МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СВОД ПРАВИЛ **СП 385.1325800.2018**

ЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОТ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ

Правила проектирования. Основные положения

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2018

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Сведения о своде правил

1 ИСПОЛНИТЕЛИ — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЮЗГУ»), Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений — ЦНИИПромзданий» (АО «ЦНИИПромзданий»), Закрытое акционерное общество «Городской проектный институт жилых и общественных зданий» (ЗАО «ГОРПРОЕКТ»), Акционерное общество «Московский научно-исследовательский и проектный институт типологии, экспериментального проектирования» (АО МНИИТЭП), Общество с ограниченной ответственностью «Техрекон» (ООО «Техрекон»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»

3 ПОДГОТОВЛЕН к утверждению Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России)

4 УТВЕРЖДЕН Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 5 июля 2018 г. № 393/пр и введен в действие с 6 января 2019 г.

5 ЗАРЕГИСТРИРОВАН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего свода правил соответствующее уведомление будет опубликовано в установленном порядке. Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте разработчика (Минстрой России) в сети Интернет

© Минстрой России, 2018
© Стандартинформ, оформление, 2018

Настоящий свод правил не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания на территории Российской Федерации без разрешения Минстроя России

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Общие требования 2
5 Строительные материалы и их характеристики при расчете сооружений на устойчивость против прогрессирующего обрушения 3
6 Нагрузки и воздействия 4
7 Требования к расчетным моделям 4
8 Конструктивные мероприятия по защите зданий и сооружений различных конструктивных систем от прогрессирующего обрушения 4
Приложение А Дополнительные коэффициенты условий работы при расчете на устойчивость против прогрессирующего обрушения 7
Приложение Б Алгоритм расчета на устойчивость против прогрессирующего обрушения в квазистатической и динамической постановках 8
Приложение В Алгоритм расчета на устойчивость против прогрессирующего обрушения кинематическим методом теории предельного равновесия 10
Приложение Г Дополнительные конструктивные мероприятия для одноэтажных каркасов зданий 11
Приложение Д Дополнительные конструктивные мероприятия для многоэтажных каркасов зданий 12
Приложение Е Критерии несущей способности конструкций для особого предельного состояния . . . 14
Приложение Ж Возможные варианты конструктивных решений связей в крупнопанельных, кирпичных и комбинированных конструкциях зданий и сооружений 15
Приложение И Классификация зданий и сооружений по требованиям к защите зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения 18
Библиография 19

Введение

Настоящий свод правил разработан с учетом обязательных требований, установленных в [1]—[3], и содержит основные положения, общие требования к расчету и проектированию защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения при аварийной расчетной ситуации.

Свод правил разработан авторским коллективом ФГБОУ ВО «ЮЗГУ» (руководитель темы — д-р техн. наук, проф. *В.И. Колчунов*; д-р техн. наук, проф. *Н.В. Федорова*; д-р техн. наук, проф. *С.Г. Емельянов*; д-р техн. наук, проф. *Вл.И. Колчунов*), ЗАО «ГОРПРОЕКТ» (д-р техн. наук, проф. *В.И. Травуш*), АО «ЦНИИПромзданий» (руководитель темы — канд. техн. наук *Н.Г. Келасьев*; д-р техн. наук, проф. *Э.Н. Кодыш*; д-р техн. наук, проф. *Н.Н. Трекин*), АО МНИИТЭП (инж. *Г.И. Шапиро*), ООО «Техрекон» (инж. *А.Г. Шапиро*).

С В О Д П Р А В И Л

ЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОТ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ

Правила проектирования. Основные положения

Protection of buildings and structures against progressive collapse.
Design code. Basic statements

Дата введения — 2019—01—06

1 Область применения

1.1 Настоящий свод правил устанавливает основные положения по проектированию зданий и сооружений нормального и повышенного уровня ответственности классов КС-2 и КС-3 различных конструктивных систем в целях обеспечения их защиты от прогрессирующего обрушения.

1.2 Настоящий свод правил не распространяется на проектирование транспортных и гидротехнических сооружений.

1.3 Настоящий свод правил не распространяется на здания и сооружения, относящиеся к объектам культурного наследия (памятникам истории и культуры) народов Российской Федерации, требования к защите от прогрессирующего обрушения которых устанавливаются в соответствии с требованиями [1]—[3].

2 Нормативные ссылки

В настоящем своде правил использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 27751—2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения

ГОСТ 31937—2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния

СП 15.13330.2012 «СНиП II-22—81* Каменные и армокаменные конструкции» (с изменениями № 1, 2)

СП 16.13330.2017 «СНиП II-23—81* Стальные конструкции»

СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07—85* Нагрузки и воздействия»

СП 21.13330.2012 «СНиП 2.01.09—91 Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах» (с изменением № 1)

СП 22.13330.2016 «СНиП 2.02.01—83* Основания зданий и сооружений»

СП 44.13330.2011 «СНиП 2.09.04—87* Административные и бытовые здания» (с изменением № 1)

СП 54.13330.2016 «СНиП 31-01—2003 Здания жилые многоквартирные»

СП 56.13330.2011 «СНиП 31-03—2001 Производственные здания» (с изменением № 1)

СП 63.13330.2012 «СНиП 52-01—2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» (с изменениями № 1, 2, 3)

СП 64.13330.2017 «СНиП II-25—80 Деревянные конструкции» (с изменением № 1)

СП 116.13330.2012 «СНиП 22-02—2003 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения»

СП 128.13330.2016 «СНиП 2.03.06—85 Алюминиевые конструкции»

СП 266.1325800.2016 Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования

СП 296.1325800.2017 Здания и сооружения. Особые воздействия

Примечание — При пользовании настоящим сводом правил целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по вы-

Издание официальное

пускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего свода правил в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины и определения

В настоящем своде правил применены термины по [1], ГОСТ 27751, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **аварийные воздействия:** Непредусмотренные нормальной эксплуатацией воздействия, характеризуемые малой вероятностью возникновения за время расчетного срока службы зданий и сооружений, которые могут вызвать потерю несущей способности несущих конструктивных элементов.

3.2 **аутригерные конструкции:** Пересекающиеся фермы, связи, диафрагмы или балки (балки-стенки), обеспечивающие повышенную жесткость этажа (пространства).

3.3 **вторичная расчетная схема:** Расчетная схема, полученная из первичной расчетной схемы путем исключения одного или нескольких несущих конструктивных элементов, расположенных в зоне локального разрушения.

3.4 **локальное разрушение:** Потеря несущей способности конструктивного элемента или группы несущих конструктивных элементов на ограниченной площади вследствие аварийного воздействия.

3.5 **особое предельное состояние:** Состояние конструкций, возникающее при аварийных воздействиях и расчетных ситуациях, превышение которого приводит к их разрушению.

3.6 **первичная расчетная схема:** Расчетная схема, принятая для условий нормальной эксплуатации здания или сооружения на основные сочетания нагрузок в соответствии с СП 20.13330.

3.7 **прогрессирующее (лавинообразное) обрушение:** Последовательное (цепное) разрушение несущих строительных конструкций, приводящее к обрушению всего сооружения или его частей вследствие локального разрушения.

3.8 **устойчивость против прогрессирующего обрушения:** Обеспечение несущей способности как конструктивной системы сооружения в целом, так и примыкающих к зоне локального разрушения конструктивных элементов.

4 Общие требования

4.1 Здания и сооружения в зависимости от уровня ответственности (см. приложение И) должны быть защищены от прогрессирующего обрушения при локальном разрушении. Для этого необходимо обеспечить несущую способность как конструктивной системы сооружения в целом, так и отдельных элементов в зоне локального разрушения. По требованию заказчика в задании на проектирование (в дополнение к необходимым требованиям по несущей способности) допускается установление дополнительных требований.

4.2 При реконструкции зданий или сооружений по результатам обследования технического состояния в соответствии с ГОСТ 31937 в целях обеспечения их защиты от прогрессирующего обрушения проектирование следует выполнять для здания или сооружения в целом или самостоятельного конструктивного блока в частях, ограниченных деформационными швами, в границах которых проводят реконструкцию.

4.3 При капитальном ремонте проектирование защиты от прогрессирующего обрушения требуется для зданий и сооружений повышенного уровня ответственности в случаях, если предусматриваются замена отдельных элементов несущих строительных конструкций на аналогичные или иные улучшающие показатели таких конструкций элементы и/или восстановление указанных элементов. При капитальном ремонте для зданий и сооружений нормального уровня ответственности допускается выполнять проектирование защиты от прогрессирующего обрушения в соответствии с заданием на проектирование.

