии допустимости, то проектирование считается адекватным.

3-2.9 Процедура нелинейного статистического анализа

Выполните следующие шаги в нелинейном статистическом анализе.

1. Для анализа АП для несущих элементов, которые не имеют адекватной способности вертикальной связывающей силы, удалите элемент из конструктивной модели в соответствии с особыми требованиями материалов, данными в Главах 4-8 (см. Раздел 3-2.3.1). Для анализов АП конструкций MLOP и HLOP удалите колонну или несущую стену согласно Разделам 3-2.3.2 и 3-2.3.3

2. Примените нагрузки, используя историю нагрузок, которые начинаются с нуля и повышаются до конечных значений определенных в Разделе 3-2.4.2. Примените как минимум 10 шагов нагрузки для достижения общей нагрузки. Программное обеспечение должно быть способным пошагово повышать нагрузку и повторно достигать сходимость до того как приступить к следующему приращению нагрузки.

3. Как только анализ выполнен, сравните расчетный элемент и силы соединения и деформации против критериев допустимости, которые, в общем, показаны в Таблице 3-1. Для демонстрации соответствия с критериями допустимости может использоваться пакет программного обеспечения с модулями, выполняющими проверки строительных норм, при условии, что модули можно настроить на проверку критериев в Таблице 3-1. Подтвердите, что все условия норм особых материалов для крепления, плотности, взаимодействия осеизгиба, и т.д. соблюдены.

4. Если не один из конструктивных элементов или соединений не нарушает критерии допустимости, анализ считается полным, и было продемонстрировано удовлетворительное сопротивление прогрессирующему разрушению. Если какой-либо из конструктивных элементов или соединений нарушает критерии допустимости, выполните следующую процедуру:

А. В моменте в истории нагрузок, когда элемент или соединение не соответствует критериям допустимости, удалите элемент или соединение согласно Таблице 3-1.

В. Если показано что элемент разрушится, перераспределите нагрузки элементов согласно Разделу 3-2.4.3.

С. Перезапустите анализ с шага в истории нагрузок, на котором элемент или соединение разрушилось, и модель была изменена. Повысьте нагрузку до максимальной нагрузки или пока другой элемент или соединение не нарушит критерии допустимости.

Д. На каждом моменте когда анализ прекращается, проверьте состояние расчетного повреждения против ограничений повреждений в Разделе 3-2.6. Если нарушены ограничения повреждений, перепроектируйте и повторно проанализируйте конструкцию, начиная с Шага 1.

Е. Если ограничения повреждений не нарушены и была применена суммарная нагрузка, проектирование считается адекватным. Если ограничения повреждений не нарушены, но нарушен один из критериев допустимости при перезапущенном анализе, повторите этот процесс (Шаги А-Е), до тех пор, пока будет применена суммарная нагрузка или нарушатся ограничения повреждений.

3-2.10 Процедура нелинейного динамического анализа

Выполните следующие шаги в нелинейном динамическом анализе.

1. Распределите массу конструкции по всей модели в реалистичной манере, общие массы не допускаются, если не представлять машинное оборудование, насосы, архитектурные особенности, и аналогичные вещи. Распределите массу вдоль балок и колонны как массу на единицу длины, для плит и полов, представьте массу как масса на единицу площади. Если какая-либо часть конструкции представлена объемными элементами, распределите массу как массу на единицу объема.

2. До удаления несущего элемента настройте модель на статическое равновесие при нагрузках из Раздела 3-2.4.1; процесс достижения равновесия под нагрузками от собственного веса конструкции будет варьироваться в зависимости от техники анализа.

3. При устойчивой модели, мгновенно удалите соответствующий несущий элемент. Для анализов АП для несущих элементов, которые не имеют адекватную способность вертикальной связывающей силы, удалите элемент в соответствии с требованиями особых материалов, данными в Главах 4-8 (см. Раздел 3-2.3.1). Для анализов АП конструкций MLOP и HLOP, удалите колонну или несущую стену согласно Разделам 3-2.3.2 и 3-2.3.3.

4. Продолжите динамический анализ до тех пор, пока конструкция не достигнет стабильного и устойчивого состояния (т.е. история перемещения модели достигнет почти постоянной величины, с очень маленькими колебаниями и все материалы и нелинейные геометрические процессы не будут прекращены).

5. Во время или после анализа, сравните расчетный элемент и силы соединения и деформации против критериев допустимости, которые, в целом, показаны в Таблице 3-1. Для демонстрации соответствия с критериями допустимости может использоваться пакет программного обеспечения с модулями, выполняющими проверки строительных норм, при условии, что модули можно настроить на проверку критериев в Таблице 3-1. Подтвердите, что все условия норм особых материалов для крепления, плотности, взаимодействия осеизгиба, и т.д. соблюдены.

6. Если не один из конструктивных элементов или соединений не нарушает критерии допустимости, анализ считается полным, и было продемонстрировано удовлетворительное сопротивление прогрессирующему разрушению. Если какой-либо из конструктивных элементов или соединений нарушает критерии допустимости, выполните следующую процедуру:

A. В моменте в истории нагрузок, когда элемент или соединение не соответствует критериям допустимости, мгновенно удалите элемент или соединение согласно Таблице 3-1.

B. Если показано что элемент разрушится, перераспределите нагрузки элементов согласно Разделу 3-2.4.3.

C. Перезапустите анализ с шага в истории нагрузок, на котором элемент или соединение разрушилось, и модель была изменена. Продолжите анализ до тех пор, пока конструктивная модель не стабилизируется или пока другой элемент или соединение не нарушит критерии допустимости.

D. Для каждого момента когда анализ был прекращен из-за нарушения элементом критериев допустимости, проверьте ограничения повреждений. Если ограничения повреждений нарушены, остановите анализ и перепроектируйте и повторно проанализируйте конструкцию, начиная с Шага 1.

E. Если ограничения повреждений не нарушены и конструктивная модель стабильна, проектирование считается адекватным. Если ограничения повреждений не нарушены, но один нарушен один из критериев допустимости в перезапущенном анализе, повторите этот процесс (Шаги A-E) до тех пор, пока конструкция не достигнет стабильного состояния или не будут нарушены ограничения повреждений.