4.4 При техническом перевооружении опасного производственного объекта, осуществляемом одновременно с его реконструкцией, необходимо обеспечить устойчивость к прогрессирующему обру-

шению для здания или сооружения в целом или для самостоятельного конструктивного блока в частях, ограниченных деформационными швами, в границах которых проводят техническое перевооружение [4, статья 8, часть 1].

4.5 Защита сооружения от прогрессирующего обрушения обеспечена, если для любых элементов и их соединений соблюдается условие

$$F \le S, \qquad (4.1)$$

где F — усилия в конструктивных элементах или их соединениях, определяемые расчетом;

S — несущая способность конструктивных элементов и их соединений, определяемая с учетом указаний раздела 5.

Конструкции, для которых требования по несущей способности не удовлетворяются, необходимо усилить, либо следует принять другие меры, повышающие сопротивление конструкций прогрессирующему обрушению.

4.6 При расчете несущих конструкций одного (любого) этажа здания и сооружения зону локального разрушения определяют кругом площадью не менее 28 м^2 (диаметр 6,0 м) для зданий и сооружений при высоте до 75 м, не менее 80 м^2 (диаметр 10 м) для зданий и сооружений высотой от 75 до 200 м и не менее 100 м^2 (диаметр 11,5 м) для зданий и сооружений высотой более 200 м:

- пересекающихся стен на участках от места их пересечения (в частности, от угла здания) до ближайшего проема в каждой стене или до следующего вертикального стыка со стеной другого направления или на участке указанного размера (при размещении центра круга в месте пересечения стен);
- отдельно стоящей стены от края до ближайшего проема или на участке указанного размера (при размещении центра круга в центре тяжести сечения стены);
- колонн (пилонов), ядер жесткости или колонн (пилонов) с примыкающими к ним участками стен, расположенных на участке указанного размера [при размещении центра круга в центре тяжести сечения одной из колонн (пилона)].

В одноэтажных производственных зданиях следует рассматривать разрушение или удаление несущей конструкции на участке двух смежных шагов в однопролетных зданиях и смежных пролетах многопролетных зданий.

Для большепролетных зданий и сооружений в качестве локального разрушения следует рассматривать разрушение (удаление) одного из несущих элементов, в других случаях — согласно заданию на проектирование в зависимости от типа сооружения, но не менее одного из несущих элементов.

Зона локального разрушения может располагаться в любом месте сооружения и не должна приводить к прогрессирующему обрушению всего сооружения.

Для оценки устойчивости зданий и сооружений против прогрессирующего обрушения следует рассматривать наиболее опасные локальные разрушения.

4.7 Защиту зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения необходимо обеспечивать наиболее рациональными средствами:

- при разработке архитектурно-планировочных решений следует учитывать возможность возникновения локального разрушения в результате аварийного воздействия;
- в многоэтажных зданиях и сооружениях применяют конструктивные меры, повышающие степень статической неопределимости конструкции (повышение неразрезности конструкции, уменьшение числа шарнирных соединений и пр.);
- применяют материалы и конструктивные решения, обеспечивающие развитие в конструктивных элементах и их соединениях пластических деформаций.

5 Строительные материалы и их характеристики при расчете сооружений на устойчивость против прогрессирующего обрушения

5.1 При расчете сооружений на устойчивость против прогрессирующего обрушения расчетные прочностные характеристики материалов в соответствии с СП 16.13330, СП 63.13330, СП 64.13330, СП 128.13330, СП 266.1325800 принимают равными их нормативным значениям, а для реконструируемых зданий и сооружений — с учетом результатов обследования. Деформационные характеристики следует принимать с учетом особого предельного состояния (см. приложение Е).

5.2 Значения дополнительных коэффициентов условий работы, вводимых при расчете на устойчивость против прогрессирующего обрушения, приведены в приложении А.

6 Нагрузки и воздействия

6.1 Значения нагрузок при расчете на устойчивость против прогрессирующего обрушения следует принимать в соответствии с СП 296.1325800 и СП 20.13330.

6.2 Перечень особых нагрузок и воздействий и комбинаций нагрузок особых воздействий на сооружения, которые должны быть учтены при разработке сценариев аварийных расчетных ситуаций, следует принимать в соответствии с СП 296.1325800.

6.3 Коэффициент надежности по ответственности при расчете сооружений на устойчивость против прогрессирующего обрушения в соответствии с пунктом 10.3 ГОСТ 27751—2014 и пунктом 5.5 СП 296.1325800.2017 следует принимать γ_n = 1,0. Допускается в задании на проектирование назначение заказчиком коэффициента надежности по ответственности при проверке несущей способности:

γ_n = 1,1 — для зданий высотой от 75 до 200 м, или пролетом от 50 до 120 м, или с консольными конструкциями с вылетом от 10 до 20 м;

γ_n = 1,2 — для зданий высотой более 200 м, или пролетом более 120 м, или с консольными конструкциями с вылетом более 20 м.

7 Требования к расчетным моделям

7.1 Для расчета сооружений на устойчивость против прогрессирующего обрушения следует использовать пространственную расчетную модель, в которой учитывается взаимодействие с грунтовым основанием в соответствии с СП 22.13330. В расчетной модели необходимо учитывать включение в работу элементов, которые при нормальной эксплуатации сооружения являются ненесущими (например, навесные наружные стеновые панели, парапеты, железобетонные ограждения балконов, перегородки и т. п.), а при локальном разрушении сооружения активно участвуют в перераспределении усилий в элементах конструктивной системы.

7.2 При расчете сооружений на устойчивость против прогрессирующего обрушения следует предусматривать возможность постадийного расчета. На начальной стадии необходимо определить напряженно-деформированное состояние конструкций в доэксплуатационный период и при условиях нормальной эксплуатации. На последующих стадиях следует определять напряженно-деформированное состояние конструкций, возникающее при локальном разрушении, при условии учета напряжений и деформаций конструкций, возникших в результате нормальной эксплуатации.

7.3 Расчет сооружений на устойчивость против прогрессирующего обрушения следует выполнять для каждого из рассматриваемых локальных разрушений отдельно и независимо от других возможных локальных разрушений.

7.4 В расчетной модели сооружения следует учитывать реальную диаграмму работы материала конструкций и их стыков (расслоение кирпичной кладки при работе конструкции на растяжение; невосприятие в платформенном стыке растягивающих напряжений; хрупкое разрушение конструкций и узлов их сопряжения и т. п.) и возможность возникновения особого предельного состояния.

7.5 Расчет сооружения на устойчивость против прогрессирующего обрушения следует проводить по деформированной схеме с учетом требований, изложенных в 7.4.

7.6 Для расчета на устойчивость против прогрессирующего обрушения следует использовать квазистатический или динамический метод. Алгоритм расчета приведен в приложении Б.

7.7 В случае обеспечения пластичной работы конструктивной системы в предельном состоянии расчет на устойчивость против прогрессирующего обрушения проводят кинематическим методом теории предельного равновесия. Алгоритм расчета приведен в приложении В.

7.8 При больших прогибах перекрытий следует рассматривать их работу как работу элементов висячей системы (см. приложения Б и Е). При этом должна быть обеспечена конструктивная возможность восприятия возникающих горизонтальных усилий.

8 Конструктивные мероприятия по защите зданий и сооружений различных конструктивных систем от прогрессирующего обрушения

8.1 Основными конструктивными мероприятиями по защите зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения являются:

- обеспечение необходимой несущей способности конструктивных элементов и соединений между ними при аварийном особом воздействии, приводящем к локальному разрушению;

- обеспечение развития пластических деформаций в соединениях конструктивных элементов;

- обеспечение в шпоночных соединениях прочности отдельных шпонок на срез в 1,5 раза выше их прочности на смятие;

- обеспечение в болтовых соединениях прочности отдельных болтов на срез в 1,1 раза выше их прочности на смятие;

- обеспечение пластичной работы сварных соединений в предельном состоянии в соответствии с СП 16.13330 и СП 266.1325800;

- обеспечение достаточности длины зон анкеровки арматуры при ее работе как связи сдвига и растяжения в соответствии с СП 63.13330 и СП 266.1325800;

- обеспечение в сечениях надпроемных перемычек, балок, ригелей, плит в предельном состоянии разрушения по изгибу, а не по срезу.

8.2 Предусматривают дополнительные конструктивные мероприятия для монолитных железобетонных зданий и сооружений:

- обеспечение восприятия вертикальными связями между низом колонн (пилонов, стен) и перекрытиями (балками, ригелями) растягивающих усилий, определенных в результате расчетов, но не менее 10 кН (1 тс) на м^2 грузовой площади этой колонны (пилона, стены);

- покрытие и перекрытия следует связывать с колоннами (пилонами, стенами, балками, ригелями) расчетными связями;

- минимальную площадь сечения горизонтальной арматуры (суммарной для нижней и верхней арматуры) в монолитных железобетонных перекрытиях и покрытиях как в продольном, так и в поперечном направлении следует принимать не менее 0,25 % площади сечения бетона. При этом необходимо обеспечить непрерывность указанной арматуры и стыковку (в том числе при возможном изменении расчетной схемы работы перекрытия или покрытия в результате локального разрушения) в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

8.3 В рамках осуществления дополнительных конструктивных мероприятий для крупнопанельных зданий устанавливают следующую систему связей (см. приложение Ж, рисунок Ж.1):

- горизонтальные в продольном и поперечном направлениях связи между плитами перекрытий и покрытия, обеспечивающие необходимую прочность дисков перекрытий и покрытия при растяжении и сдвиге (см. приложение Ж, рисунок Ж.2). При этом связи следует проектировать на восприятие усилий, определенных в соответствии с результатами расчетов, но не менее 15 кН (1,5 тс) на 1 м ширины здания и 10 кН (1,0 тс) на 1 м длины здания [для зданий башенного типа — не менее 10 кН (1 тс) на 1 м размера здания в плане]. Расстояние между связями следует назначать не более 3,0 м;

- вертикальные (междуэтажные) связи между несущими стеновыми панелями, обеспечивающие необходимую прочность горизонтальных стыков стен и перекрытий при растяжении и сдвиге (см. приложение Ж, рисунок Ж.3). Следует устанавливать не менее двух указанных связей на стеновую панель. При этом если внутренняя стена состоит из нескольких стеновых панелей, объединенных в их вертикальном стыке вертикальными связями, то требуется установка не менее двух связей на внутреннюю стену. Указанные связи следует проектировать на восприятие усилий, определенных в соответствии с результатами расчетов, но не менее 25 кН (2,5 тс) на 1 м длины стеновой панели;

- горизонтальные связи между навесными наружными стеновыми панелями (поверху) и внутренними стеновыми панелями, вертикальные связи между навесными наружными стеновыми панелями (понизу) и плитами перекрытий, совместно обеспечивающие устойчивость положения наружных стеновых панелей и включение их в работу при локальном разрушении. Для одномодульных наружных стеновых панелей требуется установка четырех связей — две с плитами перекрытия, две с внутренними стеновыми панелями. Для двухмодульных наружных стеновых панелей требуется установка восьми связей — четыре с плитами перекрытия (по две на модуль) и четыре с внутренними стеновыми панелями. При этом связи следует проектировать на восприятие усилий, определенных в соответствии с результатами расчетов, но не менее 10 кН (1,0 тс) на 1 м длины наружной стеновой панели;

- лестничные марши и площадки следует связывать с вертикальными элементами, покрытием или перекрытием расчетными связями;

- предусматривать участки (скрытые балки), запроектированные в соответствии с требованиями по степени огнестойкости, предъявляемыми к несущим конструкциям. Эти участки, имеющие арматуру, расположенную с увеличенным защитным слоем, соединяют вертикальные несущие конструкции и обеспечивают устойчивость здания при защите от прогрессирующего обрушения. Количество и места расположения арматуры определяются расчетом. В случае применения сборных плит перекрытия, в которых нет такой арматуры, необходимо устраивать специальные монолитные участки (см. приложение Ж, рисунок Ж.4).

8.4 Для кирпичных зданий и сооружений предусматривают следующие дополнительные конструктивные мероприятия:

- на каждом этаже по периметру здания следует устраивать пояс армированной кладки между верхом надпроемных перемычек и низом перекрытия. Если низ перекрытия совпадает с верхом надпроемных перемычек, то перемычки необходимо выполнять монолитными железобетонными и непрерывными по всему контуру наружных или внутренних стен, то есть необходимо устраивать непрерывный монолитный железобетонный пояс по типу антисейсмического (см. приложение Ж, рисунки Ж.5, Ж.6). Требуемую площадь арматуры кладки и монолитного пояса следует определять расчетом;
- толщину внутренних несущих кирпичных стен и внутреннего слоя несущих наружных стен следует принимать по расчету, но не менее 380 мм;
- следует предусматривать горизонтальные в продольном и поперечном направлениях связи между плитами перекрытий и покрытия, обеспечивающие необходимую прочность дисков перекрытий и покрытия при растяжении и сдвиге (см. приложение Ж, рисунок Ж.2). При этом связи следует проектировать на восприятие усилий, определенных в соответствии с результатами расчетов, по требованиям СП 15.13330, но не менее усилий, приведенных в 8.3;
- в перекрытиях следует предусматривать устройство скрытых балок и установку дополнительной арматуры в плитах перекрытия (см. приложение Ж, рисунок Ж.4).

8.5 Дополнительные конструктивные мероприятия, помимо регламентируемых положениями СП 44.13330, СП 54.13330, СП 56.13330, возможные для применения в одноэтажных и многоэтажных каркасных зданиях и сооружениях различного назначения, приведены в приложениях Г и Д.

8.6 Для зданий и сооружений со стальным каркасом предусматривают следующие дополнительные конструктивные мероприятия:

- при проектировании стальных конструкций следует исключить возможность хрупкого разрушения конструктивных элементов и их узлов с соблюдением требований, изложенных в СП 16.13330, для исключения сочетания неблагоприятных факторов;
- для обеспечения пластичной работы конструктивной системы следует применять малоуглеродистые и низколегированные стали с относительным удлинением не менее 20 %;
- для повышения пространственной жесткости и устойчивости к прогрессирующему обрушению конструкций со стальным каркасом следует предусматривать эффективную систему связей. Связи должны быть запроектированы таким образом, чтобы они не выключались из работы и допускали без разрушения развитие необходимых деформаций для перераспределения силовых потоков после локального разрушения одного из несущих элементов.

8.7 Для большепролетных зданий и сооружений предусматривают дополнительные конструктивные мероприятия:

- конструктивную систему большепролетного здания следует проектировать с альтернативными путями передачи силовых потоков в сооружении, с учетом возможного удаления одного из несущих конструктивных элементов и обеспечением локализации зоны возможного разрушения конструктивной системы;
- необходимо предусматривать усиление вертикальных и горизонтальных несущих конструктивных элементов сооружения для обеспечения восприятия и перераспределения возможных аварийных воздействий;
- выбор защиты сооружений от прогрессирующего обрушения следует выполнять с учетом разработки экономичных конструктивных решений.

Приложение А

Дополнительные коэффициенты условий работы при расчете на устойчивость против прогрессирующего обрушения

А.1 Нормативные характеристики сопротивления материалов для бетонных и железобетонных конструкций при обеспечении требуемого уровня контроля качества, установленного действующими нормативными документами, в случае расчета на устойчивость против прогрессирующего обрушения следует умножать на дополнительный коэффициент условий работы особого предельного состояния, принимаемый равным 1,15. Интенсивный рост прочности бетона после возведения здания (за первый период в течение 3 мес) необходимо учитывать дополнительным коэффициентом условия работы особого предельного состояния, равным 1,25.

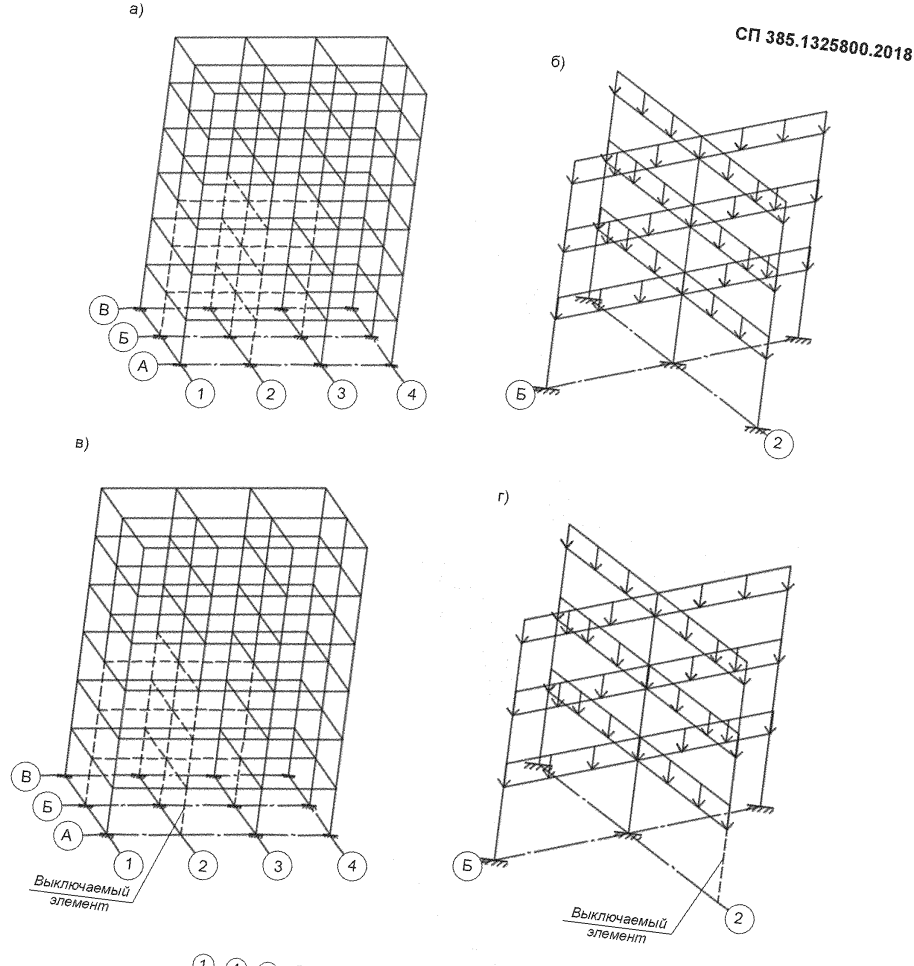
А.2 Нормативные характеристики сопротивления прокатной стали следует принимать по СП 16.13330 с учетом допустимости работы пластичных сталей за пределом текучести. Коэффициент условий работы особого предельного состояния для пластичных сталей с пределом текучести в соответствии с СП 296.1325800 следует принимать равным 1,1.

Приложение Б

Алгоритм расчета на устойчивость против прогрессирующего обрушения в квазистатической и динамической постановках

Расчетный анализ на устойчивость против прогрессирующего обрушения выполняется в квазистатической или динамической постановке и должен включать следующие процедуры:

- по принятым на начальной стадии в соответствии с положениями 7.2 и 7.5 первичной (см. рисунок Б.1, а) и вторичной (см. рисунок Б.1, б) расчетным схемам определяется напряженно-деформированное состояние в элементах конструктивной системы при условиях нормальной эксплуатации;
- в первичной расчетной схеме выключается один из вертикальных или горизонтальных несущих элементов (сечений) и строятся вторичные расчетные схемы с исключенным элементом первого (см. рисунок Б.1, в) и второго (см. рисунок Б.1, г) уровней. При этом нагрузки во вторичной расчетной схеме принимают в соответствии с разделом 6. Мгновенное удаление выключаемого элемента моделируется усилиями, определенными в этом элементе при расчете по первичной расчетной схеме, прикладываемыми во вторичной расчетной схеме с обратным знаком. В случае если при всех возможных сценариях особого аварийного воздействия (удаления одного из конструктивных элементов) догружение конструктивной системы сооружения носит постепенный статический характер, например осадка основания при замачивании, вызванном прорывом коммуникаций (учитываемая согласно СП 296.1325800, СП 21.13330, СП 116.13330), усилия, действовавшие в выключаемом элементе при расчете по первичной расчетной схеме, во вторичной расчетной схеме допускается принимать равными нулю;
- проводят расчет конструктивной системы с удаленным элементом по вторичной расчетной схеме и определяют напряженно-деформированное состояние в элементах конструктивной системы, возникающее при локальном разрушении (выключении несущего элемента);
- с учетом требований, изложенных в приложении Е, проводят критериальную проверку несущей способности элементов конструктивной системы для особого предельного состояния конструкций по нормальным и наклонным сечениям, а также для узлов сопряжения элементов конструктивной системы между собой. В случае, указанном в приложении Е (при больших прогибах), следует рассматривать работу перекрытий над удаленной колонной (пилоном, стеной) как работу элементов висячей системы. При этом должна быть конструктивно обеспечена возможность восприятия возникающих горизонтальных усилий;
- если в процессе критериальной проверки условие прочности в каких-либо сечениях (узлах, связях) не выполняется, то проводят корректировку вторичной расчетной схемы, в которой исключаются эти сечения, проводят перерасчет конструктивной системы и вновь проверяют условия прочности сечений (узлов, связей);
- если не происходит сходимость итерационного процесса, то нарушается условие прочности, и наступает прогрессирующее обрушение.



1–4; А–В — координатные оси здания

Рисунок Б.1 — Первичная расчетная схема первого (а) и второго (б) уровней, вторичная расчетная схема первого (в) и второго (г) уровней

Приложение В

Алгоритм расчета на устойчивость против прогрессирующего обрушения кинематическим методом теории предельного равновесия

Расчет при каждой выбранной расчетной схеме выполняют следующим образом:

- задают наиболее вероятные механизмы разрушения элементов сооружения, потерявших опору (задать механизм разрушения — означает определить все разрушаемые связи, в том числе и образовавшиеся пластические шарниры, и найти возможные обобщенные перемещения w_i по направлению усилий в этих связях); наиболее вероятному механизму разрушения соответствует минимум потенциальной энергии конструкции на возможных (обобщенных) перемещениях;
- для каждого из выбранных механизмов разрушения следует определить предельные усилия, которые могут быть восприняты сечениями всех пластично разрушаемых элементов и связей S_i, в том числе и пластических шарниров;
- находятся равнодействующие G_i внешних сил, приложенных к отдельным звеньям механизма, то есть к отдельным неразрушаемым элементам или их частям, и перемещения по направлению их действия u_i;
- определяют работы внутренних сил W и внешних нагрузок U на возможных перемещениях рассматриваемого механизма:

$$W = \sum_i S_i w_i, \tag{В.1}$$

$$U = \sum_i G_i u_i; \tag{В.2}$$

- проверяют условие равновесия

$$W \geq U. \tag{В.3}$$

Если при какой-либо расчетной схеме условие равновесия не выполняется, то следует провести усиление конструктивных элементов либо с помощью иных мероприятий (например, учесть работу ненесущих элементов в расчетной схеме) добиться выполнения условия равновесия.

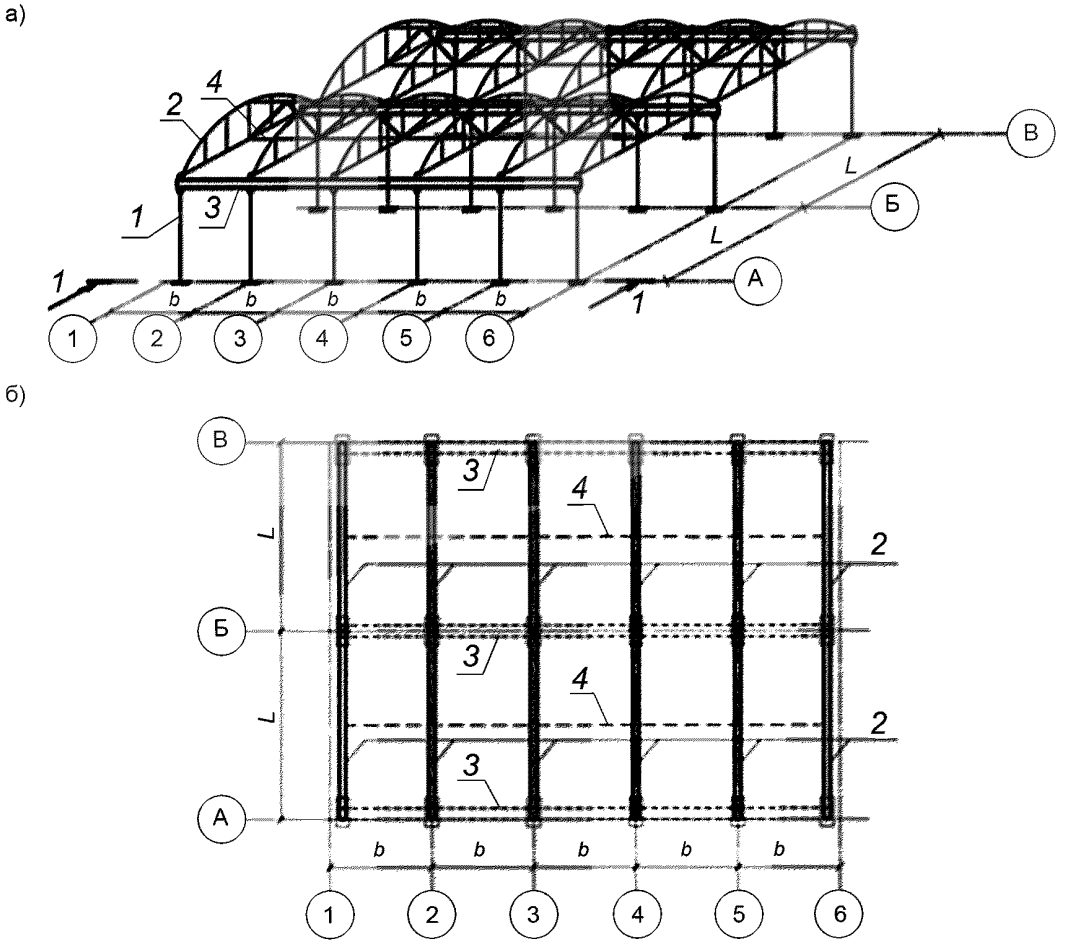
Кроме того, в несущих вертикальных элементах, не расположенных над зоной локального разрушения, воздействие от локального разрушения приводит к увеличению напряжений и усилий. Необходимо выполнить проверку несущей способности этих элементов.

Приложение Г

Дополнительные конструктивные мероприятия для одноэтажных каркасов зданий

Г.1 По всем продольным рядам колонн устанавливают при необходимости неразрезные подстропильные конструкции (см. рисунок Г.1 а, б), обеспечивающие перераспределение усилий после локального разрушения одного из несущих элементов каркаса.

Г.2 В несущую систему устанавливают при необходимости связи, которые обеспечивают устойчивость всей системы, в количестве не менее одной в каждом пролете, обеспечивающие устойчивость положения строительных конструкций и включение в работу диска всего покрытия.



1 — колонна; *2* — стропильная конструкция; *3* — подстропильная конструкция; *4* — связевая ферма в вертикальной плоскости из плоскости стропильной конструкции; (1)–(6); (А)–(В) — координатные оси здания; *b* — шаг колонн; *L* — пролет

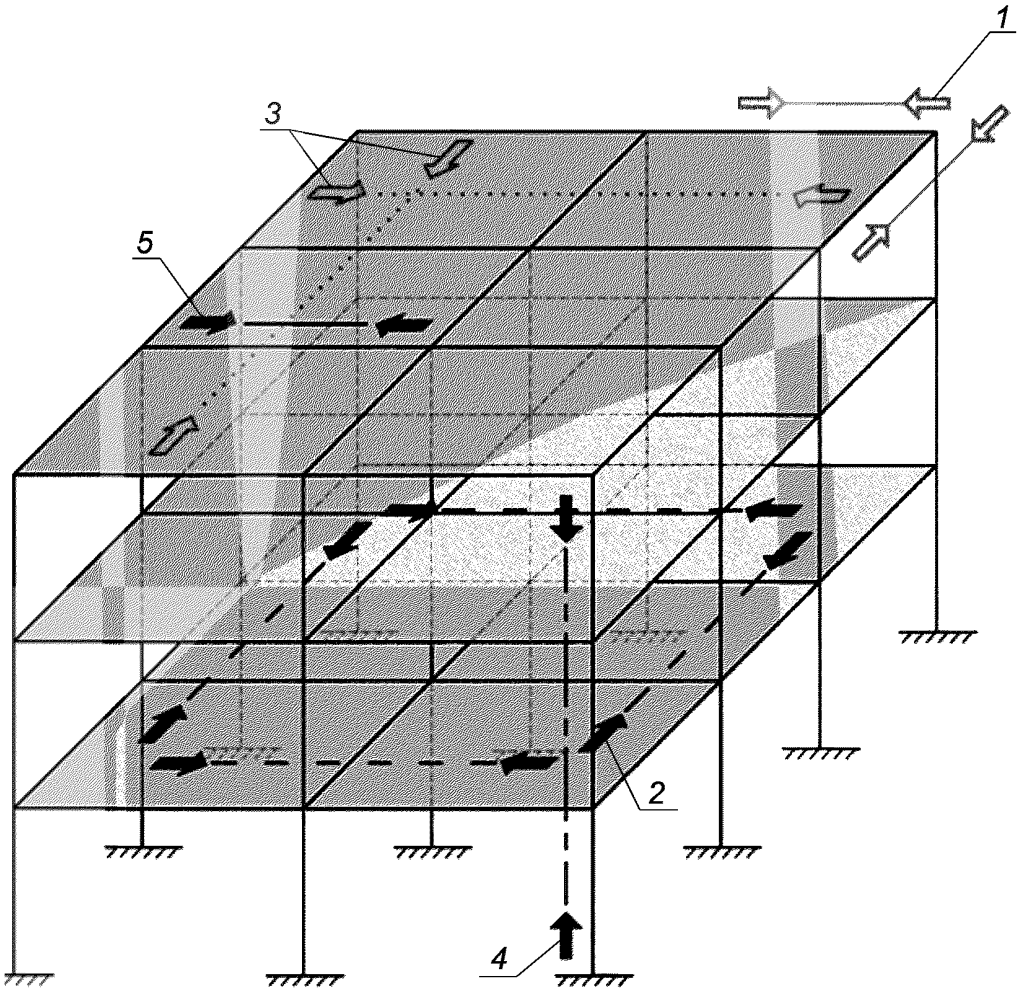
Рисунок Г.1 — Схема расположения подстропильных конструкций и связей в одноэтажном здании: пространственная схема каркаса (а) и план здания (б)

Г.3 Проектируют узлы и соединения элементов покрытия и резервируют их прочность таким образом, чтобы в случае локального разрушения одного из элементов каркаса здания были обеспечены включение в работу пространственной системы несущих элементов и исключение их прогрессирующего обрушения.

Приложение Д

Дополнительные конструктивные мероприятия для многоэтажных каркасов зданий

Д.1 Устанавливают при необходимости внутренние связи в уровне каждого перекрытия или покрытия в двух взаимно перпендикулярных направлениях, обеспечивающих несущую способность дисков перекрытий при растяжении и сдвиге и работающих на всей длине (см. рисунок Д.1).



1 — связи по угловым колоннам; *2* — контурные связи; *3* — внутренние связи; *4* — вертикальные связи; *5* — горизонтальные связи по внешним колоннам или стенам

Рисунок Д.1 — Возможная схема расположения связей в многоэтажном каркасном здании

Д.2 Устанавливают контурные периферийные связи на расстоянии не более чем 1,2 м от края в каждом перекрытии или покрытии. Этими связями следует обеспечивать несущую способность дисков перекрытий и покрытий при растяжении и сдвиге. Связи следует проектировать на основании расчета на восприятие растягивающих усилий одной связью не менее 10 кН на 1 пог. м контура здания.

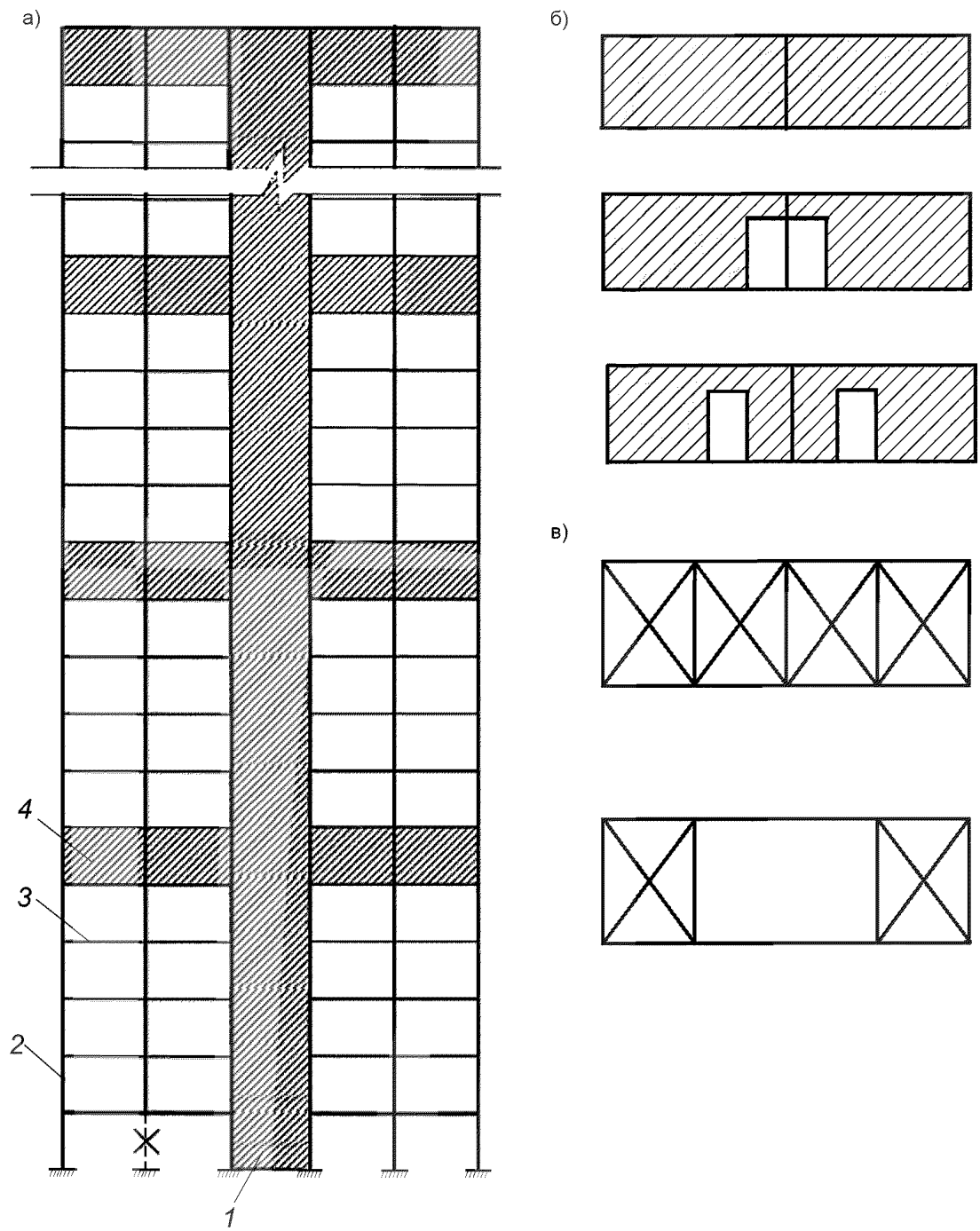
Д.3 Устанавливают горизонтальные связи по наружным колоннам или стенам в пределах перекрытий и покрытия. Этими связями следует обеспечивать восприятие усилий растяжения не менее 20 кН на 1 пог. м фасада здания.

Д.4 Устанавливают вертикальные связи, которые связывают колонны каркасного здания или сооружения на всю его высоту. Эти связи следует рассчитывать на растягивающее усилие, равное значению осевой продольной силы, которая действует в колонне любого из этажей при основных сочетаниях нагрузок. Стыковку связей не допускается выполнять в опорных узлах и середине высоты колонны. Их рекомендуется выполнять на 1/3—1/4 высоты этажа.

Д.5 Для обеспечения объединения балок с перекрытием расчетными связями (например, для сталежелезобетонного перекрытия) следует предусмотреть объединение стальных балок с монолитным перекрытием с помощью стад-болтов или специальных упоров в соответствии с требованиями СП 266.1325800.

Д.6 Обеспечивают жесткое сопряжение балок с колоннами минимум одного направления.

Д.7 Вводят в несущую систему многоэтажного здания или сооружения аутригерные конструкции (см. рисунок Д.2, а) в виде систем перекрестных сплошных или сквозных ферм (см. рисунок Д.2, б, в), рассчитанных на восприятие усилий, определяемых в соответствии с результатами расчетов по первичной и вторичной расчетным схемам.



1 — ядро жесткости; *2* — колонны; *3* — ригели; *4* — аутригерная конструкция

Рисунок Д.2 — Схема расположения аутригерных конструкций (а) и типы этих конструкций сплошного (б) или сквозного (в) сечения

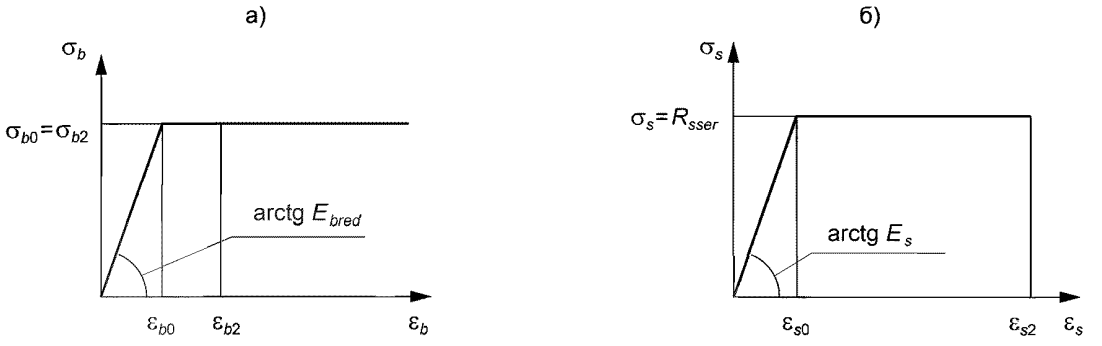
Приложение Е

Критерии несущей способности конструкций для особого предельного состояния

При расчете зданий и сооружений на устойчивость против прогрессирующего обрушения критерии несущей способности при соответствующем обосновании допускается формировать, как для особого предельного состояния.

В качестве критериев особого предельного состояния в рассматриваемом расчетном сечении конструкции следует принимать:

- ограничение деформаций сжатого бетона предельными значениями ε_{b2}, определяемыми по билинейной диаграмме состояний при его кратковременном деформировании (см. рисунок Е.1) и значениях напряжений, равных φR_{bser}. Значение деформаций сжатия тяжелого, мелкозернистого и напрягающегося бетонов следует принимать 0,0035. При этом допускается учитывать увеличение прочности бетона при динамическом нагружении коэффициентом φ_b, равным 1,15. При пластическом характере разрушения сечения (из-за текучести арматуры) значение φ_b принимают равным единице;
- ограничение деформаций растянутой арматуры предельными значениями относительных деформаций ε_{s2}, принимаемыми для стали с физическим пределом текучести равными 0,025, а для стали с условным пределом текучести — 0,015. При этом в обоих случаях значения напряжений принимают равными R_{sser}. Коэффициент увеличения динамической прочности арматуры φ_s принимают равным единице;
- для стальных конструкций относительные предельные деформации сталей с физическим пределом текучести принимают равными 0,025, а для сталей с условным пределом текучести — 0,010.



E_{bred} — модуль деформации бетона; E_s — модуль деформации арматуры; ε_b — деформации бетона; ε_s — деформации арматуры; σ_b — напряжения бетона; σ_s — напряжения арматуры

Рисунок Е.1 — Диаграммы для определения предельных деформаций бетона (а) и арматуры (б) для особого предельного состояния

В случае если критерий несущей способности по сжатому бетону для рассматриваемого конструктивного элемента на участке длиной больше чем 1/3 пролета не выполняется для трех и более сечений, а критерий для растянутой арматуры в этих сечениях удовлетворяется, допускается работу перекрытий над удаленным вертикальным элементом (колонной, пилоном, стеной) рассматривать как работу элементов висячей системы. При этом должны быть выполнены критерии обеспечения анкеровки арматуры и восприятия усилий распора.

При проверке несущей способности элементов конструктивной системы по вторичной расчетной схеме кроме прочности должна быть обеспечена устойчивость всех элементов. При этом в зависимости от материала конструкций используют критерии СП 16.13330 и СП 63.13330.

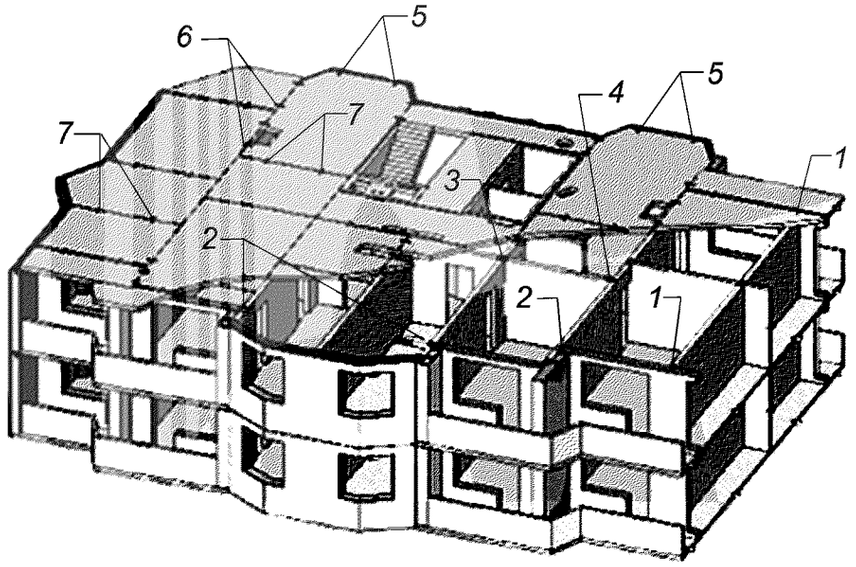
Прогибы изгибаемых элементов конструктивной системы для особого предельного состояния при условии обеспечения минимально допустимой длины зоны опирания во всех случаях не должны превышать 1/50 длины пролета.

Приложение Ж

Возможные варианты конструктивных решений связей в крупнопанельных, кирпичных и комбинированных конструкциях зданий и сооружений

Установка системы связей в крупнопанельных, кирпичных и комбинированных конструкциях зданий и сооружений в общем случае может быть выполнена по схеме, приведенной на рисунке Ж.1.

Горизонтальные связи (см. рисунок Ж.2) следует проектировать на восприятие усилий, определенных в соответствии с результатами расчетов, но не менее 15 кН (1,5 тс) на 1 м ширины здания и 10 кН (1,0 тс) на 1 м длины здания [для зданий башенного типа не менее 10 кН (1 тс) на 1 м размера здания в плане]. Расстояние между связями следует назначать не более 3,0 м.



1 — связь между панелями наружных и внутренних стен; *2* — связь между продольными наружными несущими стенами; *3* — связь между продольными внутренними стенами; *4* — связь между поперечными и продольными внутренними стенами; *5* — связь между наружными стенами и плитами перекрытий; *6* — связь между плитами перекрытий вдоль длины здания; *7* — связь между плитами перекрытий поперек длины здания

Рисунок Ж.1 — Схема расположения связей в крупнопанельном здании

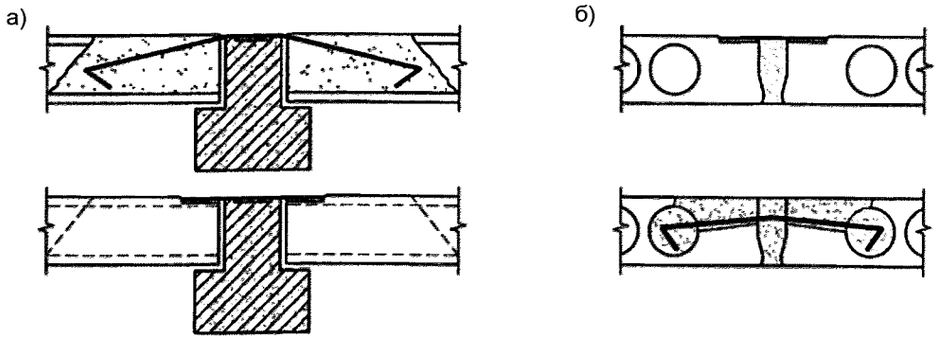
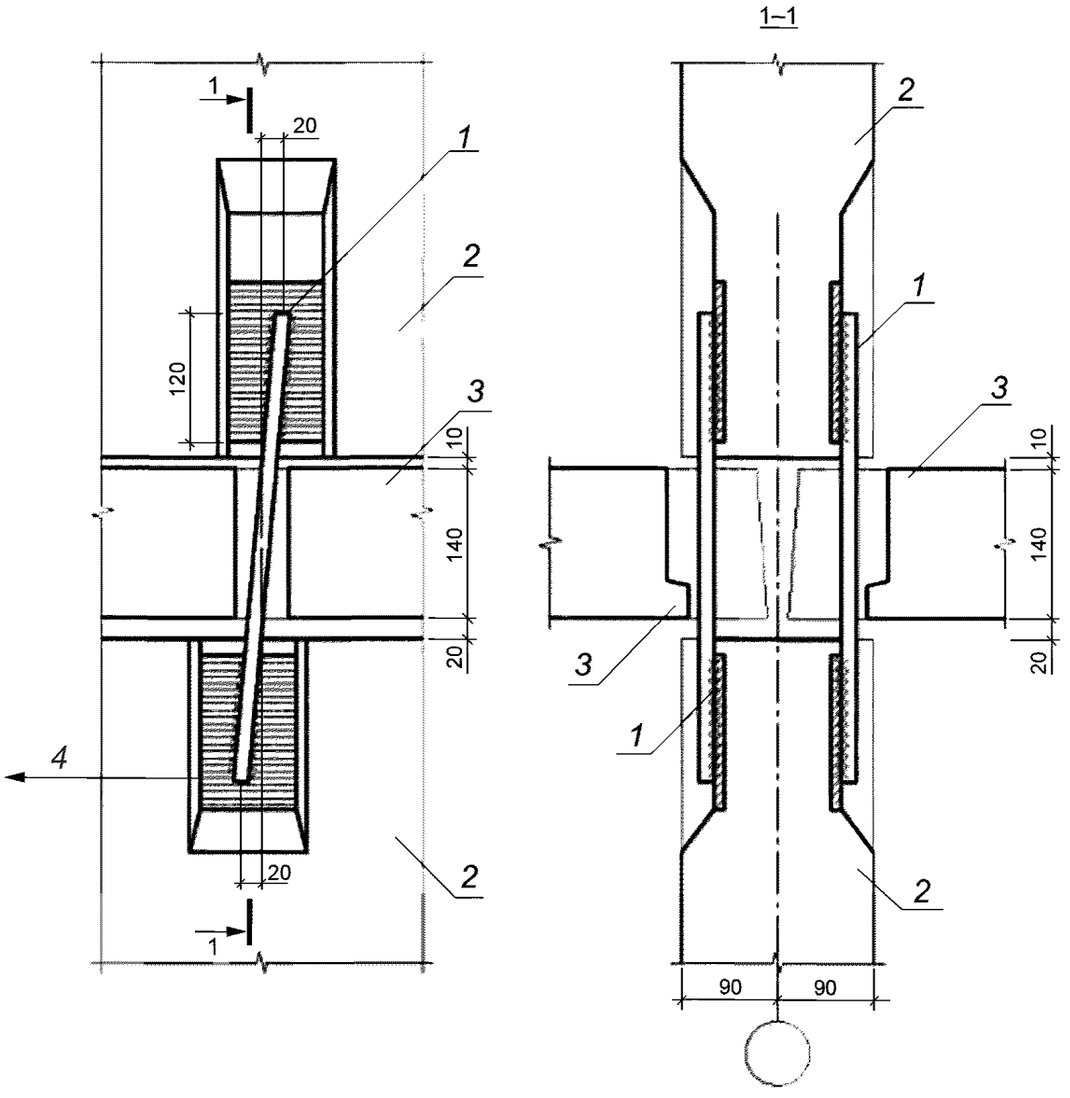


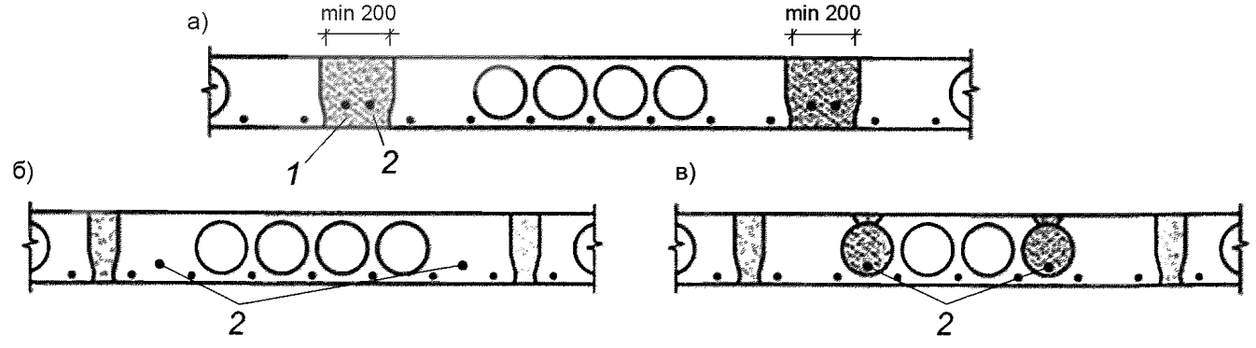
Рисунок Ж.2 — Варианты соединения плит перекрытия с ригелями (а) и между собой (б)

Вертикальные связи (см. рисунок Ж.3) следует устанавливать не менее двух на стеновую панель. При этом если внутренняя стена состоит из нескольких стеновых панелей, объединенных в их вертикальном стыке вертикальными связями, то требуется установка не менее двух связей на внутреннюю стену. Указанные связи следует проектировать на восприятие усилий, определенных в соответствии с результатами расчетов, но не менее 25 кН (2,5 тс) на 1 м длины стеновой панели.



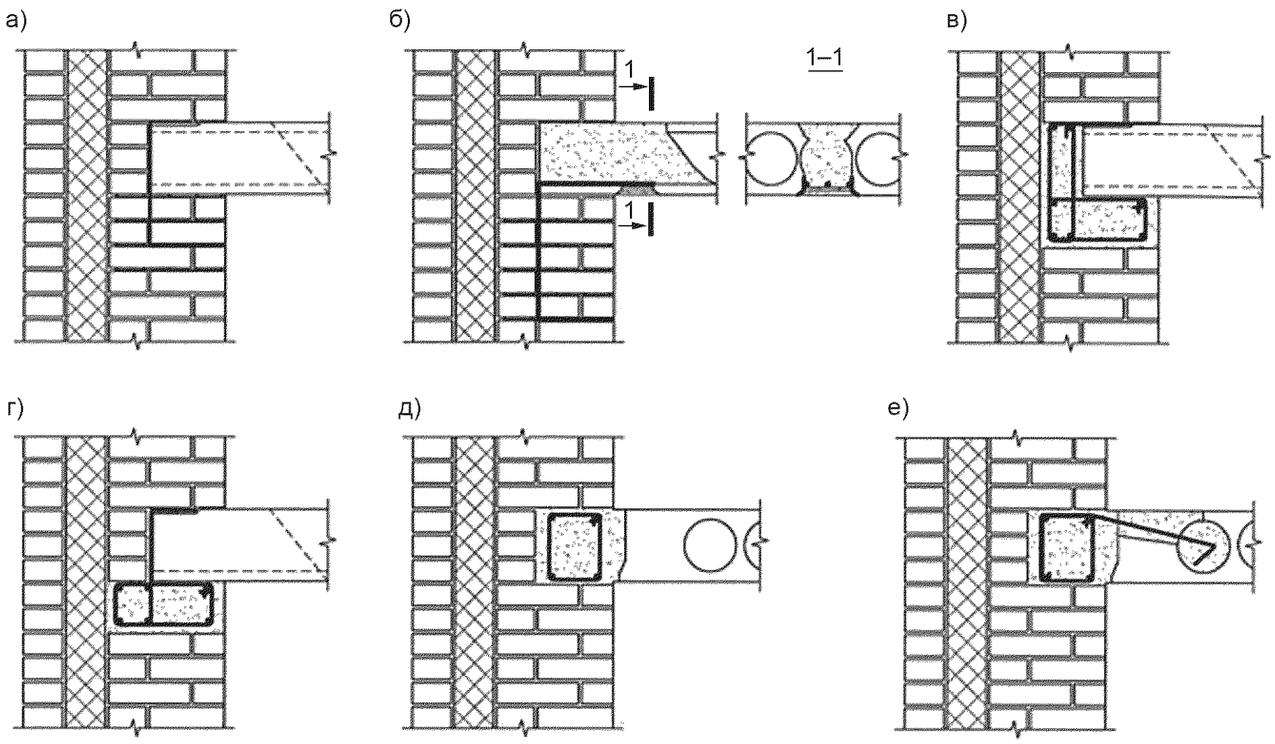
1 — вертикальная связь; *2* — внутренняя стеновая панель; *3* — плита перекрытия; *4* — направление расположения наружной стены

Рисунок Ж.3 — Вариант вертикальных (междуэтажных) связей между несущими стеновыми панелями



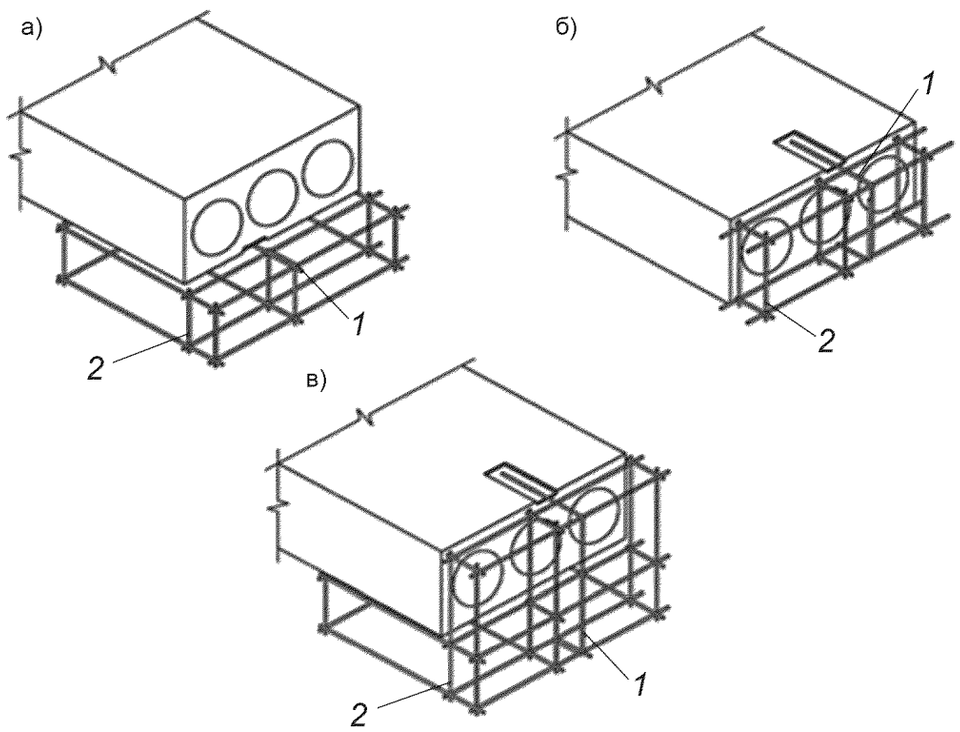
1 — бетон; *2* — арматура

Рисунок Ж.4 — Варианты укладки дополнительной арматуры с увеличенным защитным слоем в монолитных участках при монтаже (а), плитах перекрытия при изготовлении (б) и замоноличенных пустотах плит перекрытия (в)



а), б) — армокирпичные пояса; в), г), д), е) — железобетонные пояса

Рисунок Ж.5 — Варианты устройства армированных поясов и анкеровки плит перекрытия



а) — каркас железобетонного пояса под торцом панели; б) — каркас у торца панели с анкером;
в) — каркас под торцом и у торца панели с анкером; *1* — анкер; *2* — каркасы для железобетонных поясов

Рисунок Ж.6 — Варианты анкеровки панелей перекрытий

Приложение И

Классификация зданий и сооружений по требованиям к защите зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения

Уровень ответственности	Требования к защите	Перечень объектов по уровню ответственности
1 Повышенный	1 Расчетная проверка с использованием пространственных расчетных схем по первому предельному состоянию с удалением одного из несущих элементов (см. раздел 7), с учетом нормативных характеристик материалов конструкций, физической, геометрической и конструктивной нелинейности. 2 По требованию заказчика в задании на проектирование (в дополнение к необходимым требованиям по несущей способности) могут быть установлены дополнительные требования по обеспечению трещиностойкости и деформативности конструкций сооружения при локальном разрушении	Перечень (или классификация) особо опасных, технически сложных и уникальных объектов, установленный [3, статья 48.1] (за исключением сооружений, не входящих в область применения настоящего свода правил)
2 Нормальный	Расчетная проверка зданий и сооружений по пространственным расчетным схемам по первому предельному состоянию с удалением одного из несущих элементов (см. раздел 7), с учетом нормативных характеристик материалов конструкций, физической, геометрической и конструктивной нелинейности	Все сооружения, при проектировании и строительстве которых используются принципиально новые конструктивные решения и технологии, которые не прошли проверку в практике строительства и эксплуатации. Перечень других зданий принимают в соответствии с положениями ГОСТ 27751, за исключением указанных в пункте 1 настоящей таблицы
3 Пониженный	Нет требований	Здания и сооружения, не перечисленные выше

Примечания

1 По требованию заказчика в задании на проектирование (в дополнение к необходимым требованиям по несущей способности) могут быть установлены дополнительные требования, например по обеспечению трещиностойкости и/или деформативности конструкций сооружения при локальном разрушении.

2 Для зданий и сооружений нормального уровня ответственности допускается не выполнять расчет и проектирование защиты от прогрессирующего обрушения в случаях, если их необходимость не указана в приложении И или нормативных документах, включенных в перечни, указанные в [1, статья 6, части 1, 7].

Библиография

[1] Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»
[2] Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании»
[3] Федеральный закон от 22 декабря 2004 г. № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации»
[4] Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»

УДК 699.883; 69.003.12 ОКС 21.120.25

Ключевые слова: здания и сооружения, прогрессирующее обрушение, защита, правила проектирования, расчетные модели, конструктивные решения

Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Е.Р. Ароян*
Компьютерная верстка *Д.В. Кардановской*

Сдано в набор 01.10.2018. Подписано в печать 18.10.2018. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,51.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком свода правил

ИД «Юриспруденция», 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 11.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

Создано в единичном исполнении ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru