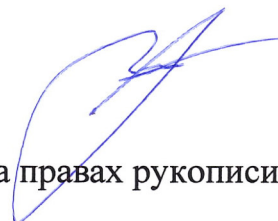


АО «Центральный научно-исследовательский и проектно-
экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений»
(АО «ЦНИИПромзданий»)



На правах рукописи

Щедрин Олег Сергеевич

Дифференцированный уровень ответственности железобетонных
конструкций многоэтажных каркасных зданий

2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор,
Трекин Николай Николаевич

Москва – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Глава 1. Классификация зданий и несущих элементов по ответственности....	14
1.1 Классификация зданий и сооружений.....	14
1.2 Классификация отдельных конструктивных элементов.....	27
1.3 Учет ответственности зданий, сооружений и отдельных конструктивных элементов	30
1.4 Выводы по главе	33
Глава 2. Размеры площадей перекрытий в запредельном состояний и степень перераспределения усилий вследствие отказа колонн.....	36
2.1 Задачи расчетных исследований (численного эксперимента)	36
2.2 Основные сведения об объекте исследования и методах исследования ..	37
2.3 Определение площадей междуэтажных перекрытий здания, находящихся в запредельном состоянии при расчете по упругой схеме	42
2.4 Определение площадей междуэтажных перекрытий здания, находящихся в запредельном состоянии при расчете с учетом неупругих деформаций	51
2.5 Определение степени перераспределения усилий при отказе колонн.....	55
2.6 Выводы по главе	68
Глава 3. Определение показателя ответственности колонн с учетом вероятности отказа	69
3.1 Общие положения	69
3.2 Метод статистических испытаний	72
3.3 Прочность бетона $R_{бет}$	73
3.4 Прочность арматуры R_s	74
3.5 Равномерно распределенная нагрузка на перекрытие F	75
3.6 Полученные результаты	77
3.7 Выводы по главе	89

Глава 4. Уровень ответственности железобетонных колонн многоэтажного каркасного здания	90
4.1 Анализ критериев для определения уровня ответственности колонн первого этажа.....	90
4.2 Классификация вертикальных несущих элементов по уровню ответственности в зависимости от расположения в плане	98
4.3 Определение условий соответствия нормируемому техническому и напряженно-деформированному состоянию участков перекрытий по высоте многоэтажного здания после отказа колонны первого этажа	100
4.4 Анализ условий обрушения и деформирования участков перекрытий многоэтажного каркасного здания из монолитного железобетона	106
4.5 Распределение коэффициентов надежности по ответственности колонн по этажам многоэтажного здания.....	114
4.6 Выводы по главе	117
Заключение	118
Список литературы	120
Приложение А	141
Приложение Б.....	143

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Метод расчета по предельным состояниям, разработанный в нашей стране в 1940-е годы, получил убедительное подтверждение в практике проектирования зданий и сооружений различного назначения.

Метод расчета по предельным состояниям постоянно совершенствуется, в том числе путем уточнения отдельных положений в части требований к защите от прогрессирующего обрушения, в части обеспечения сейсмостойкости, также уточняются коэффициенты надежности. При этом учитывается опыт расследования причин аварий и используются вероятностные методы расчета и оценки риска.

В настоящее время уровень ответственности (класс сооружения) в нормативной литературе приняты для всего здания (сооружения). Этот комплексный показатель влияет на выбор нагрузочных факторов, качество используемых материалов, а, следовательно, на их долговечность. Установлено, что уровень ответственности здания определяется объемом последствий его обрушения. Учету подлежат экономические, социальные и экологические последствия [44]. Надежность и безопасность конструктивной системы в целом и отдельных элементов взаимосвязаны [3,66,79,89]. Значимость каждого несущего элемента в системе здания по обеспечению общей механической безопасности различна, однако в современных методах расчета конструкций по предельным состояниям этот показатель не учитывается.

Для многоэтажных зданий несущие элементы, например, колонны нижних этажей, при их отказе могут привести к значительно большему объему разрушений по сравнению с разрушением колонн верхних этажей. Рассматривая изгибаемые элементы, например, ригели, следует отметить, что с увеличением пролета площадь обрушений так же увеличивается практически пропорционально пролету. Характеристики материалов и нагрузочные факторы при определении армирования колонн и ригелей принимаются по единой методике. Очевидно, что запасы прочности для более ответственных элементов

необходимо создавать большими, а для менее ответственных – меньшими в процентном отношении к фактической несущей способности.

В нормах проектирования некоторых стран [40,89,163,175,184] введены три категории несущих конструкций, охарактеризовать их можно следующим образом: - наиболее ответственными элементами являются те, отказ которых может привести к прогрессирующему обрушению всего или части здания; - ко второй категории относятся конструкции, отказ которых снижает работоспособность несущей системы здания или приводит к разрушению примыкающих элементов; - третья категория конструкций характеризуется тем, что их отказ практически не нарушает нормальную эксплуатацию здания. Такой подход уже на стадии проектирования способствует более рациональной компоновке конструктивной схемы.

Таким образом, за основной критерий оценки значимости отдельных конструкций целесообразно принять возможный объем разрушений, вызванный отказом рассматриваемой несущей конструкции, по величине которого будут назначаться коэффициенты надежности несущих элементов по ответственности. Для многоэтажных каркасов из монолитного бетона этот критерий может соответствовать суммарной площади обрушения перекрытий.

Установление дифференцированных коэффициентов надежности по ответственности для несущих элементов позволит более рационально подготавливать сценарии возможных аварийных ситуаций для анализа сопротивления несущей системы прогрессирующему обрушению. Такой подход также позволяет снизить затраты на выполнение мероприятий по обеспечению защиты от прогрессирующего обрушения, сохраняя при этом необходимый уровень надежности и безопасности здания или сооружения. В дальнейшем данный подход можно будет распространить на здания и сооружения с различными конструктивными решениями.

Степень разработанности темы исследований

Создание и развитие методов расчета по предельным состояниям, развитие теории надежности связано с трудами известных ученых: В. В. Болотина [20-23],

В.М. Бондаренко [24,25], Е. С. Вентцель [29-31], А. А. Гвоздева [33,34], А. Ф. Лолейта [63], М. Майера [173], А. Р. Ржаницына [106-109], Н. С. Стрелецкого [113-115], Н. Ф. Хоциалова [155], S. Kokot [172], G. Solomos и др.

Дальнейшее развитие методов расчета по предельным состояниям, теории железобетонных конструкций, теории надежности, вероятностных методов расчета, теории рисков, комплексной безопасности связано с работами В. О. Алмазова [1,2], Г. Аугусти [3], В. Н. Байкова [5,6], А. Баратта [3], Б. И. Беяева [18,19], В. З. Власова [32], Ю. П. Гущи, А. В. Забегаева, Л. Заде [42], А. С. Залесова [43], О. В. Кабанцева, Н. И. Карпенко [45-46], Ф. Кашиати, Э. Н. Кодыша [49-53], В. И. Колчунова [54-55], С. Б. Крылова, А. П. Кудзиса [56-59], В. А. Легасова, А. С. Лычева [64-71], Н. А. Махутова [74-79], А. П. Мельчакова [4,81,82], К. В. Михайлова, О. В. Мкртычева [83-85], В. И. Мурашова, Т. А. Мухамедиева, П. Л. Пастернака, А. В. Перельмутера [7,88-96], С. Ф. Пичугина [97], Н. Н. Попова, В. Д. Райзера [98-102], Б. С. Расторгуева [104], И. Н. Серпика, Н. Н. Складнева [111], Ю.М. Стругацкого [124], А. Г. Тамразяна [125-135, 181], В. И. Травуша [112,136-140], Н. Н. Трекина [38,141-145], В. В. Тура [103,146-153], Н.В. Федоровой, В. П. Чиркова, Е. А. Чистякова, Г. И. Шапиро [157], Н. В. Эйсмана.

Цели и задачи

Целью диссертационной работы является разработка методики назначения коэффициентов надежности по ответственности вертикальных несущих элементов многоэтажных каркасных зданий из монолитного железобетона.

Задачи исследований:

1. Обоснование целесообразности назначения дифференцированных коэффициентов надежности по ответственности для основных несущих элементов каркасной системы с целью повышения механической безопасности здания и рационального распределения материалов в несущей системе здания;
2. Проведение анализа имеющихся требований отечественных и зарубежных нормативных документов к идентификации, классификации зданий,

требований к определению уровня ответственности зданий, сооружений в целом и отдельных конструктивных элементов;

3. Выявление наиболее значимых критериев для определения уровня ответственности вертикальных несущих конструкций каркасного здания;

4. Численные исследования с использованием вычислительного комплекса SCAD Office 21.1, ПК ЛИРА-САПР по определению объемов разрушений конструкций вследствие начального локального поочередного отказа колонн и вызванные этим величины перераспределения усилий в несущих элементах;

5. Численные исследования вероятности отказа колонн первого этажа в зависимости от изменчивости расчетных факторов – нагрузки и характеристик материалов и расположения колонн в плане здания;

6. Анализ распределения критериев уровня ответственности колонн по показателям объемов разрушений и степени перераспределения усилий на сопряженные вертикальные элементы в зависимости от их месторасположения при очередном локальном отказе колонн по плану здания и по высоте;

7. Подтверждение результатами вероятностных расчетов строительных конструкций критериев уровня ответственности отдельных несущих конструкций;

8. Классификация конструктивных элементов по уровню ответственности в зависимости от нагруженности элементов, их месторасположения, от степени влияния на перераспределение усилий на другие конструктивные элементы при их отказе и тяжести последствий разрушений, вызванных таким отказом;

9. Проведение численных исследований с использованием дифференцированной ответственности колонн и определение экономического эффекта при условии обеспечении необходимого уровня надежности и безопасности.

Объект исследования

Несущие строительные конструкции монолитных железобетонных многоэтажных каркасных зданий и уровень их ответственности при выполнении расчетов на эксплуатационные и аварийные воздействия.

Предмет исследования

Определение коэффициента надежности по ответственности отдельных несущих конструктивных элементов на примере колонн многоэтажных каркасных зданий из монолитного железобетона в зависимости от их расположения в плане и по высоте здания.

Научно-техническая гипотеза диссертации

В каркасных зданиях основные несущие конструктивные элементы – колонны имеют дифференцированный уровень ответственности. Эти элементы оказывают различную степень влияния на надежность и безопасность как в процессе нормальной эксплуатации, так и при аварийных воздействиях.

Научная новизна диссертационной работы состоит в разработке методики назначения коэффициентов надежности по ответственности вертикальных несущих элементов каркасного здания из монолитного железобетона, в том числе:

1. Результаты комплексных численных исследований объемов и характера разрушений железобетонных конструкций, а также степени перераспределения усилий между несущими элементами в многоэтажном каркасном здании при поочередном отказе колонн в плане здания и по этажам;
2. Введение и обоснование критериев уровня ответственности колонн в плане здания и по этажам по показателям относительных площадей перекрытий, находящихся в предельном состоянии и степени догрузки смежных колонн при отказе рассматриваемой колонны;
3. Методика определения коэффициентов уровня ответственности на примере колонн первого этажа каркасного здания из монолитного железобетона по критерию вероятности их отказа;
4. Методика определения степени разрушения и параметров напряженно-деформированного состояния несущих элементов по высоте каркасного здания при отказе колонн первого этажа;

5. Методика назначения коэффициентов надежности по ответственности колонн многоэтажного каркасного здания из монолитного железобетона.

Теоретическая значимость:

- по результатам численных исследований обоснованы критерии, по которым следует определять уровни ответственности колонн многоэтажных каркасных зданий - объем разрушений (площади находящихся в запредельном состоянии) перекрытий с учетом степени перераспределения внутренних усилий, вызванных поочередным удалением колонн;

- разработан подход, позволяющий определять показатели уровня ответственности отдельных конструктивных элементов зданий и сооружений;

- разработана методика определения коэффициентов надежности по ответственности вертикальных несущих элементов (колонн) каркасных зданий.

Практическая значимость:

- результаты выполненных исследований могут быть применены проектными и научно-исследовательскими организациями при проектировании каркасных зданий, включая защиту при аварийной ситуации и сейсмических воздействиях, а также для оценки фактических значений рисков прогрессирующего обрушения существующего здания (сооружения);

- проведенные исследования позволят актуализировать нормативные и рекомендательные документы по проектированию защиты от прогрессирующего обрушения, обследованию и мониторингу технического состояния, а также гармонизировать и дополнить нормативные документы в части требований к идентификации и классификации зданий по ответственности;

- использование разработанных методик позволит более рационально распределять строительные материалы по несущей системе каркасного здания, повысит надежность и снизит стоимость здания.

Методология и методы исследования

Работа основана на многолетнем опыте участия АО «ЦНИИПромзданий» в совершенствовании методов расчета железобетонных конструкций, разработки

нормативных документов и использовании сертифицированных программных комплексов.

Методологической основой диссертационной работы являлись проведенные исследования российских и иностранных авторов в области повышения надежности и механической безопасности зданий, численных методов расчета конструктивных систем, с учетом особого предельного состояния, а также с учетом нелинейной работы конструкций и вероятности возникновения аварийной ситуации.

Производилось численное моделирование возникновения аварийной расчетной ситуации путем удаление несущего элемента в различных местах многоэтажного каркасного здания из монолитного железобетона с применением моделей с объемными, стержневыми и пластинчатыми конечными элементами с учетом их нелинейной работы.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты комплексных численных исследований объемов и характера разрушений железобетонных конструкций, а также степени перераспределения усилий между несущими элементами в многоэтажном каркасном здании при поочередном отказе колонн в плане здания и по этажам;

- введение и обоснование критериев уровней ответственности колонн в плане здания по показателям относительных площадей перекрытий, находящихся в запредельном состоянии и степени догружения смежных колонн при отказе рассматриваемой колонны;

- методика определения коэффициентов надежности по уровню ответственности колонн первого этажа каркасного здания из монолитного железобетона по критерию вероятности их отказа;

- методика определения степени разрушения и параметров напряженно-деформированного состояния несущих элементов по высоте каркасного здания при отказе колонн первого этажа;

- методика назначения коэффициентов надежности по ответственности колонн многоэтажного каркасного здания из монолитного железобетона и результаты численных исследований.

Степень достоверности результатов подтверждается:

- использованием при расчете современных сертифицированных программных комплексов;
- использованием базовых гипотез строительной механики и механики железобетона;
- исходные данные для численного эксперимента (нагрузки, воздействия и т.д.) были приняты по действующим нормативам;
- полученные результаты близки с требованиями действующих зарубежных норм.

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы докладывались на следующих мероприятиях:

- Семинар на тему «Обсуждение с разработчиками замечаний и внесенных в 2019 году изменений в СП 385.1325800.2018 (г. Москва, Ассоциация «Железобетон», АО «ЦНИИПромзданий», 2020);
- Международная научно-практическая конференция, посвященной 60-летию строительного института ФГБОУ ВО «БГИТУ» (секция 6 – Строительные конструкции») (г. Брянск, 2020 г.);
- III Международная научная конференция «Социотехническое гражданское строительство» (STCSE-2022) (г. Казань, 2022 г.);
- Международный строительный конгресс. Наука. Инновации. Цели. Строительство. Экспертная сессия на тему: «Уроки разрушительных землетрясений». АО «НИЦ «Строительство» (г. Москва, 2023 г.);
- VIII-й международный симпозиум «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений» (г. Тамбов, 2023 г.);

- Международный научно-практический симпозиум «Будущее строительной отрасли: Вызовы и перспективы развития»; Конференция «Проблемы обеспечения безопасности железобетонных конструкций, зданий и сооружений при современных вызовах» (г. Москва, МГСУ, 20.09.2023 г.).

Внедрение результатов работы

Результаты диссертации использованы в работах по выполнению научно-технического сопровождения при расчетах на защиту от прогрессирующего обрушения по объектам: «Многофункциональный корпус» по адресу: г. Москва, пр-т Вернадского, д. 82, стр.5; «Реконструкция и техническое перевооружение корпуса №140» АО «НПП им. С.А. Лавочкина» г. Химки; «Реконструкция и техническое перевооружение производства жидкостных ракетных двигателей, 2 очередь» по адресу: АО КБХА г. Воронеж; в 2-х научно-исследовательских работах, выполненных по заказу ФАУ ФЦС.

Публикации

Основные положения диссертации изложены в 11 работах, 6 из которых опубликованы в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы, включающего 184 наименования, и приложений. Работа изложена на 144 страницах машинописного текста, содержит 37 рисунков, 27 таблиц и 2 приложения.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

В соответствии с формулой специальности в диссертации выполнены научно-технические исследования и разработка в области рационального проектирования конструктивных систем железобетонных каркасных зданий, обеспечивающие снижение расхода материалов при сохранении конструктивной безопасности и требуемой надежности, в том числе при защите от прогрессирующего обрушения в аварийной ситуации.

Полученные в диссертационном исследовании результаты соответствуют пунктам 1, 3 и 6 паспорта научной специальности 2.1.1 «Строительные конструкции здания и сооружения».

Работа выполнена в АО «ЦНИИПромзданий». Автор выражает благодарность своему научному руководителю доктору технических наук, профессору Трекину Н. Н. и профессорам Кодышу Э.Н. и Мкртычеву О.В., а также специалистам АО «ЦНИИПромзданий» за оказанную поддержку, внимание и консультации при работе над диссертацией.

Глава 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗДАНИЙ И НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ОТВЕТСТВЕННОСТИ

1.1 Классификация зданий и сооружений

Начиная с первых выпусков в строительных нормах и правилах к зданиям и сооружениям предъявлялись требования по классификации. Классификация предназначалась для выбора наиболее экономически обоснованных решений при проектировании. Сначала в нормах строительного проектирования [120] здания и сооружения делились на три класса с их учетом капитальности, а также с учетом эксплуатационных и архитектурных требований. В свою очередь капитальность здания зависела от степени огнестойкости и долговечности основных несущих конструкций для конкретных условий эксплуатации.

СНиП II-A.3-62 [121] предусматривал деление уже на четыре класса (I, II, III и IV). К I классу относились здания и сооружения, к которым предъявлялись повышенные требования, а к IV классу предъявлялись минимальные требования. Понятие «капитальность» в [121] уже не использовалось. Класс определялся с учетом эксплуатационных требований, требований к долговечности и огнестойкости конструктивных элементов. Данные требования при проектировании обеспечивались применением необходимых строительных материалов и изделий, а также соответствующей защитой от различных воздействий (физических, химических, биологических и других). Класс зданий и сооружений или основной группы их в комплексных объектах строительства назначался организацией, выдающей задание на проектирование. Следует отметить, что в [121] допускалось для зданий (сооружений), входящих в состав комплексного объекта устанавливать в зависимости от их назначения общем комплексе различные классы. К повышенному классу относились здания и сооружения, прекращение работы которых в случае ремонта или аварии существенно нарушает работу комплексного объекта или связанного с ним предприятия.

Следует отметить, что классы, устанавливаемые вышеперечисленными документами [120,121] не учитывались при выполнении расчетов. На данном этапе развития метода предельных состояний в расчетах учитывались только три группы коэффициентов (перегрузки (n), однородности (k) и условий работы конструкций или оснований (m)).

Впоследствии в нормативных документах название таких коэффициентов несколько поменялось, но суть осталась прежней. Они стали называться коэффициентами надежности по нагрузке (γ_f), по материалу (γ_m) или грунту (γ_q), и коэффициентами условий работы (γ_d). В дополнении к перечисленным выше трем типам коэффициентов в СТ СЭВ 384-76 [122] вводится понятие коэффициентов надежности γ_n по назначению конструкций, с помощью которых учитывается степень ответственности и капитальности зданий и сооружений, а также значимость последствий наступления тех или иных предельных состояний. Способ учета и значения коэффициентов надежности по назначению устанавливались в соответствующих нормах проектирования с учетом вероятностно-экономических обоснований.

В СТ СЭВ 384-87 [123] предусматривалось 4 класса ответственности (и, I, II, III) и соответствующие им коэффициенты надежности по ответственности, конкретные значения коэффициентов надежности не приводились, было прописано только условие $\gamma_{nu} > \gamma_{nI} > \gamma_{nII} > \gamma_{nIII}$. (см. таблицу 1.1). Данным нормативным документом допускалось дополнительно учитывать ответственность отдельных элементов системы сооружений-оснований.

Таблица 1.1 – Классы ответственности по [123]

Класс	Какие здания и сооружения относятся
и	имеющие уникальное народнохозяйственное и/или социальное значение ($\gamma_{n\ u}$)
I	имеющие особо важное народнохозяйственное и/или социальное значение ($\gamma_{n\ I}$)
II	имеющие важное народнохозяйственное и/или социальное значение ($\gamma_{n\ II}$)
III	имеющие ограниченное народнохозяйственное и/или социальное значение ($\gamma_{n\ III}$)

ГОСТ 27751-88 [35] уже содержал не только общие правила отнесения зданий и сооружений к соответствующим уровням ответственности, но и

устанавливал конкретные требования к назначению коэффициентов надежности по ответственности (γ_n) (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Требования ГОСТ 27751-88 [35] в части назначения уровня ответственности

Уровень ответственности	Какие здания и сооружения относятся
I - повышенный	здания (сооружения), отказы которых могут привести к тяжелым экономическим, социальным и экологическим последствиям ($0,95 < \gamma_n \leq 1,2$)
II - нормальный	здания (сооружения) массового строительства ($\gamma_n = 0,95$)
III - пониженный	сооружения сезонного или вспомогательного назначения ($0,8 \leq \gamma_n < 0,95$)

В настоящее время в Российской Федерации при идентификации зданий и сооружений определяется уровень ответственности в соответствии с Федеральным законом от 30.12.2009 №384-ФЗ “Технический регламент о безопасности зданий и сооружений”. [154]. Так, для зданий и сооружений, в обязательном порядке указываются заказчиком в задании на выполнение инженерных изысканий, задании на проектирование, а также проектировщиком в проектной документации семь идентификационных признаков (назначение; принадлежность к объектам транспортной инфраструктуры и к другим объектам, функционально-технологические особенности которых влияют на их безопасность; возможность опасных природных процессов и явлений, техногенных воздействий на территории, на которой будет осуществляться строительство, реконструкция и эксплуатация здания или сооружения; принадлежность к опасным производственным объектам; пожарная и взрывопожарная опасность; наличие помещений с постоянным пребыванием людей, уровень ответственности). Уровень ответственности является седьмым (последним) идентификационным признаком здания (сооружения) и определяется только после идентификации зданий (сооружений) в соответствии с требованиями законодательства в области промышленной, ядерной, радиационной и иной безопасности, после указания принадлежности к объектам инфраструктуры (транспортной, авиационной, железнодорожной, космической)

или к другим объектам, функционально-технологические особенности, которых влияют на их безопасность [49,60].

Уровень ответственности - характеристика здания или сооружения, определяемая в соответствии с объемом экономических, социальных и экологических последствий его разрушения. Действующими нормами также предусмотрен повышенный, нормальный и пониженный уровень ответственности [154].

Повышенный уровень ответственности назначается для зданий и сооружений [154], отнесенных к особо опасным, технически сложным и уникальным объектам в соответствии с Градостроительным Кодексом Российской Федерации [37]. К пониженному уровню ответственности относят здания и сооружения сезонного хранения, вспомогательного назначения, а также расположенные на участках для строительства индивидуального жилья. Если здание и сооружение не попадает под критерии, установленные для повышенного или пониженного уровня ответственности, то его относят к нормальному уровню ответственности [154].

В настоящее время дополнительно к законодательным требованиям, определенным в 384-ФЗ [154], национальным стандартом ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований» (изм.1) [36] установлены требования по определению класса (КС-1, КС-2, КС-3) в зависимости от его назначения, а также социальных, экологических и экономических последствий их повреждений и разрушений.

Исходя из анализа определений понятий «уровень ответственности» и «класс здания (сооружения)», приведенных в 384-ФЗ [154] и ГОСТ 27751-2014 [36], можно сделать вывод о том, что они практически идентичны. Единственными дополнениями в части общестроительных объектов, помимо особо опасных, технически сложных, уникальных объектов дополнительно к классу КС-3 относят объекты жизнеобеспечения городов и населенных пунктов и все сооружения, при проектировании и строительстве которых используются

принципиально новые конструктивные решения и технологии, которые не прошли проверку в практике строительства и эксплуатации.

Кроме федеральных законов, которые используются при идентификации здания (сооружения) и определении относится или оно к особо опасным, технически сложным объектам или нет, в Российской Федерации действует ряд нормативных документов (см. таблицу 1.3), которые содержат классификацию, связанную с размером ущерба от разрушения этого здания. Размер такого ущерба (экономического, социального и экологического) и определяет уровень ответственности здания (сооружения).

Таблица 1.3 – Нормативно-правовые акты Российской Федерации, содержащие требования по классификации объектов

№ п/п	Нормативный документ, краткие требования
1	2
1	<u>СП 132.13330.2011 «Обеспечение антитеррористической защищенности зданий и сооружений»</u> В зависимости от вида и размеров ущерба, который может быть нанесен объекту, находящимся на объекте людям и имуществу в случае реализации террористических угроз: все объекты подразделяются на три класса: Класс 1 - (высокая значимость), Класс 2 - (средняя значимость), Класс 3 - (низкая значимость). Учитываются следующие виды ущерба: государственно-политический; социальный; финансово-экономический; экологический.
2	<u>ГОСТ 34332.1-2017 «Безопасность функциональная систем, связанных с безопасностью зданий и сооружений. Часть 1. Основные положения»</u> Предусматривается 7 категорий тяжести последствий в зависимости от числа людей, получивших вред здоровью или погибших. Для каждой категории приведен соответствующий вероятный ущерб в денежном выражении (в млн. руб.).

Продолжение таблицы 1.3

1	2
3	<u>Федеральный закон от 25.06.2002 №73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации»</u> Предусматривается три категории историко-культурного значения: 1.объекты культурного наследия федерального значения; 2.объекты культурного наследия регионального значения; 3.объекты культурного наследия местного (муниципального) значения
4	<u>Постановление Правительства от 21 мая 2007 года N 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»</u> Чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера в зависимости территории распространения, а также от количества людей, погибших и (или) получивших ущерб здоровью и размера материального ущерба подразделяются на: а) чрезвычайную ситуацию локального характера (<u>не более 10 человек, не более 240 тыс. рублей</u>), б) чрезвычайную ситуацию муниципального характера (<u>не более 50 человек, не более 12 млн. рублей</u>); в) чрезвычайную ситуацию межмуниципального характера (<u>не более 50 человек, не более 12 млн. рублей</u>); г) чрезвычайную ситуацию регионального характера (<u>50-500 человек, 12 млн. рублей -1,2 млрд.руб.</u>)
	д) чрезвычайную ситуацию межрегионального характера <u>50-500 человек, 12 млн. рублей -1,2 млрд.руб.</u>); е) чрезвычайную ситуацию федерального характера (свыше 500 человек, свыше 1,2 млрд.руб).

Продолжение таблицы 1.3

1	2
5	<u>Постановление Правительства от 14 августа 2020 года №1226 «Об утверждении Правил разработки критериев отнесения объектов всех форм собственности к потенциально опасным объектам»</u> Дано определение потенциально опасного объекта (ПОО). ПОО подразделяются на 6 категорий. Категория устанавливается в зависимости от того, к какой чрезвычайной ситуации может привести авария на данном объекте. 1. потенциально опасные объекты 1 категории опасности (особо высокий уровень опасности); 2. потенциально опасные объекты 2 категории опасности (чрезвычайно высокий уровень опасности); 3. потенциально опасные объекты 3 категории опасности (высокий уровень опасности); 4. потенциально опасные объекты 4 категории опасности (повышенный уровень опасности); 5. потенциально опасные объекты 5 категории опасности (средний уровень опасности); 6. потенциально опасные объекты 6 категории опасности (низкий уровень опасности).
6	<u>Постановление Правительства от 14 августа 2020 года № 1225 «Об утверждении Правил разработки критериев отнесения объектов всех форм собственности к критически важным объектам»</u> Дано определение критически важного объекта (КВО). КВО подразделяются на 1. критически важные объекты федерального уровня значимости 2. критически важные объекты регионального уровня значимости 3. критически важные объекты муниципального уровня значимости

В EN 1990:2002 Eurocode [164] предусмотрено три класса последствий разрушений зданий или сооружений (СС3, СС2, СС1), три класса надежности (RC3, RC2, RC1), для которых назначаются соответствующие значения индекса

надежности β и коэффициента K_{FI} [39]. В EN1991-1-7-2009 Eurocode 1 -Actions on structures -Part 1-7: General actions -Accidental actions [165] приведены примеры зданий и сооружений, относимых к тому или иному классу последствий разрушений (см. таблицу 1.4).

Таблица 1.4 – Классы последствий, классы надежности и значения индекса надежности β и коэффициента K_{FI} , назначаемые в соответствии с требованиями EN 1990:2002 Eurocode. Basis of structural design [164].

№ п/п	Класс	Последствий разрушения	Примеры зданий и сооружений	Класс надежности	Значения β		K_{FI}
					Предельные состояния по несущей способности		
					Опор ный пери- од 1 год	Опор ный пери- од 50 лет	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	СС3	Большое число потерь человеческих жизней либо очень большие экономические, социальные или экологические последствия	Трибуны, общественные здания, где последствия разрушения велики (например, концертный зал)	RC3	5,2	4,3	1,1

Продолжение таблицы 1.4

1	2	3	4	5	6	7	8
2	СС2	Среднее число потерь человеческих жизней либо значительные экономические, социальные или экологические последствия	Жилые и офисные здания, общественные здания, где последствия разрушения средние (например, офисное здание)	RC2	4,7	3,8	1,0
3	СС1	Малое число потерь человеческих жизней, а экономические, социальные или экологические последствия малы или незначительны	Сельскохозяйственные здания, куда люди обычно не заходят (например, хранилища, теплицы)	RC1	4,2	3,3	0,9

В нормах Украины, также предусмотрены классы ответственности зданий (сооружений) [40]. Характеристики возможных последствий являются основанием для классификации объектов строительства по трем классам последствий (ответственности СС1, СС2, СС3 и пяти категориях сложности -I, II, III, IV, V [41].

В Приложении А РДС РК 1.02-04-2013 «Отнесение объектов строительства и градостроительного планирования территорий к уровням ответственности» [105] представлен перечень зданий и сооружений (включая линейные сооружения транспортной и инженерной инфраструктуры), относимых к I, II, III уровням ответственности.

Таким образом, в Российской Федерации, странах дальнего и ближнего зарубежья классификация и идентификация, включая определение уровня ответственности (класса) здания (сооружения) преимущественно производится по перечням (спискам), приведенным в соответствующих нормативных документах. Данные перечни (списки) весьма ограничены и не охватывают в полном объеме все возможные варианты зданий и сооружений. Кроме того, они либо вообще не содержат, либо содержат неполный перечень критериев и соответствующих параметров необходимых для точного определения уровня ответственности (класса) здания. Следовательно, требуется введение унифицированных требований к назначению (определению) уровня ответственности зданий (сооружений).

Учитывая вышеизложенное, требуется дальнейшее совершенствование нормативных документов в области требований по учету последствий разрушений зданий и сооружений вследствие чрезвычайных ситуаций природного, техногенного происхождения, а также с учетом человеческого фактора. Кроме того, для более точного определения уровня ответственности здания (сооружения), необходимо уточнение перечня критериев и их количественных показателей, связанных с уровнем возможного материального и/или социального ущерба при его разрушении или повреждении.

Для гармонизации и дополнения существующих и (при необходимости) разработки новых нормативных документов в части требований к классификации и идентификации зданий (сооружений) и отдельных конструктивных элементов (конструкций) по ответственности необходим комплексный подход для обеспечения безопасности [140,141]. При этом следует опираться на результаты фундаментальных исследований РАН, выполненных в рамках научно-технической программы «Безопасность населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф» [8-17].

Анализ законодательных и нормативных (в том числе зарубежных) документов, применяемых при идентификации и классификации зданий и

сооружений представлен в статье [49]. В ней даны предложения по гармонизации и унификации требований различных отечественных нормативных документов в части определения уровня ответственности зданий и сооружений с учетом оценки риска. Также в данной статье приведены сведения о результатах государственной научно-технической программы «Безопасность населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф», которые целесообразно использовать при определении ответственности как здания (сооружения) в целом, так и для отдельных несущих конструкций. Координацию данных фундаментальных исследований осуществляет Российская Академия Наук (РАН), координацию прикладных разработок – МЧС России. Результаты этой программы легли в основу многотомной серии «Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты», публикацию которой осуществляет МГОФ «Знание» [16,17,77,78].

С 1998 года уже выпущено более 65 томов, среди которых ряд томов посвящен вопросам комплексной безопасности и оценки рисков [8-15]. Отдельный том посвящен безопасности строительного комплекса [13].

В [12] приведены нормы и требования безопасности зданий, сооружений и отдельных элементов (конструкций), направленные на достижение приемлемого уровня безопасности и рисков для критически важных объектов (КВО), опасных производственных объектов (ОПО) и объектов технического регулирования (ОТР), в том числе приведена классификация ответственности зданий и сооружений (таблицы 1.5-1.6).

Таблица 1.5 – Классификация аварий и катастроф РАН [12]

№ п/п		Последствия		Периодичность возникновения, лет	Затрагивают территории
		Число жертв	Экономический ущерб, долл.		
1	Планетарные катастрофы	$>10^6$	$>10^{12}$		
2	Глобальные катастрофы	$>10^5$	$>10^{11}$	30-40	С учетом трансграничн ых переносов затрагивают сопредельные страны
3	Национальные катастрофы	$>10^4$	$>10^{10}$	15-20	Захватывают территорию страны
4	Региональные катастрофы	$>10^3$	$>10^9$	10-15	Затрагивают территорию субъектов Российской Федерации (республика, край, область, город)
5	Местные (локальные) катастрофы и аварии	$>10^2$	$>10^8$	0,8-1	Затрагивают территорию города, района, области
6	Объектовые катастрофы и аварии	>10	$>10^7$	0,05-0,1	Захватывают территории санитарно- защитных зон объекта
7	Локальные аварии	К таким авариям относятся те, которые вызывают повреждения отдельных элементов объектов			

Таблица 1.6 – Классы ответственности зданий и сооружений, установленные РАН [12].

Класс ответствен- ности здания или сооружения	Характеристики ущерба от отказа					
	Опасность для здоровья и жизни людей			Потери памятников истории, культуры или заповедных ландшафтов	Прекращение функционирования сетей транспорта, связи, электроснабжения	Параметр экономического ущерба
	Постоянно находящихся на объекте	Периодически посещающих объект	Находящихся вблизи объекта			
1 (уникальные и особо ответственные)	свыше 100	свыше 1000	свыше 10000	Международного или общегосударственного значения	Общегосударственных	Свыше 250
2 (имеющие весьма важное значение)	от 10 до 100	от 100 до 1000	от 1000 до 10000	Общегосударственного и местного значения	Региональных	От 25 до 250
3 (имеющие важное значение)	от 2 до 20	от 20 до 100	от 200 до 1000			От 2,5 до 25
4 (имеющие ограниченное значение)	до 2	до 20	до 200			до 2,5

Примечание.

1. К постоянному персоналу относятся люди, находящиеся на объекте не менее 8 часов в сутки и не менее 150 дней в году.
2. К периодически посещающим объект относятся люди, находящиеся там до двух часов в сутки.
3. Памятники истории и культуры классифицируются по значимости. В соответствии с этой классификацией определяются органы или управления, осуществляющие надзор и несущие ответственность за их состояние.
4. Параметр экономического ущерба определяется как отношение общих потерь к стоимости возведения аналогичного нового объекта.

1.2 Классификация отдельных конструктивных элементов

В [12], представлена также классификация элементов и подсистем по влиянию на безопасность объекта (см. таблицу 1.7).

Таблица 1.7 – Классификация элементов и подсистем по влиянию на безопасность объекта, установленная РАН [12]

№ п/п	Класс безопасности
1	<u>Класс 1.</u> Элементы, отказы которых могут сами по себе стать причиной аварийной ситуации (предохранительный клапан в сосуде давления, система герметизации сосуда с сильно токсичным веществом и т.д.) и элементы системы безопасности, отказы которых приводят к невыполнению этими системами своих функций (датчик температуры в автоматической системе пожаротушения)
2	<u>Класс 2.</u> Системы и элементы, важные для безопасности, но не вошедшие в класс 1, в частности большинство несущих строительных конструкций.
3	<u>Класс 3.</u> Элементы, обеспечивающие нормальное функционирование объекта, но не влияющие на его безопасность

Можно сказать, что данный подход РАН использован в иностранных нормах [40,41]. Так, в ДБН В.1.2-14-2009 «Общие принципы обеспечения надежности и конструктивной безопасности зданий, сооружений строительных конструкций и оснований» [40] для конструкций и их элементов предусмотрены три категории ответственности, назначаемые с учетом объема возможных последствий их отказа:

А - конструкции и элементы, отказ которых может привести к полной непригодности к эксплуатации здания (сооружения) в целом или значительной ее части;

Б - конструкции и элементы, отказ которых может привести к усложнению нормальной эксплуатации здания (сооружения) или к отказу других конструкций, не принадлежащих к категории А;

В - конструкции, отказы которых не приводят к нарушению функционирования других конструкций или их элементов.

В [40] значения коэффициента надежности по ответственности γ_n назначаются в интервале от 0,950 до 1,250 назначаются в зависимости от класса последствий (ответственности), с учетом рассматриваемой расчетной ситуации, для каждой группы предельных состояний и категории ответственности конструкций отдельно.

Также в [40] для каждой категории ответственности конструкции (А, Б, В) в зависимости от класса последствий (ответственности) сооружения, типа расчетной ситуации и группы предельных состояний назначается соответствующее целесообразное значение вероятности отказа i – го вида P_i^{ex} и целесообразное значение дальности отказа (характеристики безопасности) i – го вида β_i^{ex} . Значения P_i^{ex} находятся в пределах от 10^{-6} до $1 \cdot 10^{-2}$, а значения β_i^{ex} в пределах от 2,58 до 4,76 [40].

В Таблице А.1 [80] в зависимости от срока службы здания и сооружения для ключевых элементов приведены значения дополнительных коэффициентов условий работы, изменяемых в пределах от 0,8 до 1,0, которые вводят для снижения значений расчетного сопротивления материала. Данные коэффициенты необходимо вводить совместно с коэффициентами надежности по назначению и условий работы.

В американских нормах UFC 4-023-03 (2016) [184] в зависимости от группы ответственности здания и от месторасположения колонны в конструктивной системе здания предъявляются различные требования в части методик расчета защиты от прогрессирующего обрушения с удалением колонн 1-го этажа. Выделяют следующие группы удаляемых колонн (см. рисунок 1.1).

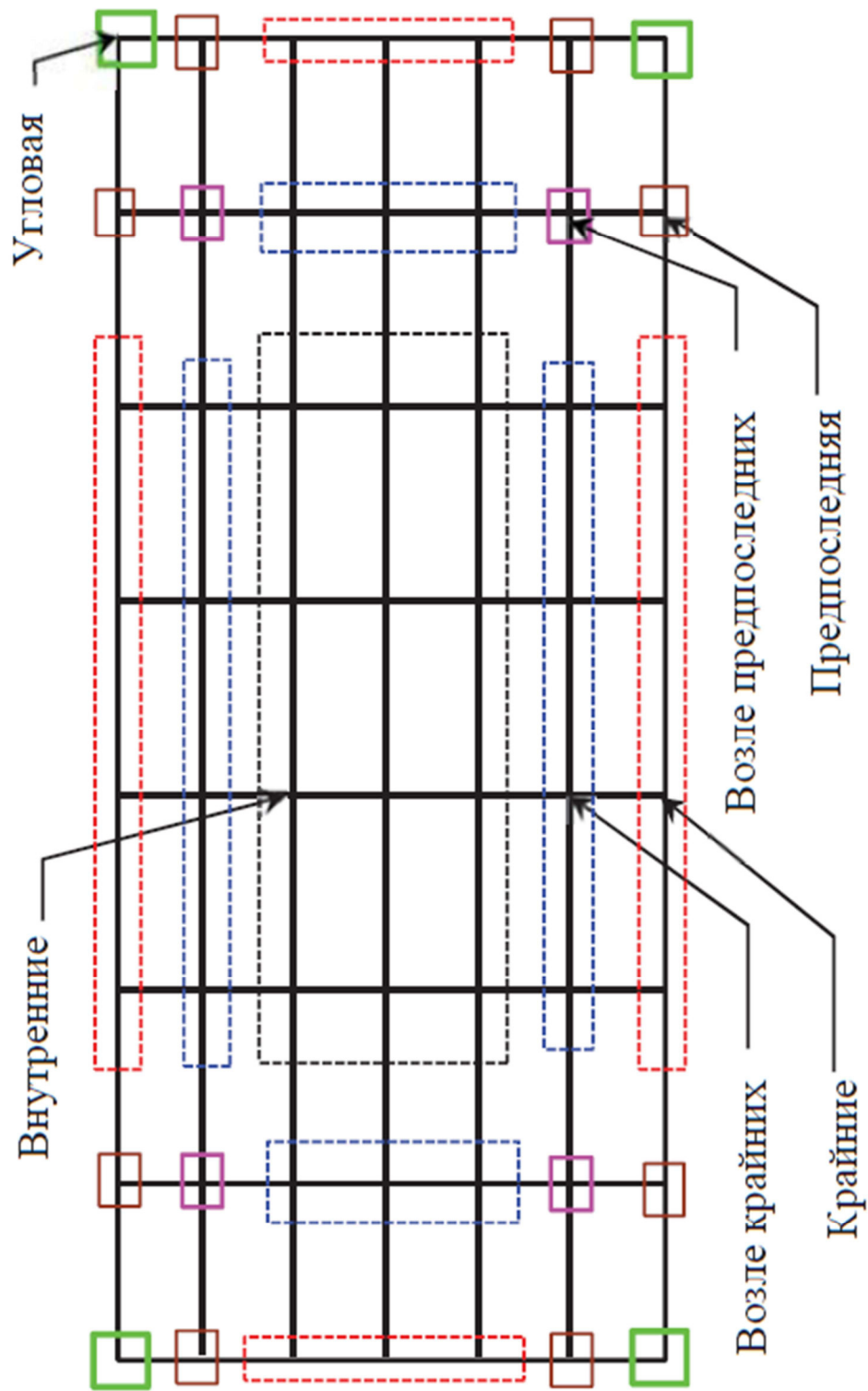


Рисунок 1.1 – Группы ответственности удаляемых колонн по UFC 4-023-03 (2016) [184]

1.3 Учет ответственности зданий, сооружений и отдельных конструктивных элементов

В зависимости от уровня ответственности (класса) здания (сооружения) нормами устанавливаются различные требования к составу и объему инженерных изысканий, к проектным решениям и мероприятиям, а также требования к расчетам и другим аспектам. При выполнении расчетов уровень ответственности учитывается с помощью коэффициента надежности по ответственности [36,61,62,154].

Коэффициент надежности по ответственности в соответствии с действующими нормами Российской Федерации определяется в зависимости от уровня ответственности здания (сооружения) [36,154]. В данных документах установлены минимальные значения коэффициентов надежности по ответственности. На этот коэффициент при выполнении расчетов по методу предельных состояний умножаются эффекты воздействия (нагрузочные эффекты, расчетные значения усилий в элементах строительных конструкций и в основании здания или сооружения и т.п.). Коэффициент надежности по ответственности допускается принимать равным единице при расчете по второй группе предельных состояний.

Правила учета уровня ответственности строительных объектов при расчете на особые сочетания нагрузок устанавливают в нормах проектирования конструкций или в задании на проектирование объекта [36]. Так, например, в соответствии с требованиями свода правил СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах» [116] дополнительно при выполнении расчетов на сейсмостойкость используется коэффициент ответственности K_0 [27,116,145].

При выполнении расчетов защиты от прогрессирующего обрушения в соответствии с требованиями СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Основные положения» [118] коэффициент надежности по ответственности принимается равным $\gamma_n=1,0$ или

$\gamma_n > 1,0$ при соответствующих требованиях, установленных в задании на проектирование.

В соответствии с положениями ГОСТ 27751-2014 [36] для разных конструктивных элементов сооружений допускается устанавливать различные уровни ответственности и соответственно назначать различные значения коэффициента надежности по ответственности. Однако, в действующих нормах конкретные правила определения ответственности конструктивных элементов и соответствующие значения коэффициентов надежности не установлены.

В нашей стране с 1951 года и по настоящее время для расчетов конструкций и оснований применяется метод предельных состояний (метод частных коэффициентов), который предусматривает использование для учета различных факторов систему коэффициентов надежности (частных коэффициентов) [36,120,122,123].

Данные коэффициенты учитывают различные факторы по отдельности (неблагоприятные отклонения значений нагрузок, характеристик материалов и расчетной схемы конструкций здания или сооружения от реальных условий его эксплуатации), а также уровень ответственности зданий и сооружений. Они подразделяются соответственно на четыре основные типа: коэффициенты надежности по нагрузке γ_f , коэффициенты надежности по материалу γ_m , коэффициенты условий работы γ_c и коэффициенты надежности по ответственности сооружений γ_n [36].

Первые три из вышеуказанных типов коэффициентов (γ_f , γ_m , γ_c) использовались в отечественных нормах изначально. Ранее они носили следующие названия: коэффициенты перегрузки (n), коэффициенты однородности (k), коэффициенты условий работы конструкций или оснований (m).

Впервые в 1981 году в статье [87] было дано предложение по учету как экономических, так и неэкономических (особенно связанных с жизнью и здоровьем людей) потерь (ущерба) при определении коэффициента надежности

по ответственности. Коэффициент надежности по ответственности k_n (обозначение как в [87]) определяется произведением двух независимых коэффициентов, каждый из которых оценивает лишь одну сторону ответственности сооружения

$$k_n = k_{n1} \cdot k_{n2} \quad (1.1)$$

где k_{n1} —коэффициент, учитывающий число людей, безопасность которых зависит от надежности рассматриваемого здания или сооружения; k_{n2} — коэффициент, учитывающий экономический ущерб, который может возникнуть, если конструкции сооружения окажутся в предельном состоянии (разрушатся). В таблице 1.8 приведены предлагаемые [87] значения данных коэффициентов.

Таблица 1.8 – Определение коэффициента ответственности по [87]

k_{n1}	k_n		
	$k_{n2}=0,9$	$k_{n2}=0,95$	$k_{n2}=1,0$
0,9	$0,9 \cdot 0,9 = 0,8$	$0,9 \cdot 0,95 = 0,85$	$0,9 \cdot 1,0 = 0,9$
1,0	$1,0 \cdot 0,9 = 1,0$	$1,0 \cdot 0,95 = 0,95$	$1,0 \cdot 1,0 = 1,0$
1,1	$1,1 \cdot 0,9 = 1,1$	$1,1 \cdot 0,95 = 1,05$	$1,1 \cdot 1,0 = 1,1$

В соответствии с Федеральным законом №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [154] оценка риска может быть одной из важнейших характеристик комплексной безопасности здания или сооружения [97,154]. Составной частью комплексной безопасности сооружений на всех стадиях их жизненного цикла является механическая безопасность. Механическая безопасность считается обеспеченной, если отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных

и растений вследствие разрушения или потери устойчивости здания, сооружения или их части. Оценка риска в настоящее время используется при подтверждении соблюдения требований промышленной безопасности, пожарной безопасности, безопасности атомных станций и других объектов использования атомной энергии. При подтверждении механической безопасности практически оценка риска не применяется. Связано это в первую очередь с отсутствием в нормативных документах, перечня основных опасностей, подлежащих учету при оценке рисков на всем протяжении жизненного цикла здания (сооружения) и методик их определения; отсутствием конкретных значений параметров, характеризующих объем экономических, социальных и экологических последствий от разрушения здания (сооружения), которые являются определяющими при назначении уровня ответственности здания (сооружения). Частично вопросы оценки риска освещены в различных государственных стандартах Российской Федерации, которые являются либо аутентичным переводом иностранных норм, либо их модификацией [49].

Ограниченность применения рискоориентированного подхода в части обеспечения механической безопасности связано с отсутствием или несовершенством методик оценки тяжести последствий повреждения (разрушения) зданий и сооружений (ущерба), а также методик оценки вероятностей возникновения опасностей и угроз и вероятности нанесения ущерба соответствующей угрозой. Большая часть исходных данных для разработки методики должна базироваться на обработке статистических данных по авариям зданий и сооружений [73, 110, 159-162, 166-172, 176-183].

1.4 Выводы по главе

Для обеспечения требуемой надежности и безопасности, включая в необходимых случаях, защиту от прогрессирующего обрушения здания (сооружения) с учетом минимизации экономических показателей целесообразно:

1. Нормативные документы по классификации зданий (сооружений) дополнить требованиями к отдельным конструктивным элементам (конструкциям) по определению их уровня ответственности и коэффициентами надежности по ответственности в зависимости от их функционального назначения и расположения в несущей системе здания. Рекомендуется классифицировать только несущие элементы.

2. Для разработки методики классификации несущих элементов по уровню ответственности следует вначале рассмотреть каркасную систему из монолитного железобетона как систему с наиболее определенной градацией несущих элементов по назначению и степени взаимосвязей в пространственной работе.

3. В качестве методики определения уровня ответственности конструктивных элементов (конструкций) предлагается использовать подход, при котором основным показателем, характеризующим тяжесть последствий отказа конструкции, является объем последующих разрушений, вследствие отказа рассматриваемого элемента.

4. В объем последствий отказа несущего элемента предполагается учитывать следующие показатели: количество конструктивных элементов, оказавшихся в запредельном состоянии; степень догружения сопрягаемых элементов, с точки зрения возможности доведения их до разрушения.

5. Дополнительным показателем уровня ответственности может быть принята вероятность отказа рассматриваемого элемента в зависимости от его расположения в пространственной конструктивной системе.

6. Для каркасной конструктивной системы наиболее ответственными элементами, отказ которых может вызвать значительных объем разрушений, являются колонны.

7. В зависимости от объема (площади) разрушения будет определяться тяжесть всех видов последствий разрушений зданий и сооружений (государственных, региональных, местных, социальных, финансово-экономических, экологических). Так с помощью удельных показателей на 1 м^2

общей площади здания (сооружения) можно будет рассчитать стоимость восстановления поврежденных (разрушенных) несущих конструкций, отделки, стоимость оборудования и других материальных ценностей, численность людей, постоянно или периодически находящихся на объекте.

Глава 2. РАЗМЕРЫ ПЛОЩАДЕЙ ПЕРЕКРЫТИЙ В ЗАПРЕДЕЛЬНОМ СОСТОЯНИИ И СТЕПЕНЬ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ ВСЛЕДСТВИЕ ОТКАЗА КОЛОНН

2.1 Задачи расчетных исследований (численного эксперимента)

В широко распространенных многоэтажных каркасных зданиях со стандартной сеткой колонн наиболее ответственными с точки зрения последствий разрушения являются вертикальные несущие элементы – колонны. По конструктивному решению и с позиций общей несущей способности наиболее уязвимыми, очевидно, являются колонны. По функциональному назначению и с учетом их расположения в плане и по высоте они воспринимают всю вертикальную нагрузку и частично догружаются горизонтальной нагрузкой. В связи с этим степень их ответственности достаточно велика особенно начиная с нижних этажей и уменьшаясь по высоте с градацией по этажам.

На объем разрушений, несомненно, влияет и расположение колонн в плане здания. Очевидно, это связано с размерами грузовой площади и пространственными связями с соседними несущими элементами. Основываясь на этом, в задачи расчетных исследований были заложены следующие положения:

- в качестве базового выполнить расчет в стадии нормальной эксплуатации с целью определения требуемого армирования несущих конструкций и определения их начального напряженно-деформированного состояния;
- выполнить серию расчетов на аварийную ситуацию, связанную с условным поочередным отказом колонн в упругой и нелинейной постановке (с учетом критериев особого предельного состояния), в результате которых определить объем разрушений при заданном армировании конструкций, а также определить напряженно-деформированное состояние сопрягаемых несущих конструкций;

- оценить объемы разрушений (площади разрушений) для каждого рассмотренного варианта и выявить их экстремальные величины для данной каркасной системы;

- выполнить анализ, полученных значений внутренних усилий в колоннах при нормальной эксплуатации и при аварийных расчетных ситуациях и выявить месторасположение наиболее нагруженных элементов и элементов, которые вызывают их догружение при аварийной расчетной ситуации.

2.2 Основные сведения об объекте исследования и методах исследования

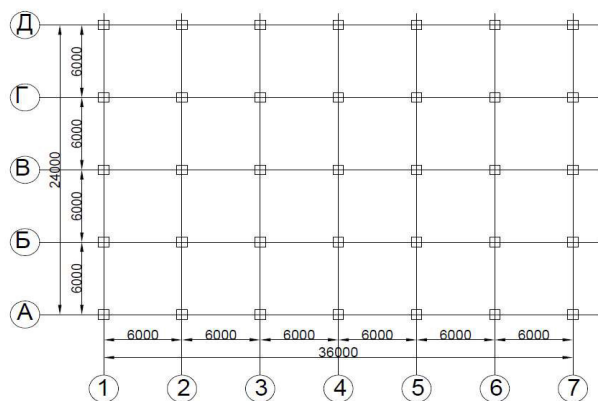
Исследование проводилось на железобетонном каркасном здании высотой 12 этажей, прямоугольной формы в плане (рисунок 2.1 а) с размерами в плане в осях 24,0х36,0 м (в осях А-Д/1-7), с сеткой колонн 6,0х6,0 м, общая высота здания 43,2 м с высотой каждого этажа 3,6 м (рисунок 2.1 б). Конструктивная схема здания - рамный монолитный железобетонный каркас.

Железобетонные перекрытия и покрытия обеспечивают пространственную устойчивость здания. Перекрытия и покрытие приняты безригельными. Узлы сопряжения колонн, перекрытий и покрытия – жесткие. Коэффициент надежности γ_n по ответственности принят равным 1,0.

Колонны приняты сечением 400х400 мм, перекрытия и покрытия толщиной 200 мм. Бетон принят класса по прочности на сжатие В25, продольная арматура класса А500С, поперечная арматура А240.

На первом этапе расчета была создана расчетная схема для учета установившейся расчетной ситуации (первичная расчетная схема), т.е. для выполнения расчетов на нормальную эксплуатацию. Общий вид расчетной модели приведен на рисунке 2.2.

а)



б)

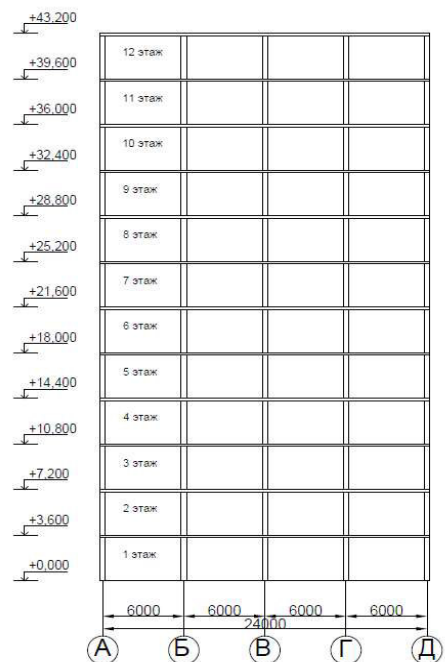


Рисунок 2.1 – План типового этажа здания (а) и схема поперечного разреза (б)

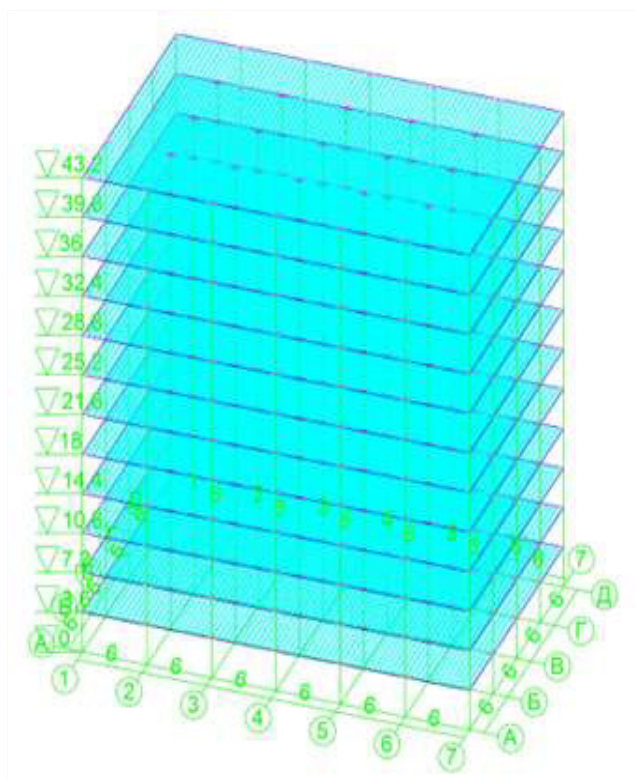


Рисунок 2.2 – Общий вид расчетной модели

Для выполнения расчетов, прочностного анализа конструкций методом конечных элементов применялся вычислительный комплекс SCAD Office 21.1. Колонны смоделированы с использованием пространственных стержней, плиты перекрытий и покрытия с использованием пластинчатых элементов с размером 0,5х0,5 м.

Для упрощения расчеты первичной и вторичных расчетных схем выполнялись только для надземной части без учета совместной работы надземной части с фундаментами и основанием. В расчетной модели принято жесткое закрепление колонн к фундаментам.

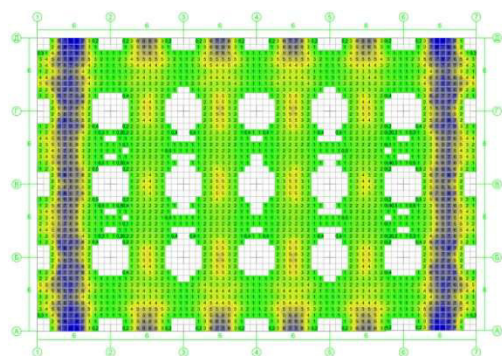
В первую очередь выполнен расчет на стадии нормальной эксплуатации для первичной расчетной схемы. Далее выполнены серия расчетов на аварийные расчетные ситуации, связанные с выходом из строя колонн при различном расположении в плане и по этажам здания (расчеты по вторичным расчетным схемам) с учетом требований СП 385.1325800.2018 [118].

Для каждой расчетной ситуации проанализировано напряженно-деформированное состояние несущих конструкций, а также осуществлена проверка выполнения критериев предельных состояний. По результатам расчета на нормальную эксплуатацию первичной схемы проведен подбор армирования и конструирование конструкций. Далее, по результатам расчета на аварийную ситуацию вторичных расчетных схем для каждого из рассматриваемых начальных локальных разрушений колонн с различным расположением в плане и по высоте с учетом принятого армирования определен объем конструктивных элементов, находящихся в запредельном состоянии [26,28]. Также по результатам расчетов на аварийную ситуацию определена степень перераспределения усилий в колоннах.

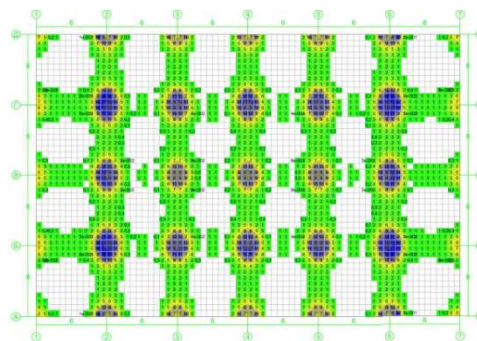
Конструктивные элементы, для которых не выполняются условия 4.1-4.2 п.4.4 СП 385.1325800.2018 [118] считались конструктивными элементами, находящимися в запредельном состоянии (ЗПС).

Для первичной расчетной схемы с учетом условий нормальной эксплуатации получены изополя требуемого армирования (As_1 , As_2 , As_3 ,

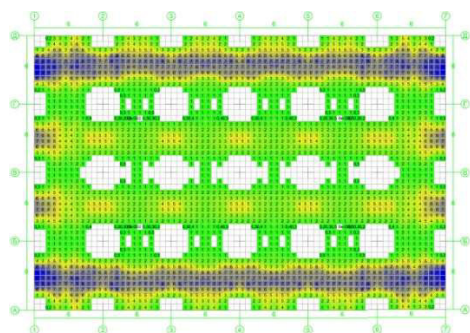
As4) см^2 перекрытия и покрытия и принято армирование перекрытий и покрытия (рисунок 2.3).



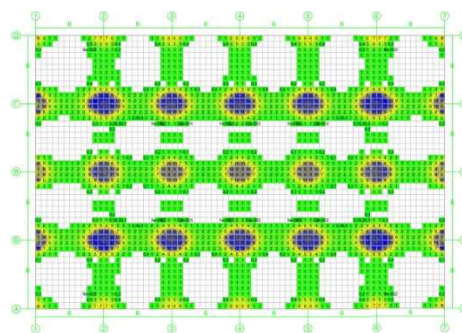
а)



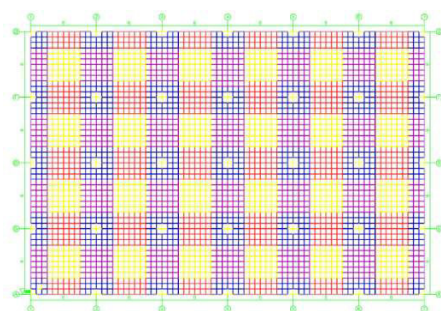
б)



в)



г)



д)

Рисунок 2.3 – Изополя требуемого армирования перекрытия (нормальная эксплуатация, первичная схема) а) As1, б) As2, в) As3, г) As4, см^2 , д) схема принятого армирования перекрытия.

Таблица 2.1 – Принятое армирование перекрытия.

	Армирование					
	Требуемое по расчету (норм. эксп.)/ фактически установленное					
	As1, см ² / пог.м.	As2, см ² / пог.м.	As3, см ² / пог.м.	As4, см ² / пог.м.	Aswx, см ² / пог.м.	Aswy, см ² / пог.м.
Тип 1	3,14	8,46	3,39	9,1	0,65	0,7
	5,65 Ø12 A500 ш.200 мм	20,11 Ø16 A500 ш.100 мм	5,65 Ø12 A500 ш.200 мм	20,11 Ø16 A500 ш.100 мм	1,131 Ø12 A500 ш.50 мм	1,131 Ø12 A500 ш.50 мм
Тип 2.1	7,11	7,58	11,59	2,39	-	-
	11,31 Ø12 A500 ш.100 мм	11,31 Ø12 A500 ш.100 мм	20,11 Ø16 A500 ш.100 мм	5,65 Ø12 A500 ш.200 мм	-	-
Тип 2.2	5,29	1,03	3,68	3,92	-	-
	5,65 Ø12 A500 ш.200 мм	5,65 Ø12 A500 ш.200 мм	5,65 Ø12 A500 ш.200 мм	5,65 Ø12 A500 ш.200 мм	-	-
Тип 3	4,18	1,26	4,48	1,38	-	-
	5,65 Ø12 A500 ш.200 мм	5,65 Ø12 A500 ш.200 мм	5,65 Ø12 A500 ш.200 мм	5,65 Ø12 A500 ш.200 мм	-	-

В комбинациях расчетов на аварийную ситуацию принято 2 варианта прочностных и деформационных характеристик материалов:

- вариант 1 (упругий расчет) заданы нормативные значения нагрузок, учитываются постоянные нагрузки и длительная часть временных нагрузок. При

подборе требуемого и экспертизе принятого армирования берутся нормативные значения прочностных характеристик бетона и арматуры;

- вариант 2 (расчет с учетом нелинейности) заданы нормативные значения нагрузок, учитываются постоянные нагрузки и длительная часть временных нагрузок. При подборе требуемого и экспертизе принятого армирования используются нормативные значения прочностных характеристик бетона и арматуры, за исключением откорректированного значения модуля упругости бетона для плит перекрытий и колонн (применены понижающие коэффициенты, предусмотренные требованиями п.6.2.7 СП 430.1325800.2018 Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования) [119].

Для создания вторичной схемы для всех вышеперечисленных вариантов расчета на прогрессирующее обрушение использовалась первичная расчетная схема, в которой остаются без изменений геометрические размеры всех конечных элементов, за исключением удаляемых колонн. С учетом симметрии плана здания рассмотрены 144 варианта.

2.3 Определение площадей междуэтажных перекрытий здания, находящихся в запредельном состоянии при расчете по упругой схеме

В результате серии расчетов конструкций здания на аварийную ситуацию, в которых рассматривались варианты, связанные с выходом из строя колонн, получены пространственные схемы распределения участков перекрытий, находящихся в запредельном состоянии представленные на рисунке 2.4. На рисунке 2.4 красным цветом на пространственной схеме и на плане первого этажа показаны элементы, для которых коэффициент использования сечения превышает 1. Коэффициенты использования определены в режиме «Экспертиза железобетона».

Разрушение (отказ) колонн 1-го этажа приводит к максимальному объему разрушения по отношению к аналогично расположенным в плане колоннам других этажей.

Введем следующие обозначения:

S_{ijf}^R – суммарная площадь перекрытий, находящихся в запердельном состоянии (ЗПС), вследствие удаления (отказа) колонны, расположенной на пересечении осей ij на этаже f ;

S_{ijf}^G –грузовая площадь, приходящаяся на колонну, расположенную на пересечении осей ij на этаже f ;

S_{ij1}^G –грузовая площадь, приходящаяся на колонну, расположенную на пересечении осей ij на 1-м этаже.

Очевидно, что грузовые площади колонн 1-го этажа наибольшие. Значения грузовых площадей над угловой, крайней и средней колонны на первом, пятом, десятом и двенадцатом этажах соответственно представлены в таблице 2.2.

Полученные с учетом симметрии здания относительно осей 4 и В значения площадей междуэтажных перекрытий, находящихся в запердельном состоянии (ЗПС) для случая отказа колонн 1-го, 5-го, 10-го и 12-го этажей, расположенных в осях 1-4/А-В экстраполируем на все здание (см. таблицу 2.3) [142]. Грузовые площади колонн 1-го, 5-го, 10-го и 12-го этажей определены соответственно на основе их суммирования над рассматриваемой колонной.

Таблица 2.2 – Грузовые площади колонн соответствующих этажей (м²)

№ этажа	Расположение колонны		
	Угловая	Крайняя	Средняя
1	108	216	432
5	72	144	288
10	27	54	108
12	9	18	36

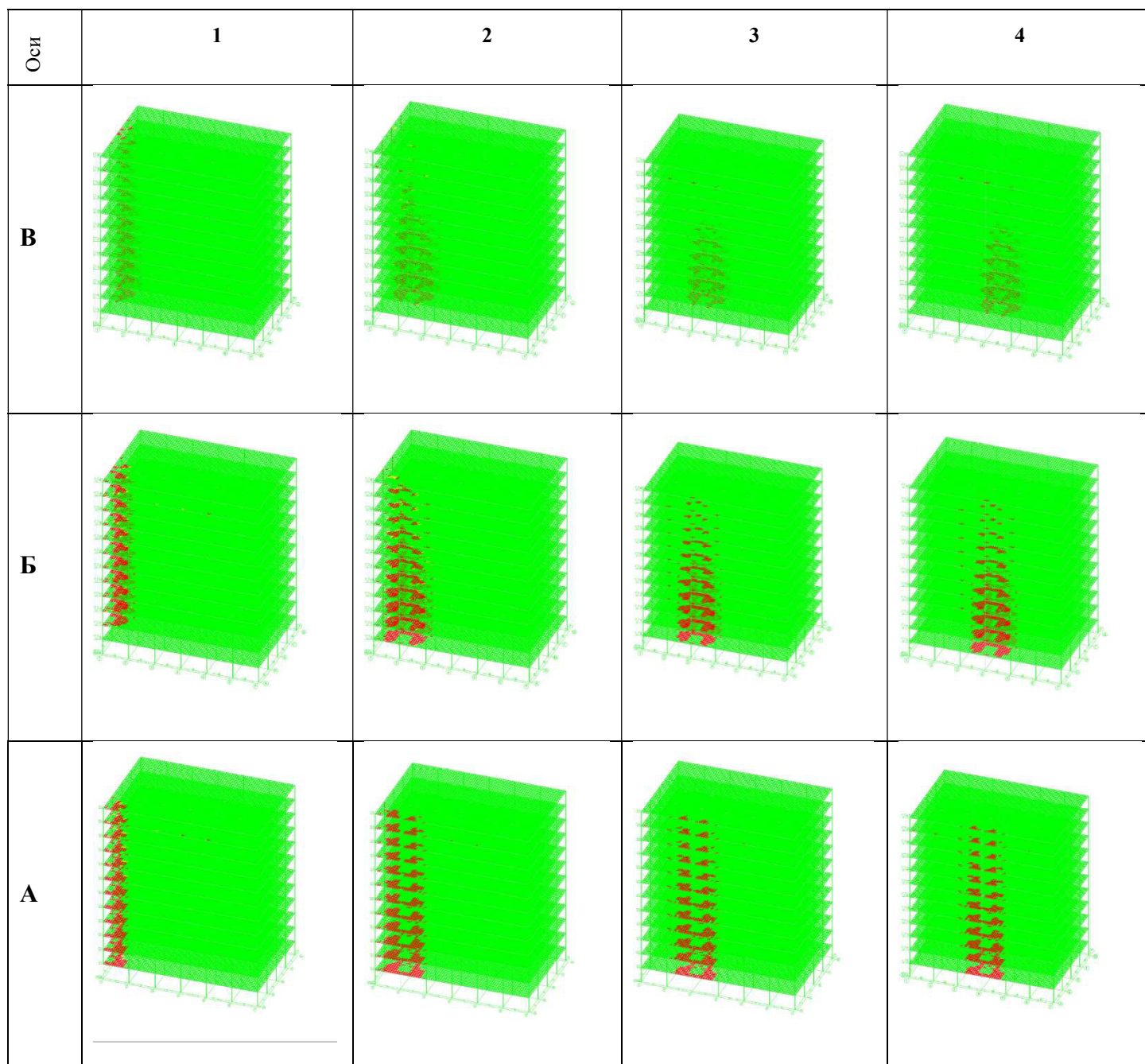


Рисунок 2.4 – Схемы конструктивных элементов здания, находящихся в
запредельном состоянии, при отказе колонн 1-го этажа в осях А-В/1-4
(вариант 1 - линейный расчет)

Таблица 2.3 – Суммарные площади перекрытий S_{ijf}^R (м²), находящихся в запредельном состоянии (ЗПС), вследствие отказа колонн на соответствующем этаже (линейный расчет)

Отказ колонн 1-го этажа							
оси	1	2	3	4	5	6	7
Д	179	294	253	253	253	294	179
Г	294	350	308	308	308	350	294
В	253	319	242	231	242	319	253
Б	294	350	308	308	308	350	294
А	179	294	253	253	253	294	179
Отказ колонн 5-го этажа							
оси	1	2	3	4	5	6	7
Д	111	192	165	165	165	192	111
Г	192	232	193	193	193	232	192
В	165	200	151	141	151	200	165
Б	192	232	193	193	193	232	192
А	111	192	165	165	165	192	111
Отказ колонн 10-го этажа							
оси	1	2	3	4	5	6	7
Д	38	70	61	61	61	70	38
Г	70	83	60	60	60	83	70
В	61	68	50	48	50	68	61
Б	70	83	58	58	58	83	70
А	38	70	61	61	61	70	38
Отказ колонн 12-го этажа							
оси	1	2	3	4	5	6	7
Д	12	23	20	20	20	23	12
Г	23	27	18	18	18	27	23
В	20	21	16	15	16	21	21
Б	23	27	18	18	18	27	23
А	12	23	20	20	20	23	12

Для анализа результатов расчета введем коэффициент значимости по относительной площади разрушений перекрытий K_{siff} . Для этого разделим

значения площади S_{ijf}^R (см. таблицу 2.3) на соответствующие значения грузовой площади S_{ijf}^G (см. таблицу 2.2)

$$K_{sijf} = \frac{S_{ijf}^R}{S_{ij1}^G}. \quad (2.1)$$

Результаты вычислений представлены в таблице 2.4.

Значения показателей ответственности в плане распределены следующим образом: наибольшее значений имеет показатель для угловой колонны при минимальной грузовой площади; несколько меньшее значение имеют колонны крайних рядов, следующих за угловой (оси Г-1Б, Д-2 и Д-3); для средних колонн наибольший показатель достигнут во второй колонне (ось Г-2).

Распределение показателей по относительной площади разрушения по плану перекрытий коэффициент значимости по относительной площади разрушений перекрытий K_{sijf} показаны на графиках рисунка 2.5. Следует отметить, что закономерность распределения показателей относительных площадей в плане по этажам получена практически такой же, как и для первого этажа.

Введем удельный коэффициент значимости по относительной площади разрушений перекрытий K_{sf} . Для этого разделим значения площадей S_{ijf}^R из таблицы 2.3 на грузовую площадь колонны, расположенной в тех же осях ij , но на 1-м этаже S_{ij1}^G

$$K_{sf} = \frac{S_{ijf}^R}{S_{ij1}^G}. \quad (2.2)$$

Результаты вычислений по выражению (2.2) представлены в таблице 2.5. Характер изменения K_{sf} по вертикали показан на графиках (см. рисунок 2.6). Величины по высоте здания снижаются практически линейно, следовательно, уровень ответственности колонн по высоте также понижается.

Таблица 2.4 – Значение коэффициента значимости по относительной площади разрушений перекрытий K_{siff} при отказе колонны соответствующего этажа

Отказ колонн 1-го этажа							
Оси	1	2	3	4	5	6	7
Д	1,66	1,36	1,17	1,17	1,17	1,36	1,66
Г	1,36	0,81	0,71	0,71	0,71	0,81	1,36
В	1,17	0,74	0,56	0,53	0,56	0,74	1,17
Б	1,36	0,81	0,71	0,71	0,71	0,81	1,36
А	1,66	1,36	1,17	1,17	1,17	1,36	1,66
Отказ колонн 5-го этажа							
Оси	1	2	3	4	5	6	7
Д	1,54	1,33	1,15	1,15	1,15	1,33	1,54
Г	1,33	0,81	0,67	0,67	0,67	0,81	1,33
В	1,15	0,69	0,52	0,49	0,52	0,69	1,15
Б	1,33	0,81	0,67	0,67	0,67	0,81	1,33
А	1,54	1,33	1,15	1,15	1,15	1,33	1,54
Отказ колонн 10-го этажа							
Оси	1	2	3	4	5	6	7
Д	1,41	1,30	1,13	1,13	1,13	1,30	1,41
Г	1,30	0,77	0,56	0,56	0,56	0,77	1,30
В	1,13	0,63	0,46	0,44	0,46	0,63	1,13
Б	1,30	0,77	0,56	0,56	0,56	0,77	1,30
А	1,41	1,30	1,13	1,13	1,13	1,30	1,41
Отказ колонн 12-го этажа							
Оси	1	2	3	4	5	6	7
Д	1,33	1,28	1,11	1,11	1,11	1,28	1,33
Г	1,28	0,75	0,50	0,50	0,50	0,75	1,28
В	1,11	0,58	0,44	0,42	0,44	0,58	1,11
Б	1,28	0,75	0,50	0,50	0,50	0,75	1,28
А	1,33	1,28	1,11	1,11	1,11	1,28	1,33

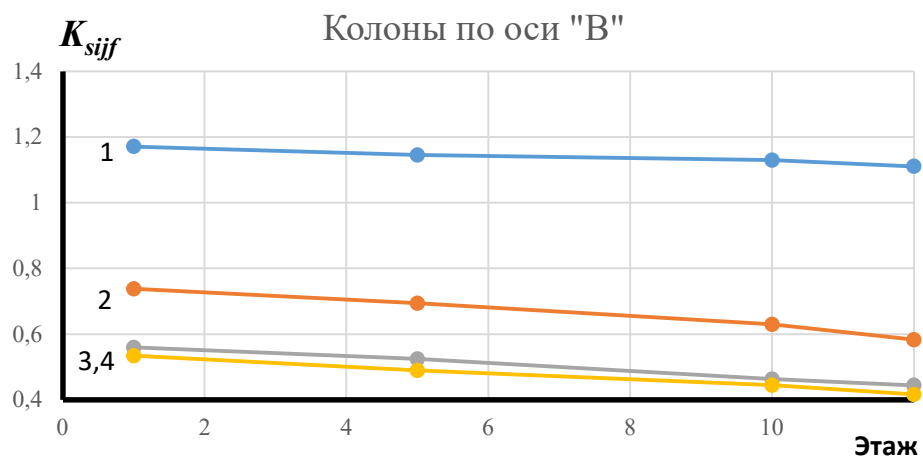
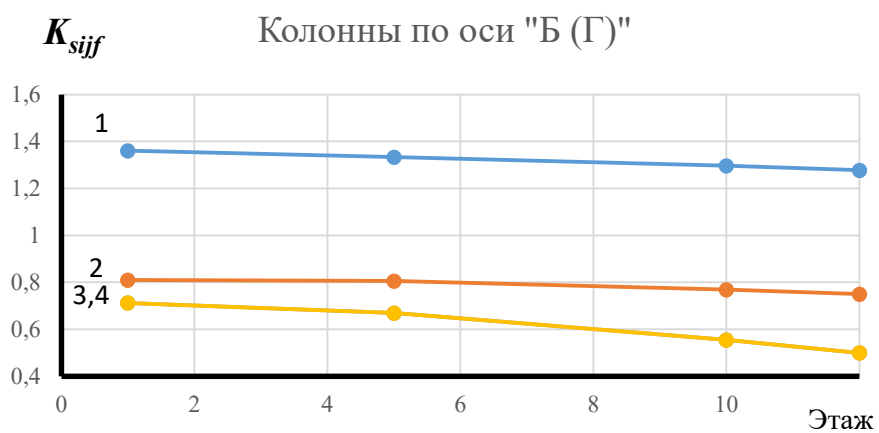
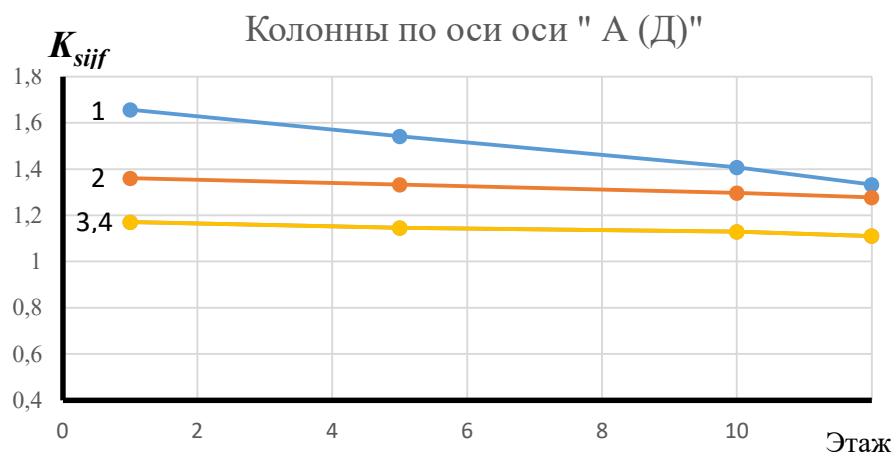


Рисунок 2.5 – Коэффициент значимости по относительной площади разрушений перекрытий K_{sijf}

Таблица 2.5 – Значения удельного коэффициента значимости по относительной площади разрушений перекрытий K_{sf} , находящихся в запредельном состоянии, при отказе колонны соответствующего этажа

Отказ колонн 1-го этажа							
	1	2	3	4	5	6	7
Д	1,66	1,36	1,17	1,17	1,17	1,36	1,66
Г	1,36	0,81	0,71	0,71	0,71	0,81	1,36
В	1,17	0,74	0,56	0,53	0,56	0,74	1,17
Б	1,36	0,81	0,71	0,71	0,71	0,81	1,36
А	1,66	1,36	1,17	1,17	1,17	1,36	1,66
Отказ колонн 5-го этажа							
	1	2	3	4	5	6	7
Д	1,03	0,89	0,76	0,76	0,76	0,89	1,03
Г	0,89	0,54	0,45	0,45	0,45	0,54	0,89
В	0,76	0,46	0,35	0,33	0,35	0,46	0,76
Б	0,89	0,54	0,45	0,45	0,45	0,54	0,89
А	1,03	0,89	0,76	0,76	0,76	0,89	1,03
Отказ колонн 10-го этажа							
	1	2	3	4	5	6	7
Д	0,35	0,32	0,28	0,28	0,28	0,32	0,35
Г	0,32	0,19	0,14	0,14	0,14	0,19	0,32
В	0,28	0,16	0,12	0,11	0,12	0,16	0,28
Б	0,32	0,19	0,14	0,14	0,14	0,19	0,32
А	0,35	0,32	0,28	0,28	0,28	0,32	0,35
Отказ колонн 12-го этажа							
	1	2	3	4	5	6	7
Д	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,11	0,11
Г	0,11	0,06	0,04	0,04	0,04	0,06	0,11
В	0,09	0,05	0,04	0,03	0,04	0,05	0,09
Б	0,11	0,06	0,04	0,04	0,04	0,06	0,11
А	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,11	0,11

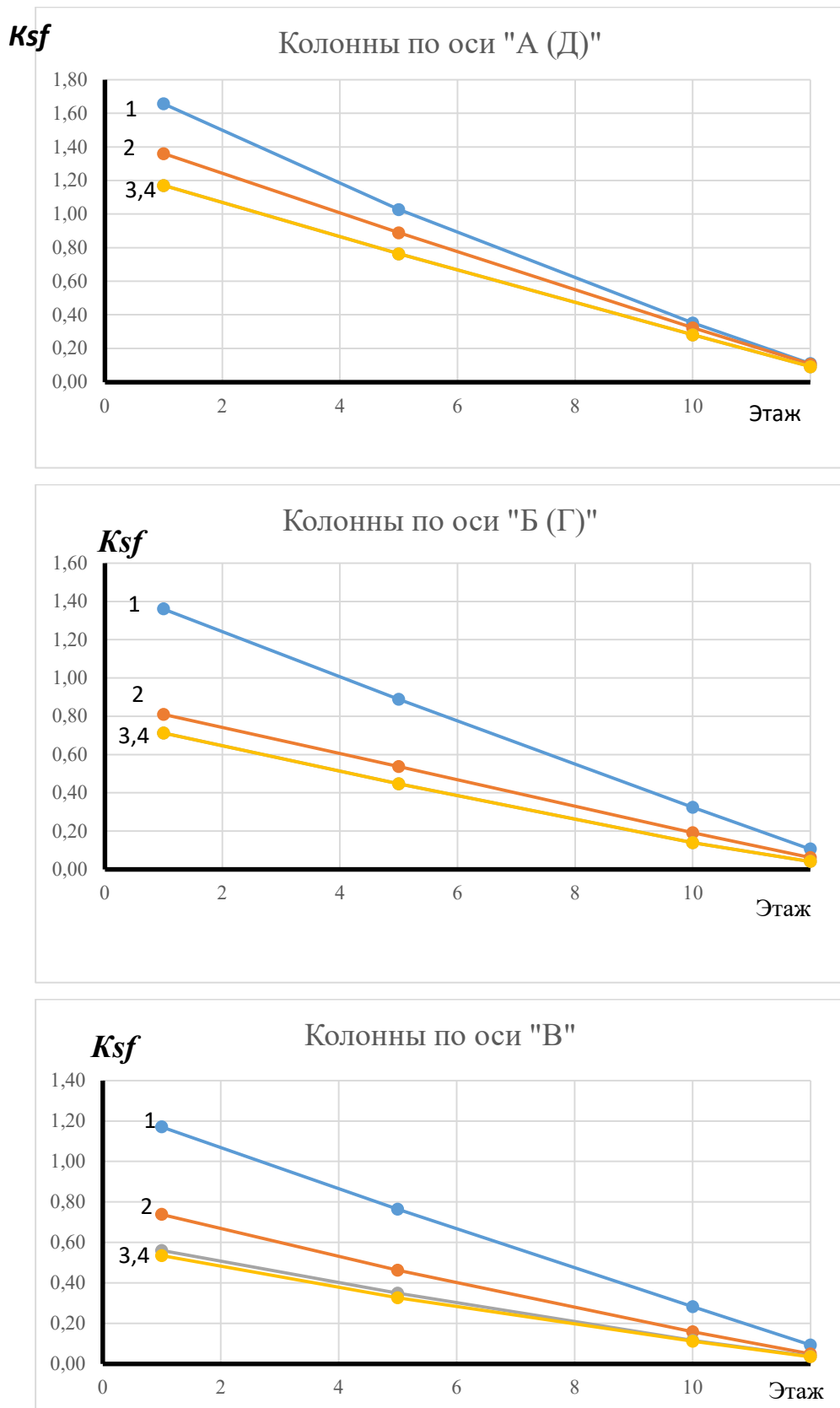


Рисунок 2.6 – Удельный коэффициент значимости по относительной площади разрушений перекрытий K_{sf}

2.4 Определение площадей междуэтажных перекрытий здания, находящихся в запредельном состоянии при расчете с учетом неупругих деформаций

Расчет с учетом развития нелинейных деформаций в железобетонных конструкциях многоэтажного каркасного здания из монолитного бетона проводился путем понижения модуля начальных деформаций бетона в соответствии с рекомендациями [112,117, 119].

На рисунке 2.7 приведены схемы, распределения площадей, находящихся в запредельном состоянии при отказе колонн 1-го этажа. Также как и для упругого расчета, разрушение (отказ) колонн 1-го этажа приводит к максимальному объему разрушения по отношению к аналогично расположенным в плане колоннам других этажей.

Полученные с учетом симметрии здания относительно осей 4 и В суммарные значения площадей перекрытий, находящихся в запредельном состоянии (ЗПС) для случая отказа колонн 1-го, 5-го, 10-го и 12-го этажей, расположенных в осях 1-4/А-В экстраполируем на все здание (таблица 2.6). Значения относительной площади разрушений перекрытий здания с учетом неупругих деформаций приведены в таблице 2.7. Данные значения получены также путем деления значений площадей на соответствующие значения грузовой площади колонн выше рассматриваемой колонны.

Следует отметить, что величины относительных показателей площадей разрушения перекрытий при учете нелинейности снизились на 14%.

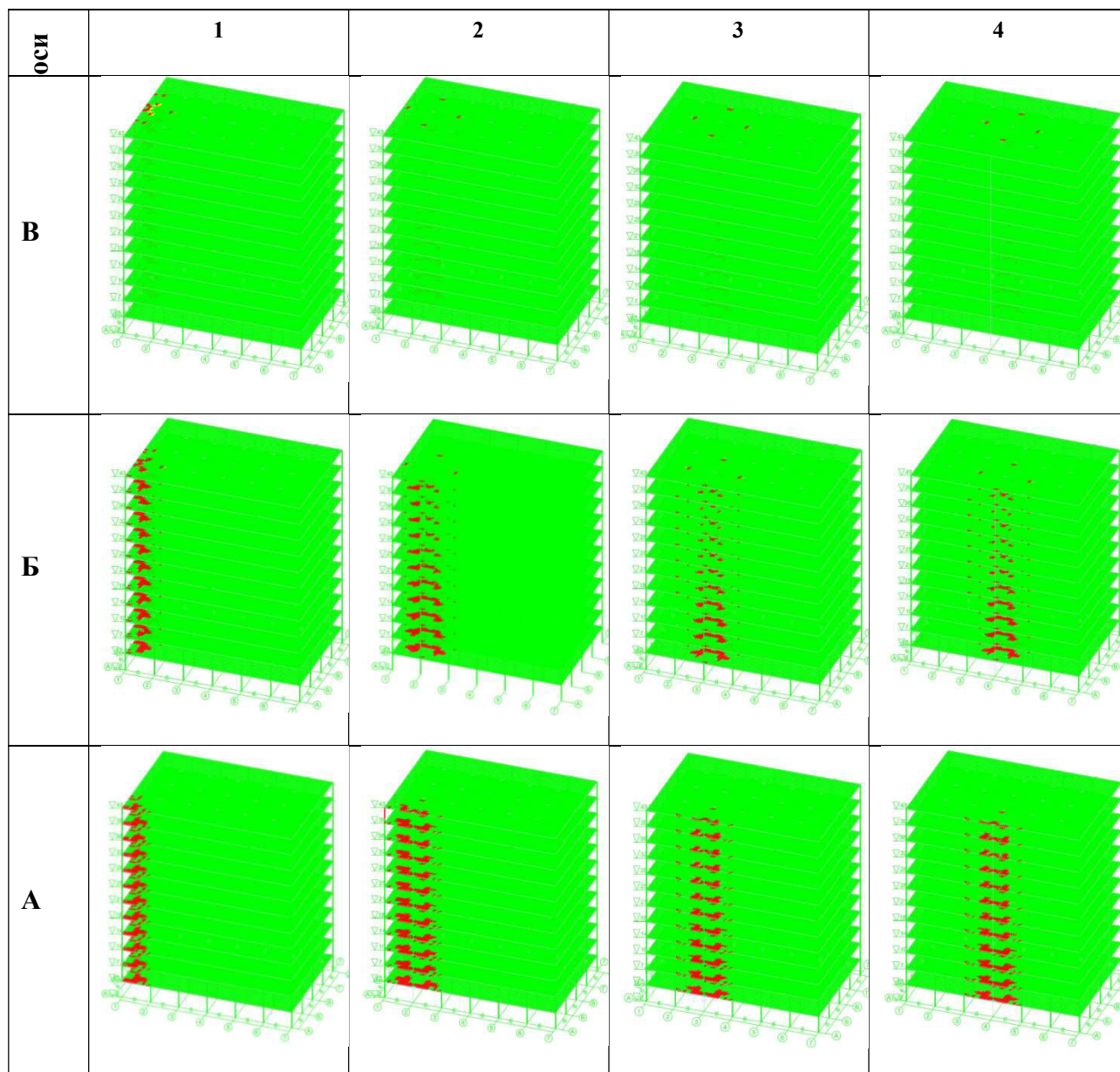


Рисунок 2.7 – Схемы конструкций перекрытий по высоте здания, находящихся в запредельном состоянии, при отказе колонн 1-го этажа в осях А-В/1-4 (вариант с учетом нелинейности)

Таблица 2.6 – Суммарные площади перекрытий S_{ijf}^R (м²), находящихся в запредельном состоянии, вследствие отказа соответствующих колонн (расчет с учетом нелинейности)

Отказ колонн 1-го этажа							
оси	1	2	3	4	5	6	7
Д	142	233	201	201	201	233	142
Г	233	278	244	244	244	278	233
В	201	253	192	183	192	253	201
Б	233	278	244	244	244	278	233
А	142	233	201	201	201	233	142
Отказ колонн 5-го этажа							
оси	1	2	3	4	5	6	7
Д	88	172	131	131	131	172	88
Г	172	184	153	153	153	184	172
В	131	158	119	111	119	158	131
Б	172	184	153,18	153,18	153,18	184	172
А	88	172	131	131	131	172	88
Отказ колонн 10-го этажа							
оси	1	2	3	4	5	6	7
Д	30	55	48	48	48	55	30
Г	55	51	42	42	42	51	55
В	57	44	33	30	33	44	57
Б	55	51	42	42	42	51	55
А	30	55	48	48	48	55	30
Отказ колонн 12-го этажа							
оси	1	2	3	4	5	6	7
Д	9	18	15	15	15	18	9
Г	18	25	21	21	21	25	18
В	15	22	16	15	16	22	16
Б	18	25	21	21	21	25	18
А	9	18	15	15	15	18	9

Таблица 2.7 – Значение коэффициента значимости по относительной площади разрушений перекрытий K_{sijf} при отказе колонны соответствующего этажа (вариант с учетом нелинейности)

Отказ колонн 1-го этажа							
оси	1	2	3	4	5	6	7
Д	1,12	0,92	0,79	0,79	0,79	0,92	1,12
Г	0,93	0,55	0,48	0,48	0,48	0,55	0,93
В	0,80	0,50	0,38	0,36	0,38	0,50	0,80
Б	0,93	0,55	0,48	0,48	0,48	0,55	0,93
А	1,12	0,92	0,79	0,79	0,79	0,92	1,12
Отказ колонн 5-го этажа							
оси	1	2	3	4	5	6	7
Д	1,05	1,02	0,78	0,78	0,78	1,02	1,05
Г	1,02	0,55	0,45	0,45	0,45	0,55	1,02
В	0,78	0,47	0,36	0,33	0,36	0,47	0,78
Б	1,02	0,55	0,45	0,45	0,45	0,55	1,02
А	1,05	1,02	0,78	0,78	0,78	1,02	1,05
Отказ колонн 10-го этажа							
оси	1	2	3	4	5	6	7
Д	0,95	0,88	0,77	0,77	0,77	0,88	0,95
Г	0,88	0,41	0,34	0,34	0,34	0,41	0,88
В	0,90	0,35	0,26	0,24	0,26	0,35	0,90
Б	0,88	0,41	0,34	0,34	0,34	0,41	0,88
А	0,95	0,88	0,77	0,77	0,77	0,88	0,95
Отказ колонн 12-го этажа							
оси	1	2	3	4	5	6	7
Д	0,90	0,87	0,75	0,75	0,75	0,87	0,90
Г	0,87	0,60	0,51	0,51	0,51	0,60	0,87
В	0,75	0,53	0,40	0,36	0,40	0,53	0,75
Б	0,87	0,60	0,51	0,51	0,51	0,60	0,87
А	0,90	0,87	0,75	0,75	0,75	0,87	0,90

В результате расчета на аварийную ситуацию (вариант 1 - линейный расчет) для случая с отказа колонн 1-го этажа, расположенных в осях 1А и 2Б, получены минимальное ($S_{1A1}^R = 179 \text{ м}^2$) и максимальное ($S_{2Б1}^R = 350 \text{ м}^2$) значение площади перекрытий, находящихся в запредельном состоянии (ЗПС).

В результате расчета на аварийную ситуацию (вариант 2 - нелинейный расчет) для случая с отказа колонн 1-го этажа, расположенных в осях 1А и 2Б

получены минимальное ($S_{3B1}^R = 142 \text{ м}^2$) и максимальное ($S_{2A1}^R = 278 \text{ м}^2$) значение площади конструктивных элементов, находящихся в запредельном состоянии (ЗПС).

2.5 Определение степени перераспределения усилий при отказе колонн

Для определения степени перераспределения усилий при локальном разрушении (отказе) вертикальных несущих элементах (колонн) проанализировано распределение внутренних усилий при аварийной расчетной ситуации относительно усилий при нормальной эксплуатации. Так как колонны воспринимают всю вертикальную нагрузку ограничимся анализом перераспределения усилий N в вертикальных несущих элементах.

С учетом симметрии здания относительно оси 4 результаты будем приводить для части здания в осях 1-4.

Полученные по результатам расчета на нормальную эксплуатацию (базовый расчет) значения продольной силы N в колоннах приведены в таблице 2.8 (вариант 1 – линейный расчет) и 2.9 (вариант 2 – расчет с учетом нелинейности).

Полученные значения продольной силы N в колоннах по результатам линейного расчета (вариант 1) на аварийную ситуацию, связанную с начальным локальным разрушением (отказом) колонны, расположенной на пересечении осей 1А и 2Б 1-го этажа приведены в таблицах 2.10 – 2.11 соответственно.

Таблица 2.8 – Значения продольной силы N (т) в колоннах от эксплуатационных нагрузок (вариант 1 – линейный расчет).

Оси	1	2	3	4	Оси	1	2	3	4
	6 этаж					12 этаж			
В	235	378	395	394	В	33	55	57	56
Б, Г	229	362	377	376	Б, Г	32	54	55	55
А, Д	132	229	234	233	А, Д	18	32	32	32
	5 этаж					11 этаж			
В	268	433	451	449	В	67	108	113	113
Б, Г	261	416	432	430	Б, Г	65	104	108	107
А, Д	150	261	266	265	А, Д	38	65	67	66
	4 этаж					10 этаж			
В	300	489	507	505	В	101	162	170	169
Б, Г	293	470	487	485	Б, Г	98	154	161	161
А, Д	168	293	298	297	А, Д	57	98	101	100
	3 этаж					9 этаж			
В	332	544	562	561	В	135	216	226	225
Б, Г	325	526	542	541	Б, Г	131	205	215	214
А, Д	185	325	330	328	А, Д	76	131	134	134
	2 этаж					8 этаж			
В	362	601	618	616	В	169	270	283	281
Б, Г	356	584	599	597	Б, Г	164	257	268	267
А, Д	203	356	361	359	А, Д	95	164	168	167
	1 этаж					7 этаж			
В	392	657	672	671	В	202	324	339	338
Б, Г	387	643	656	655	Б, Г	197	309	322	321
А, Д	219	386	390	389	А, Д	113	196	201	200

Таблица 2.9 – Значения продольной силы N (т) в колоннах от эксплуатационных нагрузок (вариант 2 – расчет с учетом нелинейности)

Оси	1	2	3	4	Оси	1	2	3	4
	6 этаж					12 этаж			
В	220	390	389	389	В	31	56	56	56
Б, Г	222	392	390	390	Б, Г	32	57	56	55
А, Д	121	222	220	220	А, Д	17	32	31	31
	5 этаж					11 этаж			
В	251	446	445	444	В	63	112	111	111
Б, Г	254	448	446	446	Б, Г	63	112	111	111
А, Д	139	254	251	251	А, Д	35	64	63	63
	4 этаж					10 этаж			
В	282	502	500	500	В	94	167	167	167
Б, Г	286	505	502	502	Б, Г	95	168	167	167
А, Д	156	286	282	282	А, Д	52	95	94	94
	3 этаж					9 этаж			
В	313	558	555	555	В	126	223	222	222
Б, Г	317	562	558	558	Б, Г	127	223	223	222
А, Д	173	317	313	313	А, Д	69	127	126	126
	2 этаж					8 этаж			
В	343	615	611	610	В	157	279	278	278
Б, Г	348	619	614	614	Б, Г	159	279	278	278
А, Д	190	348	344	344	А, Д	87	159	157	157
	1 этаж					7 этаж			
В	374	671	666	666	В	188	334	334	333
Б, Г	379	677	671	671	Б, Г	191	335	334	334
А, Д	207	380	374	374	А, Д	104	191	188	188

Таблица 2.10 – Значения продольных усилий $N(T)$ в колоннах, при отказе колонны 1А на 1-м этаже (линейный расчет).

Оси	1	2	3	4	Оси	1	2	3	4
	6 этаж					12 этаж			
В	238	376	393	393	В	33	55	56	56
Б, Г	289	373	374	376	Б, Г	39	56	54	55
А, Д	16	290	237	234	А, Д	4	39	32	32
	5 этаж					11 этаж			
В	271	430	449	449	В	68	108	113	113
Б, Г	331	427	428	429	Б, Г	81	107	107	107
А, Д	15	333	270	267	А, Д	7	81	68	67
	4 этаж					10 этаж			
В	303	485	505	505	В	103	161	169	169
Б, Г	375	482	483	484	Б, Г	122	160	160	160
А, Д	14	375	302	299	А, Д	10	122	102	101
	3 этаж					9 этаж			
В	334	540	561	561	В	137	214	225	225
Б, Г	419	537	538	540	Б, Г	163	212	213	213
А, Д	11	420	333	331	А, Д	12	167	137	134
	2 этаж					8 этаж			
В	364	595	616	616	В	171	268	281	281
Б, Г	464	593	593	597	Б, Г	205	265	267	267
А, Д	6	465	363	362	А, Д	14	205	171	167
	1 этаж					7 этаж			
В	393	651	671	671	В	205	322	337	337
Б, Г	508	651	649	654	Б, Г	246	319	320	321
А, Д	0,3	510	392	393	А, Д	16	247	204	201

Таблица 2.11 – Значения продольных усилий N (т) в колоннах при отказе колонны 2Б на 1-м этаже.

Оси	1	2	3	4	Оси	1	2	3	4
	6 этаж					12 этаж			
В	252	427	415	394	В	35	61	59	56
Б, Г	285	88	426	380	Б, Г	38	23	60	55
А, Д	141	285	250	231	А, Д	20	38	35	32
	5 этаж					11 этаж			
В	286	496	474	450	В	72	119	119	113
Б, Г	330	86	494	435	Б, Г	78	38	118	109
А, Д	160	330	284	263	А, Д	41	78	72	66
	4 этаж					10 этаж			
В	319	567	532	505	В	109	178	179	169
Б, Г	377	78	565	489	Б, Г	118	54	177	163
А, Д	178	377	317	295	А, Д	61	118	108	100
	3 этаж					9 этаж			
В	351	643	589	560	В	145	238	238	226
Б, Г	426	62	641	543	Б, Г	158	67	237	217
А, Д	195	426	349	325	А, Д	82	158	144	133
	2 этаж					8 этаж			
В	382	724	645	614	В	181	299	297	282
Б, Г	478	36	722	597	Б, Г	200	78	298	272
А, Д	211	478	380	355	А, Д	102	200	180	166
	1 этаж					7 этаж			
В	410	811	700	688	В	217	362	356	338
Б, Г	532	0,2	810	651	Б, Г	242	85	361	326
А, Д	226	532	409	384	А, Д	122	242	215	199

При удалении (отказе) колонн продольные усилия N в колоннах перераспределяются в основном на смежные колонны этого же этажа. Добавление усилий на других этажах оказались ниже. Для проведения анализа этого перераспределения введем коэффициент значимости догружения.

Коэффициент значимости догружения колонны K_{ijf}^d , расположенной на пересечении осей i и j на этаже f при отказе соседней колонны, расположенной на этом этаже f определяется по выражению

$$K_{ijf}^d = \frac{N_{ijf}^R}{N_{ijf}}. \quad (2.3)$$

где N_{ij}^R - значение усилия N в колонне, расположенной на пересечении осей i и j этажа f , смежной с колонной, отказ которой учтен в расчетной схеме;

N_{ijf} - значение усилия N в той же колонне на этаже f , расположенной на пересечении осей i и j этажа f от эксплуатационных нагрузок (см. рисунки 2.9-2.14).

Коэффициент значимости догружения показывает – во сколько раз изменяется значение продольного усилия N в рассматриваемой колонне при отказе соседней колонны.

При разрушении колонны, расположенной на пересечении осей 1А (далее колонны 1А), и на этажах с 1 по 12, происходит догружение трех колонн 1Б, 2Б и 2А. При этом в двух колоннах (1Б и 2А), увеличение значений продольных усилий N и, соответственно, коэффициента догружения K_{ijf}^d изменяется в пределах от 1,02 до 1,38, а в колонне 2Б – от 0,94 до 1,03. Продольные усилия N в остальных колоннах практически не изменяются.

Максимальное значение коэффициента догружения K_{ijf}^d (от 1,28 до 1,31) получено для колонн, расположенных на одном этаже с удаляемой колонной 1А (см. таблицу 2.12). По мере отдаления от этого этажа значения коэффициента K_{ijf}^d уменьшаются и достигают значения 1,02, свидетельствующего практически об отсутствии влияния удаления колонны 1А.

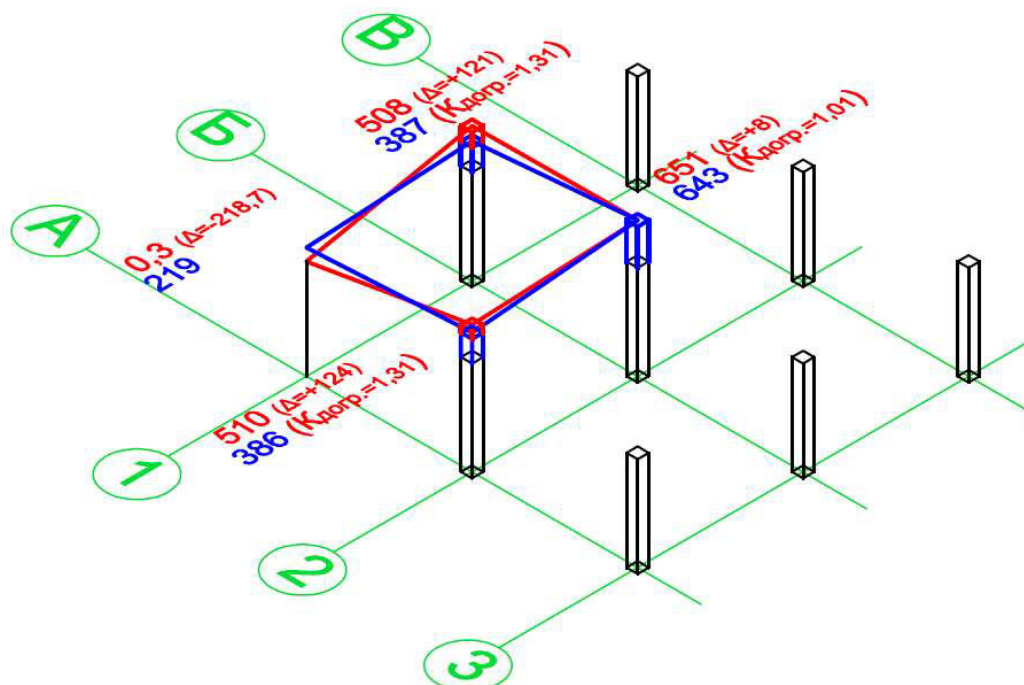
Таблица 2.12 – Значения коэффициента догружения (K_{ijf}^d) для колонны 1Б и 2А при удалении колонны 1А.

Этаж (fl)	Номер этажа, на котором удаляется колонна											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12	1,22	1,22	1,25	1,25	1,25	1,28	1,28	1,31	1,31	1,31	1,34	1,38
11	1,25	1,25	1,26	1,26	1,28	1,29	1,31	1,32	1,34	1,35	1,35	1,18
10	1,24	1,24	1,26	1,27	1,29	1,30	1,31	1,32	1,34	1,35	1,22	1,11
9	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,30	1,31	1,33	1,34	1,24	1,15	1,08
8	1,25	1,25	1,27	1,27	1,29	1,30	1,32	1,33	1,26	1,18	1,11	1,05
7	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29	1,31	1,32	1,26	1,19	1,14	1,09	1,04
6	1,26	1,27	1,28	1,29	1,31	1,32	1,26	1,21	1,16	1,11	1,07	1,03
5	1,27	1,28	1,29	1,30	1,31	1,27	1,22	1,18	1,13	1,10	1,06	1,03
4	1,28	1,29	1,30	1,31	1,27	1,23	1,19	1,15	1,11	1,08	1,05	1,02
3	1,29	1,30	1,31	1,27	1,23	1,20	1,16	1,13	1,10	1,07	1,04	1,02
2	1,30	1,31	1,28	1,24	1,21	1,18	1,14	1,12	1,09	1,06	1,04	1,02
1	1,31	1,28	1,25	1,22	1,19	1,16	1,13	1,10	1,08	1,05	1,03	1,02

Следует отметить, что колонны 1Б и 2А, в которых увеличение значений продольных усилий N максимально расположены на расстоянии шага колонн (одного пролета) (условно назовем эти колонны «ортогональными»), а менее догружаемая колонна 2Б расположена на большем чем один пролет расстоянии (условно назовем ее «диагональной») (см. рисунок 2.8 и рисунок 2.9).

оси	1	2	3	4	5	6	7
Д							
Г							
В							
Б	1Б 1,31	2Б 1,03					
А	1А	2А 1,31					

Рисунок 2.8 – Значения коэффициента догружения K_{ijf}^d продольных усилий N при удалении колонн, расположенных на пересечении осей 1А.



Условные обозначения.

508 ($\Delta=+121$) – усилие N (т) (приращение усилия) при удалении колонны

387 ($K_{догр.}=1,31$) – усилие N (т) (базовый расчет) (коэффициент значимости по догружению при удалении колонны)

Рисунок 2.9 – Перераспределение продольных усилий N (т) на смежные колонны при удалении угловой колонны, расположенной на пересечении осей 1А 1-го этажа

Аналогичные результаты получены по результатам расчетов с учетом аварийной ситуации с удалением других колонн. Результаты расчетов с учетом отказа колоны 2Б представлены в таблице 2.13, на рисунках 2.10 и 2.11.

Таблица 2.13 – Значения коэффициента значимости догружения (K_{ijf}^d) для колонны 1Б и 2А – верхнее число и для колонны 2В и 3Б – нижнее число при удалении колонны 2Б

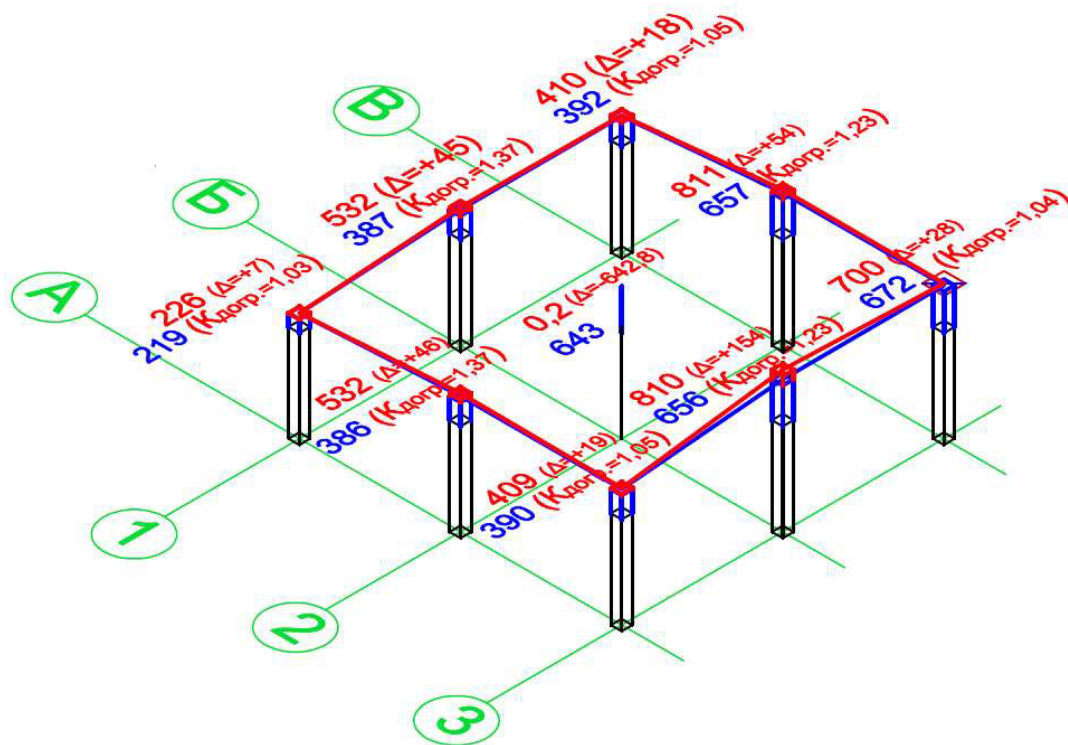
	Номер этажа, на котором удаляется колонна											
Этаж	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12	1,19	1,19	1,22	1,22	1,25	1,25	1,28	1,31	1,31	1,34	1,38	1,38
	1,09	1,11	1,11	1,13	1,15	1,16	1,18	1,22	1,24	1,25	1,29	1,35
11	1,20	1,22	1,23	1,25	1,26	1,29	1,31	1,32	1,35	1,37	1,38	1,17
	1,09	1,10	1,11	1,13	1,15	1,17	1,19	1,21	1,27	1,27	1,30	1,15
10	1,20	1,21	1,23	1,26	1,28	1,30	1,32	1,34	1,36	1,38	1,21	1,09
	1,10	1,11	1,12	1,14	1,16	1,18	1,20	1,23	1,25	1,28	1,17	1,08
9	1,21	1,22	1,24	1,26	1,28	1,31	1,33	1,35	1,37	1,24	1,14	1,06
	1,10	1,11	1,13	1,14	1,16	1,18	1,21	1,23	1,26	1,17	1,10	1,05
8	1,22	1,23	1,25	1,27	1,29	1,32	1,34	1,36	1,26	1,16	1,09	1,04
	1,11	1,12	1,13	1,15	1,18	1,20	1,04	1,25	1,18	1,12	1,07	1,03
7	1,23	1,24	1,26	1,28	1,31	1,34	1,36	1,26	1,18	1,12	1,07	1,03
	1,12	1,13	1,15	1,16	1,19	1,21	1,24	1,17	1,12	1,08	1,05	1,02
6	1,24	1,26	1,28	1,31	1,33	1,35	1,27	1,20	1,14	1,09	1,05	1,02
	1,13	1,14	1,16	1,17	1,20	1,23	1,17	1,12	1,08	1,05	1,03	1,02
5	1,26	1,28	1,31	1,33	1,36	1,28	1,21	1,15	1,11	1,07	1,04	1,02
	1,14	1,16	1,17	1,20	1,22	1,17	1,12	1,09	1,06	1,04	1,02	1,01
4	1,29	1,31	1,33	1,35	1,29	1,22	1,17	1,12	1,09	1,05	1,03	1,01
	1,16	1,18	1,20	1,22	1,17	1,13	1,09	1,07	1,05	1,03	1,02	1,01

Продолжение таблицы 2.13

Этаж	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	1,31	1,33	1,36	1,30	1,24	1,18	1,14	1,10	1,07	1,04	1,02	1,01
	1,18	1,20	1,22	1,18	1,14	1,10	1,08	1,05	1,04	1,02	1,01	1,01
2	1,34	1,37	1,31	1,26	1,20	1,16	1,12	1,09	1,06	1,04	1,02	1,01
	1,21	1,22	1,18	1,15	1,11	1,08	1,06	1,04	1,03	1,02	1,01	1,01
1	1,37	1,33	1,28	1,23	1,18	1,14	1,11	1,07	1,05	1,03	1,02	1,01
	1,23	1,20	1,16	1,13	1,10	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00

оси	1	2	3	4	5	6	7
Д							
Г							
В	<u>1В</u> 1,08	<u>2В</u> 1,35	<u>3В</u> 1,08				
Б	<u>1Б</u> 1,38	2Б	<u>3Б</u> 1,35				
А	<u>1А</u> 1,11	<u>2А</u> 1,38	<u>3А</u> 01,09				

Рисунок 2.10 – Выборка максимальных значений коэффициентов значимости по догрузению K_{ijf}^d продольных усилий N при удалении колон, расположенных на пересечении осей 2Б



Условные обозначения.

532 ($\Delta=+45$) – усилие N (т) (приращение усилия) при удалении колонны

387 (Кдогр.=1,31) – усилие N (т) (базовый расчет) (коэффициент значимости по догрузению при удалении колонны)

Рисунок 2.11 – Перераспределение продольных усилий $N(t)$ в удаляемой средней колонне, расположенной на пересечении осей 2Б 1-го этажа и смежных с ней колоннах.

Удаление колонны 1А приводит к догрузу 3-х смежных колонн (две из которых догружаются до 38 %, а одна до 8%), удаление колонны 2 Б приводит к догрузу 8 смежных колонн (четыре из которых догружаются до 38 %, а остальные четыре до 8%). Таким образом, мы можем дифференцировать удаляемые колонны по их влиянию на смежные колонны, которые максимально догружаются в пределах одного этажа с удаляемой колонной.

Значения коэффициентов догружения при удалении других колонн первого этажа показаны на рисунках 2.12-2.13.

а)

оси	1	2	3	4	5	6	7
Д							
Г							
В							
Б	1Б 1,02	2Б 1,24	3Б 1,03				
А	1А 1,54	2А	3А 1,33				

б)

оси	1	2	3	4	5	6	7
Д							
Г							
В							
Б		2Б 1,03	3Б 1,24	4Б 1,03			
А		2А 1,33	3А	4А 1,33			

Рисунок 2.12 – Коэффициенты значимости по догрузению K_{ijf}^d продольных усилий N при удалении колон, расположенных на пересечении осей 2А (а) и 3А (б).

а)

оси	1	2	3	4	5	6	7
Д							
Г							
В		2В 1,04	3В 1,22	4В 1,04			
Б		2Б 1,24	3Б 1,37	4Б 1,24			
А		2А 1,05	3А 1,37	4А 1,05			

б)

оси	1	2	3	4	5	6	7
Д							
Г	1Г 1,05	2Б 1,24	3Б 1,04				
В	1В 1,37	2В 1,23	3В 1,23				
Б	1Б 1,05	2Б 1,24	3Б 1,04				
А							

Рисунок 2.13 – Коэффициенты значимости по догрузению K_{ijf}^d смежных колонн при отказе колон, расположенных на пересечении осей 3Б (а) и 2В (б)

2.6 Выводы по главе

1. Анализ показателей объемов разрушений и степени перераспределения усилий, вызванные отказом колонны позволяет определить показатели ответственности рассматриваемых колонн в каркасном здании из монолитного бетона.

2. При начальном поочередном локальном отказе колонн многоэтажного каркасного здания происходит разрушение участков безригельных перекрытий, армирование которых принято по результатам расчетов на нормальную эксплуатацию.

3. Площадь перекрытий, находящихся в запредельном состоянии, зависит от расположения в плане и по высоте удаляемой колонны. Характер распределения показателей ответственности по относительным площадям разрушений (K_{sijf}) в плоскости этажа практически одинаков для всех этажей.

4. Максимальный объем разрушений вызывает отказ колонн, расположенных возле крайних (наружных) рядов соответственно по буквенным и цифровым рядам и колонны второго ряда (расположена по диагонали от угловой колонны наружного ряда).

5. Площадь разрушаемых перекрытий в здания при начальном локальном отказе колонн, которые одинаково расположены в плане уменьшается от 1-го до 12-го этажа.

6. Значения коэффициента догружения K_{ijf}^d смежных колонн отказе колонн крайних рядов может достигать 54%.

Глава 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ОТВЕТСТВЕННОСТИ КОЛОНН С УЧЕТОМ ВЕРОЯТНОСТИ ОТКАЗА

3.1 Общие положения

Для исследований принят объект с конструктивной схемой в виде безригельного рамного каркаса, конструкция которого представлена в главе 2.

Конечно - элементная модель здания в ПК ЛИРА - САПР приведена на рисунке 3.1. Колонны смоделированы с использованием стержневых конечных элементов, а перекрытия и покрытие с использованием пространственных конечных элементов пластин с размером 0,5х0,5 м.

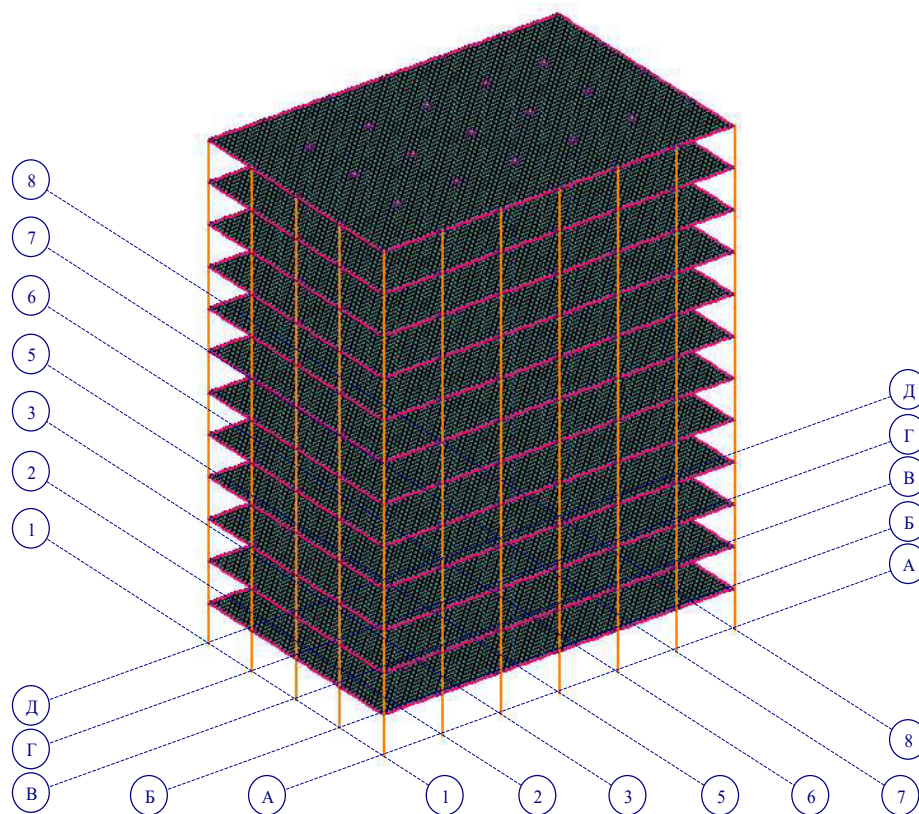


Рисунок 3.1 – Конечно - элементная модель здания.

Надежность является качественной характеристикой, имеющей количественные показатели. Наиболее важным количественным показателем является вероятность отказа P_f [3, 72, 135, 156, 169, 174].

В общем случае вероятность отказа конструкции P_f при исходных параметрах, представленных случайными величинами, равна многомерному интегралу:

$$P_f = P_{rob} \{g(x_1, x_2, \dots, x_n) < 0\} = \int_{\Omega_n} \dots \int f(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n, \quad (3.1)$$

где Ω_n – область отказовых состояний в n –мерном пространстве всех случайных величин $(x_1, x_2, \dots, x_n)$, граница которой определяется условием $g = 0$;

$f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – совместная плотность вероятности всех случайных величин.

Если все расчетные величины можно разделить на две группы, где первая включает характеристики, относящиеся к свойствам самой конструкции, а вторая характеризует внешние воздействия, то в приложении к задачам расчета на прочность условие отказа математически будет выражаться неравенством

$$g(x_1, x_2, \dots, x_n) = R(x_1, x_2, \dots, x_m) - Q(x_{m+1}, x_{m+2}, \dots, x_n) < 0 \quad (3.2)$$

или

$$g = R - Q < 0, \quad (3.3)$$

где Q – нагрузочный эффект;

R – несущая способность, выраженная в тех же единицах что и нагрузочный эффект Q ;

g – функция работоспособности или резерв прочности.

В общем случае несущая способность и нагрузочный эффект являются случайными функциями времени, но в рассматриваемой постановке R и Q рассматриваются как случайные величины.

Вероятность отказа есть вероятность реализации неравенства (3.3):

$$P_f = P_{rob} \{g = R - Q < 0\} = \int_{-\infty}^0 f_g(g) dg, \quad (3.4)$$

где $P_{rob}(A)$ – вероятность реализации события A ;

$f_g(g)$ – плотность распределения резерва прочности.

При взаимной независимости R и Q плотность распределения резерва прочности определится выражением:

$$f_g(g) = \int_{-\infty}^{\infty} f_R(g+Q)f_Q(Q)dQ, \quad (3.5)$$

где f_R – плотность распределения несущей способности R ;

f_Q – плотность распределения нагрузочного эффекта Q .

С учетом (3.4) и (3.5) вероятность отказа будет равна:

$$P_f = \int_{-\infty}^{\infty} f_Q(Q)F_R(Q)dQ \quad (3.6)$$

или:

$$P_f = 1 - \int_{-\infty}^{\infty} f_R(R)F_Q(R)dR, \quad (3.7)$$

где F_R – функция распределения несущей способности;

F_Q – функция распределения нагрузочного эффекта.

При любых законах распределения R и Q математическое ожидание и стандартное отклонение резерва прочности соответственно равны:

$$m_g = m_R - m_Q; \quad (3.8)$$

$$s_g = \sqrt{s_R^2 + s_Q^2}, \quad (3.9)$$

где m_R и s_R – математическое ожидание и стандарт распределения несущей способности;

m_Q и s_Q – математическое ожидание и стандарт распределения нагрузочного эффекта.

Решение интеграла (3.1) возможно различными методами (при определенных допущениях). Основными методами решения (3.1) являются: метод двух моментов, метод горячих точек, метод статистических испытаний, метод Монте-Карло [3,85,98].

При решении поставленной задачи определения значений коэффициентов надежности по ответственности отдельных несущих элементов воспользуемся методом статистических испытаний.

3.2 Метод статистических испытаний

Метод статистических испытаний позволяет определить оценку вероятности наступления отказа строительных конструкций. В методе производится достаточно большое число (m) статистических испытаний по схеме Бернулли (т.е. на каждом испытании генерируются случайные реализации исходных величин), после чего определяется частота появления отказа ν . Частота отказа представляет собой отношение числа отказов (k) к общему числу испытаний и рассматривается как оценка вероятности отказа P_f

$$\nu = \frac{k}{m} \approx P_f. \quad (3.10)$$

Данный метод является устойчивым тогда и только тогда, когда все исходные независимые случайные величины распределены по нормальному закону, так как метод основывается на трех предельных теоремах:

1. Теорема Бернулли. При $m \rightarrow \infty, \nu \rightarrow P_f$ и имеет асимптотически нормальное распределение;
2. Теорема Хинчина (закон больших чисел). Средние частоты ν при $m \rightarrow \infty$ стремятся к ее математическому ожиданию;
3. Теорема Линдсберга-Леви (центральная предельная теорема). Среднее значение частоты ν имеет асимптотически нормальное распределение.

Общий алгоритм расчета строительных конструкций методом статистических испытаний состоит в следующем:

1. Определение величин (параметров несущей способности $R_1, \dots, R_m$ и воздействий $F_1, \dots, F_m$), обладающих изменчивостью.

2. Определение законов распределения для случайных величин. (законы распределения задаются численно с помощью генераторов случайных чисел).
3. Определение условия отказа конструкции (обычно условием отказа конструкции считается невыполнение принятого расчетного условия).
4. Определение частоты отказов и построение гистограммы функции резерва прочности.

За отказ принято превышение расчетным армированием проектного расчетного армирования. В качестве случайных величин принимаются: прочность арматуры $R_{\text{арм}}$, прочность бетона $R_{\text{бет}}$, а также величина временной равномерно распределенной нагрузки на перекрытия F . Все рассматриваемые случайные величины приняты распределенными по нормальному закону.

3.3 Прочность бетона $R_{\text{бет}}$

Классом бетона по прочности на осевое сжатие B (МПа) называется временное сопротивление сжатию бетонных кубов с размером ребра 150 мм, испытанных в соответствии со стандартом через 28 суток хранения при $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ с учетом статистической изменчивости прочности. В нормах проектирования для бетона установлена обеспеченность 0,95.

Переход от кубиковой прочности бетона (R) к призмной (R_b) осуществляется с помощью формул

$$R_b = \varphi R; \quad (3.11)$$

$$\varphi = 0,77 - 0,001R. \quad (3.12)$$

Коэффициент вариации прочности бетона v принят равным 0,135 (бетон В25).

Если прочность распределена по нормальному закону, а ее нормативное значение имеет обеспеченность 0,95, то справедливы следующие соотношения:

$$m_R^H = \frac{R^H}{1 - 1,64\nu_R} = 23,76 \text{ МПа}; \quad (3.13)$$

$$s_R = m_R \nu_R = 3,2 \text{ МПа}. \quad (3.14)$$

Функция плотности распределения прочности $R_{бет}$ приведена на рисунке 3.2.

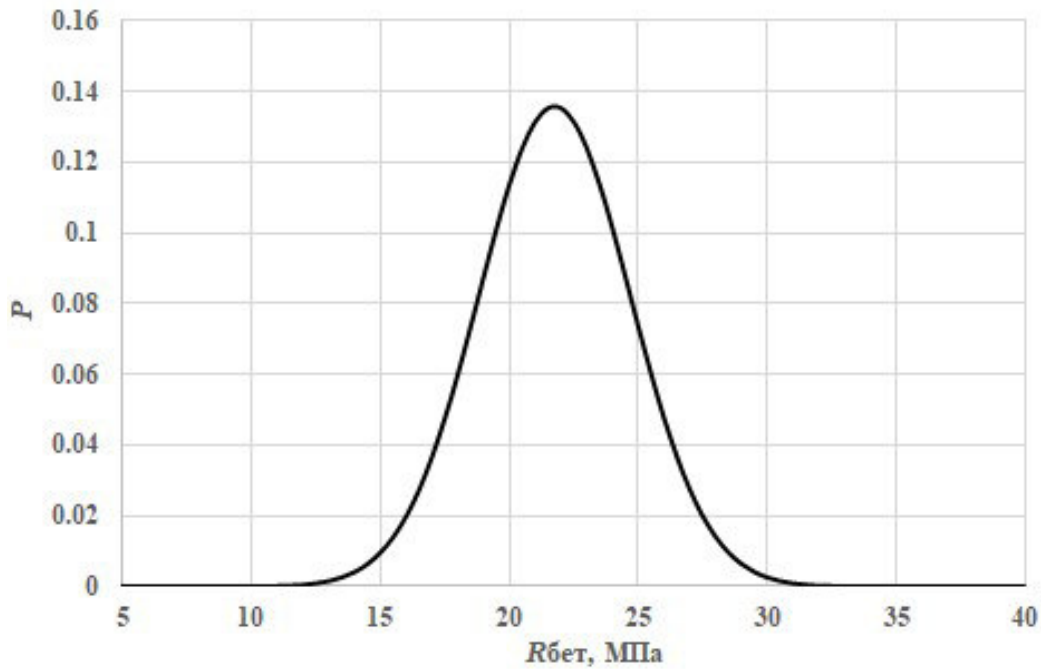


Рисунок 3.2 – Функция плотности распределения $R_{бет}$ ($m_R = 23,76$ МПа, $s_R = 3,2$ МПа)

3.4 Прочность арматуры R_s

Коэффициент вариации прочности арматуры принят равным 0,1, тогда основные характеристики нормального распределения:

$$m_R^n = \frac{R_s^n}{1 - 1,64\nu_R} = 598,09 \text{ МПа}; \quad (3.15)$$

$$s_R = m_R \nu_R = 59,8 \text{ МПа}, \quad (3.16)$$

где m_R - математическое ожидание случайной величины;

R_S^n - нормативное значение сопротивления материала.

Функция плотности распределения прочности R_S^n приведена на рисунок 3.3.

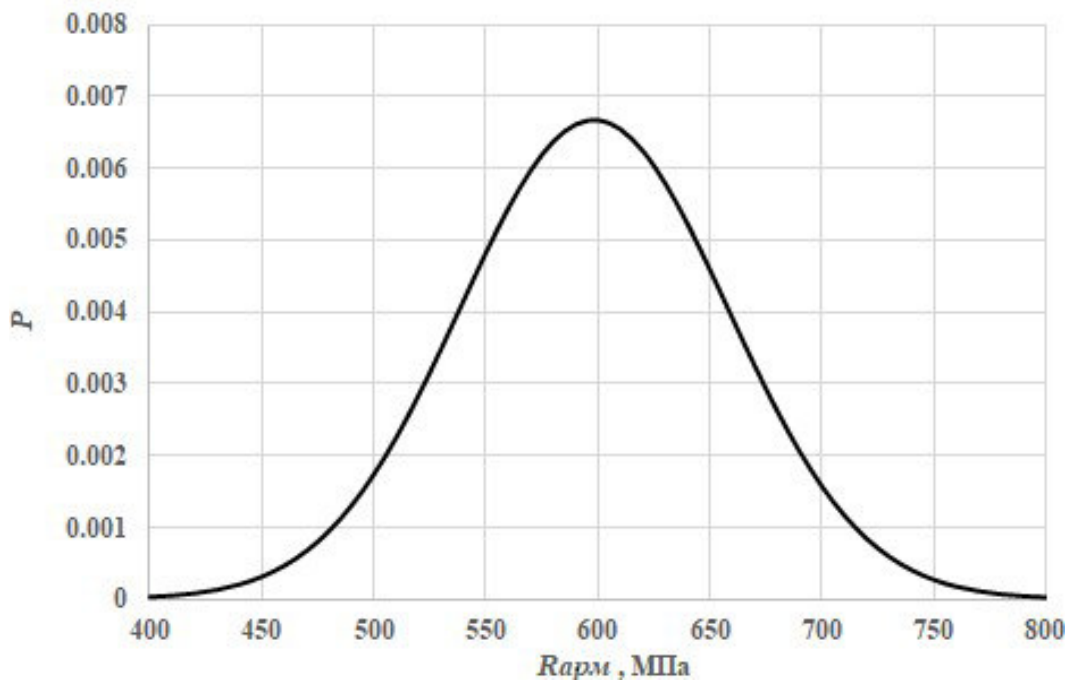


Рисунок 3.3 – Функция плотности распределения $R_{арм}$ ($m_R = 598,09$ МПа, $s_R = 59,8$ МПа)

3.5 Равномерно распределенная нагрузка на перекрытие F

Нормативное значение нагрузки $F_n = 200$ кг/м². Будем исходить из того, что обеспеченность данного нормативного значения 0,95, а коэффициент вариации v_F равен 0,4 [98-102]. Тогда основные характеристики нормального распределения

$$m_F^n = 159,89 \text{ кг}; \quad (3.17)$$

$$s_F = m_F v_F = 63,94 \text{ кг}. \quad (3.18)$$

Функция плотности распределения нагрузки приведена на рисунке 3.4.

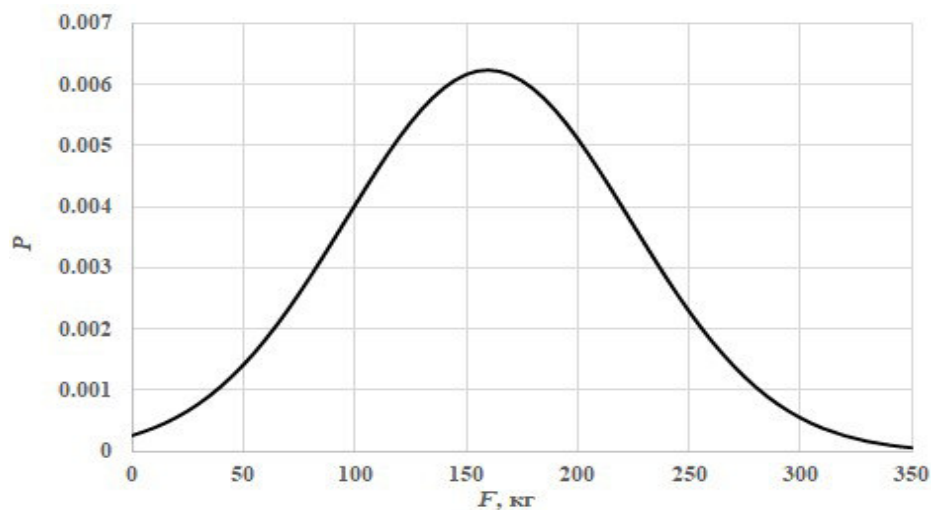


Рисунок 3.4 – Функция плотности распределения F ($m_F = 159,86$ кг/м², $s_F = 63,94$ кг/м²)

Ниже приведены результаты исследования для угловой колонны №1, крайней колонны №2, средней колонны №13 и центральной колонны №18 первого этажа (см. рисунок 3.5).

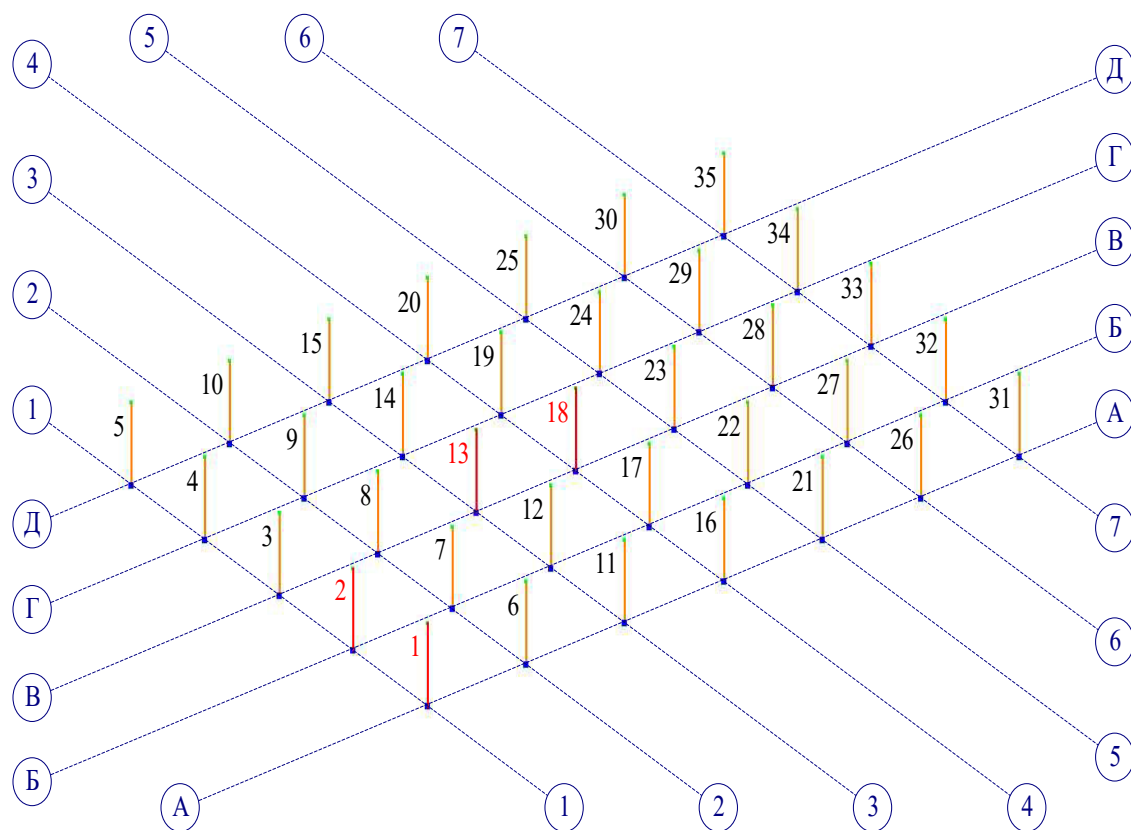


Рисунок 3.5 – Схема расположения колонн

3.6 Полученные результаты

В таблицах 3.1-3.2 представлены реализации исходных случайных величин, а также соответствующие полученные методом статистических испытаний площади армирования для каждой из рассматриваемых колонн.

Полученные эмпирические распределения площадей армирования для каждой из колонн были аппроксимированы нормальным законом распределения. На рисунках 3.6-3.11 приведены гистограммы площадей армирования и плотности распределения нормальных законов с соответствующими параметрами.

Таблица 3.1 – Значения площади армирования (симметричное армирование)

№ Слу- чая	F , кг/м ²	R_b , Мпа	R_s , Мпа	Площадь армирования S , см ²			
				Угловая колонна	Крайняя колонна	Средняя колонна	Центральная колонна
1	2	3	4	5	6	7	8
1	240,00	435,00	14,50	19,5	65,0	134,0	133,0
2	246,65	528,36	14,27	18,7	59,1	117,0	116,0
3	257,67	456,87	11,95	29,0	74,3	141,0	141,0
4	213,91	582,02	19,26	3,8	41,2	95,2	95,1
5	103,87	527,21	15,81	10,2	46,9	98,5	98,3
6	283,22	465,74	17,75	10,6	56,2	124,0	124,0
7	283,08	516,71	17,54	10,9	53,3	114,0	114,0
8	188,95	447,54	17,05	10,2	54,1	120,0	119,0
9	216,95	496,80	14,70	16,9	59,2	119,0	119,0
10	205,24	495,37	14,83	16,7	58,2	118,0	117,0
11	177,51	497,78	16,14	11,8	52,4	111,0	111,0
12	247,53	481,95	14,28	20,1	63,5	127,0	126,0
13	146,70	552,28	14,58	14,5	51,8	103,0	103,0
14	273,69	404,49	20,38	3,2	53,0	130,0	129,0
15	181,37	519,09	17,13	8,6	48,2	104,0	103,0
16	200,58	542,36	14,21	17,8	56,8	111,0	110,0
17	359,35	534,16	16,91	14,3	58,1	121,0	120,0

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8
19	184,50	499,78	13,90	18,5	59,3	118,0	117,0
20	127,97	531,48	16,40	9,3	46,6	98,7	98,4
21	214,43	526,09	14,24	18,2	58,1	114,0	114,0
22	89,31	485,05	17,30	6,1	44,3	99,8	99,5
23	201,45	478,98	18,51	5,8	47,4	110,0	109,0
24	244,78	483,04	14,32	19,2	61,4	124,0	124,0
25	316,41	447,61	14,22	23,0	71,8	143,0	143,0
26	64,04	486,12	16,40	8,0	45,8	99,3	99,2
27	138,76	424,34	15,94	12,2	57,0	122,0	122,0
28	69,55	513,44	13,97	15,0	51,4	102,0	102,0
29	81,27	569,63	19,14	1,0	34,8	84,0	83,7
30	235,66	480,30	17,03	11,2	54,6	118,0	117,0
31	161,16	528,80	15,52	12,5	50,9	105,0	105,0
32	288,06	537,55	18,85	7,0	48,7	108,0	108,0
33	254,42	544,61	17,53	9,6	50,1	108,0	108,0
34	246,46	448,39	14,73	19,4	65,4	133,0	133,0
35	290,84	508,33	15,75	16,2	59,4	122,0	121,0
36	243,14	509,61	17,66	9,3	51,1	111,0	111,0
37	283,21	503,67	20,39	2,6	45,7	108,0	108,0
38	99,57	460,84	19,61	0,0	39,1	98,2	97,9
39	190,32	551,65	15,43	13,4	52,0	106,0	105,0

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8
40	179,81	491,23	20,07	2,6	42,8	102,0	102,0
41	68,76	517,18	16,83	6,4	42,7	93,5	93,2
42	211,58	502,15	16,24	12,2	53,8	113,0	113,0
43	110,78	466,14	15,06	12,9	53,8	112,0	112,0
44	300,42	469,92	14,03	23,1	69,1	137,0	136,0
45	130,06	519,86	20,42	0,6	35,8	90,0	89,8
46	232,41	450,49	18,14	8,0	53,0	121,0	121,0
47	208,67	536,66	15,06	15,4	55,0	110,0	110,0
48	121,10	526,09	16,43	9,0	46,6	98,5	98,7
49	25,28	523,05	18,52	0,6	35,0	83,7	83,4
50	187,30	484,55	15,04	16,1	57,4	118,0	117,0

Таблица 3.2 – Значения площади армирования (несимметричное армирование)

№ Слу- чая	F , кг/м ²	$R_{бет}$, Мпа	$R_{арм}$, Мпа	Площадь армирования S , см ²			
				Угловая колонна	Крайняя колонна	Средняя колонна	Центральная колонна
1	2	3	4	5	6	7	8
1	240,00	435,00	14,50	16,3	61,6	134	133
2	246,65	528,36	14,27	15,7	55,8	117	116
3	257,67	456,87	11,95	25,3	71,2	141	141
4	213,91	582,02	19,26	2,56	38,4	95,2	95,2
5	103,87	527,21	15,81	7,27	44,5	98,2	98,5
6	283,22	465,74	17,75	7,04	52,9	125	124
7	283,08	516,71	17,54	7,36	49,9	114	114
8	188,95	447,54	17,05	6,72	51,6	120	119
9	216,95	496,80	14,70	14,1	55,8	119	119
10	205,24	495,37	14,83	13,5	54,8	118	118
11	177,51	497,78	16,14	8,64	49,2	111	110
12	247,53	481,95	14,28	16,6	60,2	127	127
13	146,70	552,28	14,58	11,7	48,7	104	103
14	273,69	404,49	20,38	2,24	49	130	129
15	181,37	519,09	17,13	5,76	45,2	104	104
16	200,58	542,36	14,21	14,7	53,5	111	111
17	359,35	534,16	16,91	11,2	54,4	121	120
18	196,39	526,54	14,41	6,72	46,6	105	105

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8
19	184,50	499,78	13,90	16	56,4	118	118
20	127,97	531,48	16,40	6,4	43,9	99,1	98,5
21	214,43	526,09	14,24	15	54,2	114	114
22	89,31	485,05	17,30	3,84	42	99,8	99,5
23	201,45	478,98	18,51	3,68	44,6	110	110
24	244,78	483,04	14,32	15,9	58,3	124	124
25	316,41	447,61	14,22	19,5	68	144	143
26	64,04	486,12	16,40	5,12	43	99,5	99,5
27	138,76	424,34	15,94	6,65	51,1	119	119
28	69,55	513,44	13,97	12,6	48,7	102	102
29	81,27	569,63	19,14	0,64	32,6	84,4	84
30	235,66	480,30	17,03	7,68	51,2	118	117
31	161,16	528,80	15,52	9,6	48,3	105	105
32	288,06	537,55	18,85	4,64	45,8	108	108
33	254,42	544,61	17,53	6,4	47,1	108	108
34	246,46	448,39	14,73	15,7	62,5	134	133
35	290,84	508,33	15,75	16,2	59,4	122	122
36	243,14	509,61	17,66	6,08	48	111	111
37	283,21	503,67	20,39	2,08	42	108	108
38	99,57	460,84	19,61	0,008	36,5	98,1	98,1
39	190,32	551,65	15,43	10,6	49	106	106

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8
40	179,81	491,23	20,07	1,76	39,4	102	102
41	68,76	517,18	16,83	4,16	40	93,6	93,3
42	211,58	502,15	16,24	8,96	50,3	113	113
43	110,78	466,14	15,06	10,2	51,5	113	113
44	300,42	469,92	14,03	19,7	65,7	137	137
45	130,06	519,86	20,42	0,008	33	90,1	89,8
46	232,41	450,49	18,14	5,12	50	120	120
47	208,67	536,66	15,06	12,4	52,2	110	110
48	121,10	526,09	16,43	6,08	43,9	99,1	98,8
49	25,28	523,05	18,52	0,32	32,5	83,7	83,4
50	187,30	484,55	15,04	12,6	54,5	118	118

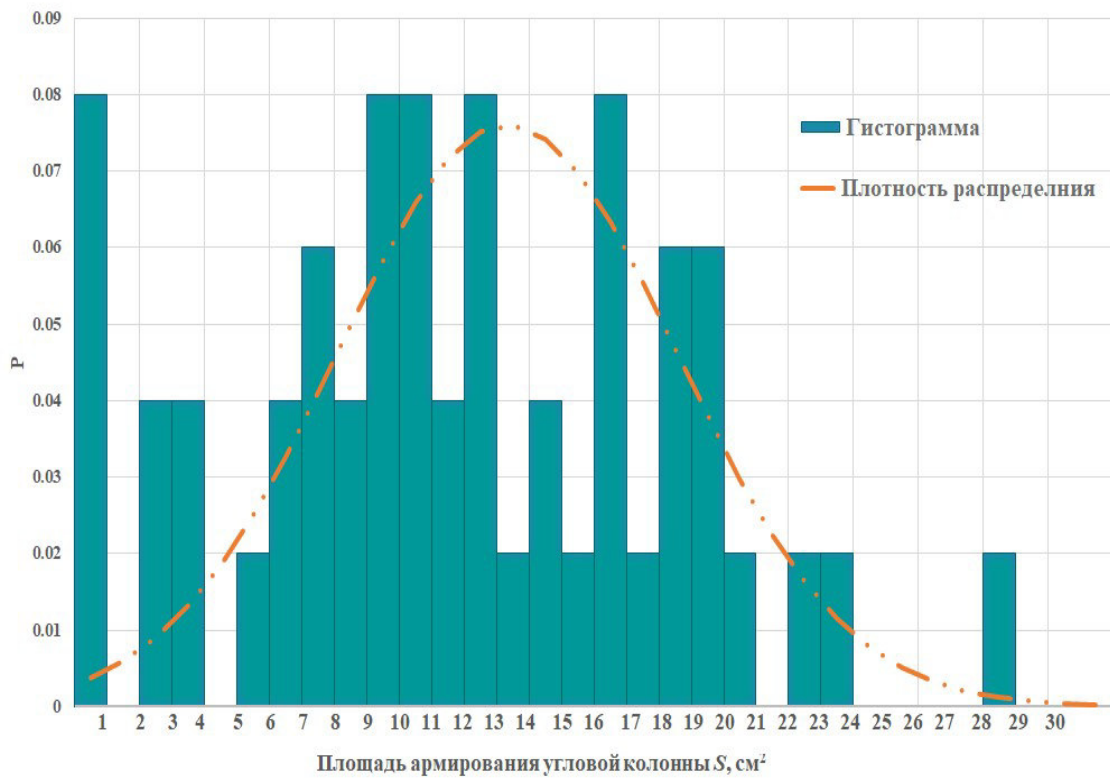


Рисунок 3.6 – Гистограмма площади армирования угловой колонны и плотность распределения площади армирования (симметричное армирование).

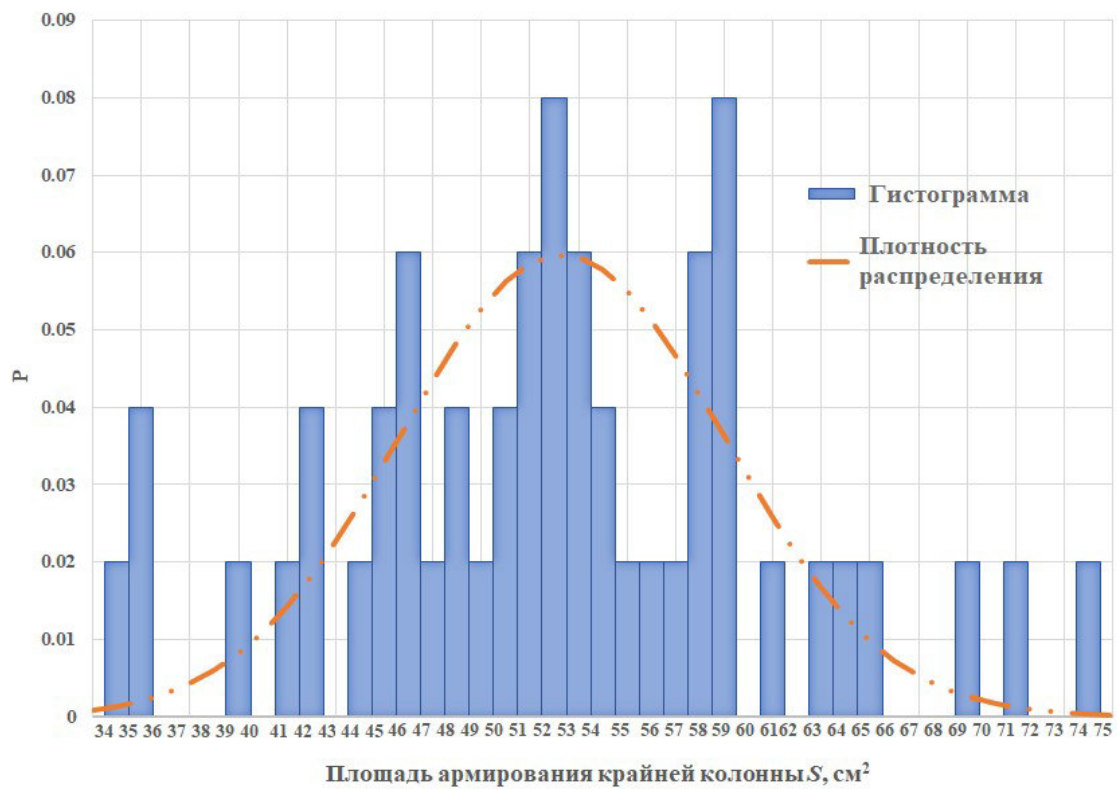


Рисунок 3.7 – Гистограмма площади армирования крайней колонны и плотность распределения площади армирования (симметричное армирование)

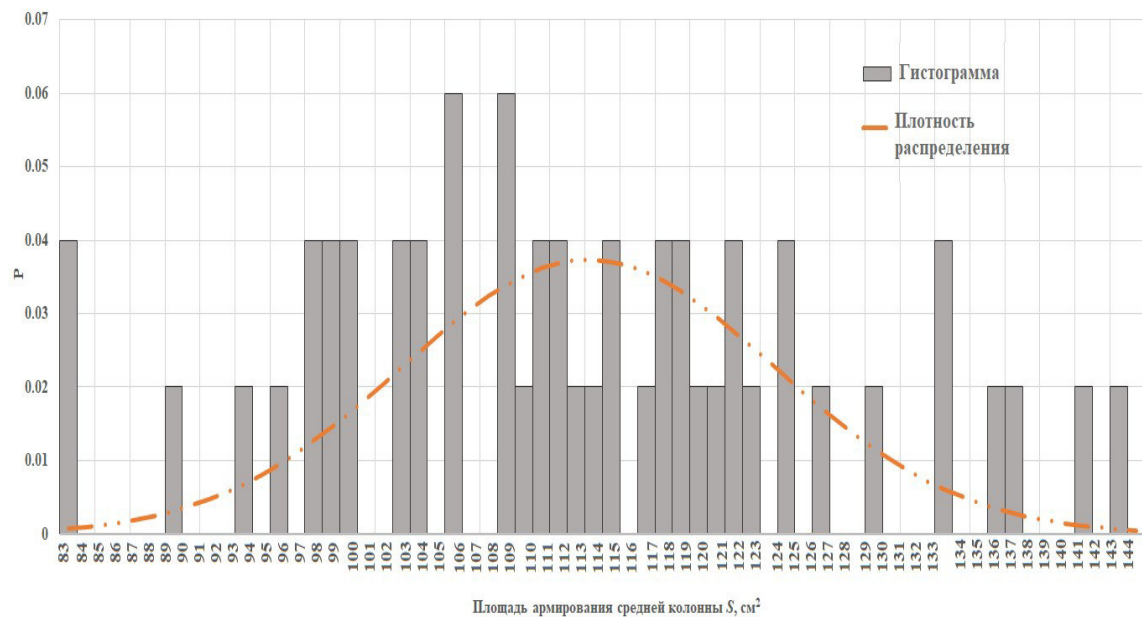


Рисунок 3.8 – Гистограмма площади армирования средней колонны и плотность распределения площади армирования (симметричное армирование)

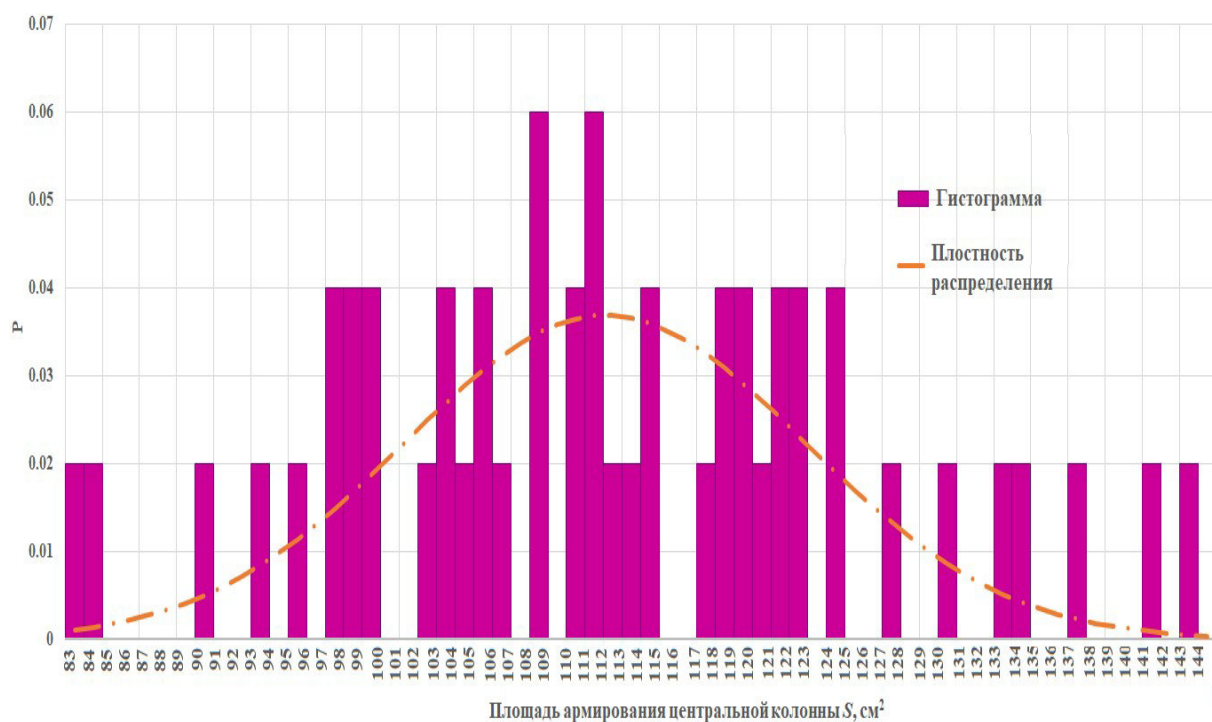


Рисунок 3.9 – Гистограмма площади армирования центральной колонны и плотность распределения площади армирования (симметричное армирование)

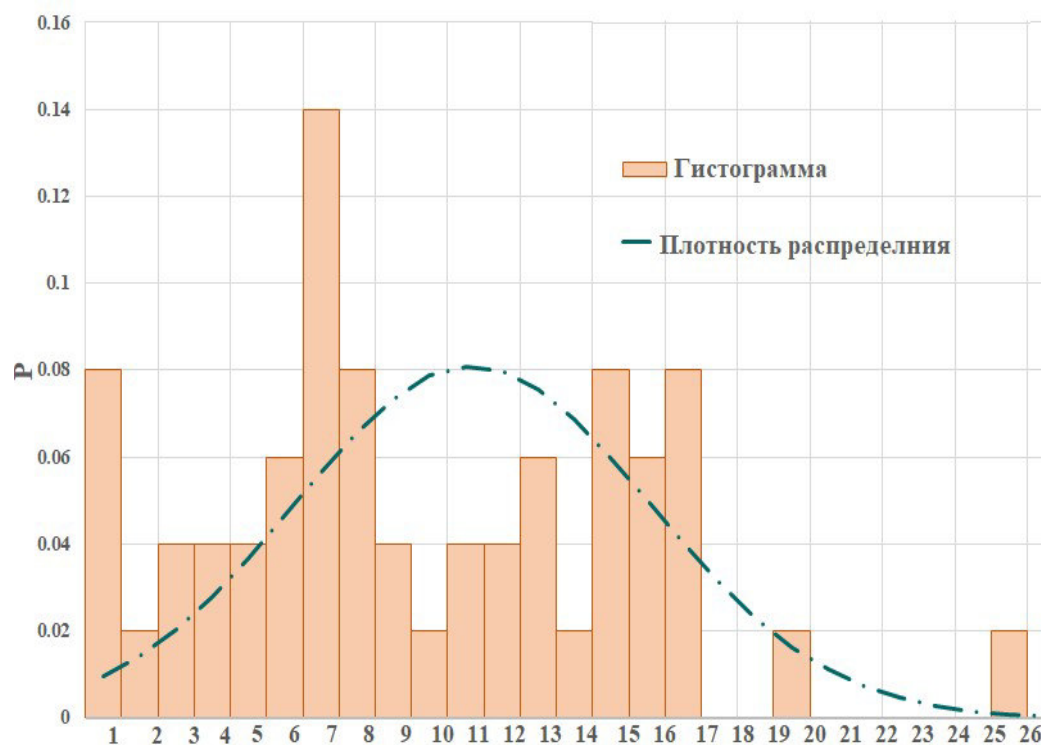


Рисунок 3.10 – Гистограмма площади армирования угловой колонны и плотность распределения площади армирования (несимметричное армирование)

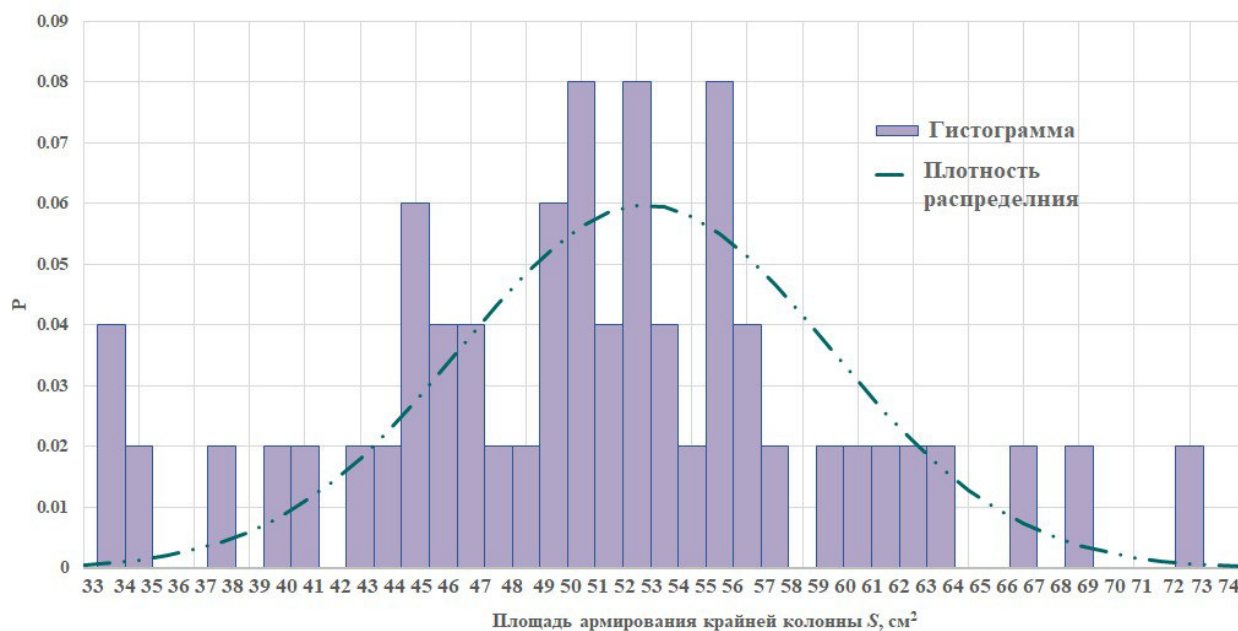


Рисунок 3.11 – Гистограмма площади армирования крайней колонны и плотность распределения площади армирования (несимметричное армирование)

Определим вероятности отказа для каждой из колонн (таблица 3.3), воспользовавшись выражением для функции распределения нормального закона:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{(x-m_x)^2}{2s_x^2}\right) dx. \quad (3.19)$$

Таблица 3.3 – Полученные значения вероятности отказа колонн

Колонна	Вероятность отказа P_f	
	Симметричное армирование	Несимметричное армирование
Угловая	0,02604	0,02849
Крайняя	0,01127	0,01175
Средняя	0,00472	0,00470
Центральная	0,00512	0,00523

Для каждой из колонн вычислим соответствующий риск отказа колонн *Risk*:

$$Risk = P_f \cdot U, \quad (3.20)$$

где U – ущерб, который можно принять равным грузовой площади соответствующей колонны (в относительных единицах для угловой колонны – $U = 0,25$; для крайней колонны – $U = 0,5$; для средней и центральной колонн – $U = 1$). Полученные значения риска представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Полученные значения риска *Risk*

Армирование	Угловая колонна	Крайняя колонна	Средняя колонна	Центральная колонна
Симметричное армирование	0,65	0,56	0,47	0,51
Несимметричное армирование	0,71	0,59	0,47	0,52

Условно примем риск для средней колонны равным 1, тогда, используя (3.20), можно получить коэффициенты значимости для остальных несущих элементов нижнего яруса (колонн) из условия равенства рисков [86]. Полученные поправочные коэффициенты приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Коэффициенты значимости относительной вероятности отказа колонны

Армирование	Угловая колонна	Крайняя колонна	Средняя колонна	Центральная колонна
Симметричное армирование	1,38	1,19	1,00	1,08
Несимметричное армирование	1,51	1,25	1,00	1,10

3.7 Выводы по главе

1. Предложена вероятностная методика оценки надежности несущих элементов железобетонного безригельного рамного каркаса на основе метода статистических испытаний теории надежности строительных конструкций.

2. Для средних, крайних и угловых колонн нижнего яруса получены поправочные коэффициенты, которые позволили определить коэффициенты значимости как показатели по уровню ответственности колонн для последующего установления коэффициентов надежности по ответственности для данных отдельных элементов из условия равенства рисков при возможных аварийных ситуациях.

3. Предложенный подход позволяет оптимизировать конструктивные решения железобетонных зданий по расходу материалов с обеспечением необходимого уровня надежности и механической безопасности.

4. Следует отметить достаточно хорошую сходимость результатов с полученными данными по показателям ответственности, приведенными в главе 2.

Глава 4. УРОВЕНЬ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН МНОГОЭТАЖНОГО КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ

4.1 Анализ критериев для определения уровня ответственности колонн первого этажа

В главах 2-3 были представлены и проанализированы результаты независимых расчетов для определения напряжено-деформированного состояния каркасной системы при поочередном удалении одного вертикального несущего элемента. Данные расчеты выполнялись для каркасной конструктивной системы из монолитного железобетона с целью выявления показателей, по которым можно определить уровень ответственности колонн в несущей каркасной системе, в зависимости от их местоположения.

При определении уровня ответственности несущих конструкций важным фактором является назначение критериев, по которым обоснованно корректируются нагрузочные или прочностные характеристики конструкции. Опираясь на отечественный и международный опыт [36,37,54,67,106,108,113,154,160,167,173,182,186,191,192,198,199,202-207], за основной критерий следует принять относительный объем разрушений или состояние несущих конструкций в запредельном состоянии, последовавший за отказом рассматриваемой несущей конструкции. Для многоэтажных каркасов из монолитного железобетона, на основании анализа полученных схем разрушения при отказе колонн, расположенных на разных осях плана и по различным этажам, этот параметр может соответствовать площади перекрытий, превысивших критерии предела по несущей способности, отнесенной к общей грузовой площади рассматриваемой колонны.

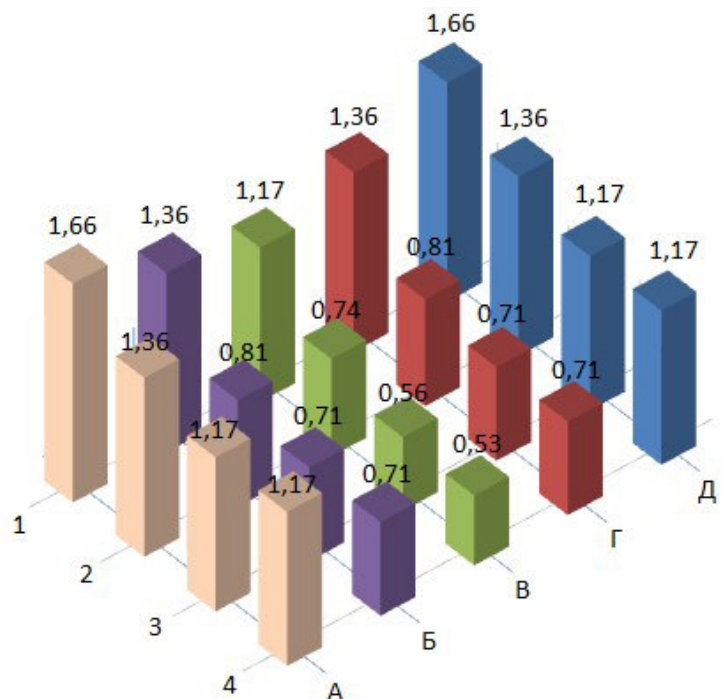
Площадь разрушения перекрытий здания (S_{ijf}^R) вследствие начального отказа колонн, зависит от расположения колонн в плане и по высоте как при стандартном («эталонном») армировании, так и при произвольном. Для оценки такого влияния используется связанная с S_{ijf}^R относительная величина — коэффициент значимости местоположения в плане колонны, расположенной на

пересечении осей i и j на этаже f (K_{sijf}). Данный коэффициент характеризует относительный объем разрушения и может быть использован для определения тяжести последствий частичного разрушения здания. Вычисления коэффициента значимости по критерию объема разрушений описан в главе 2 (формула 2.1)

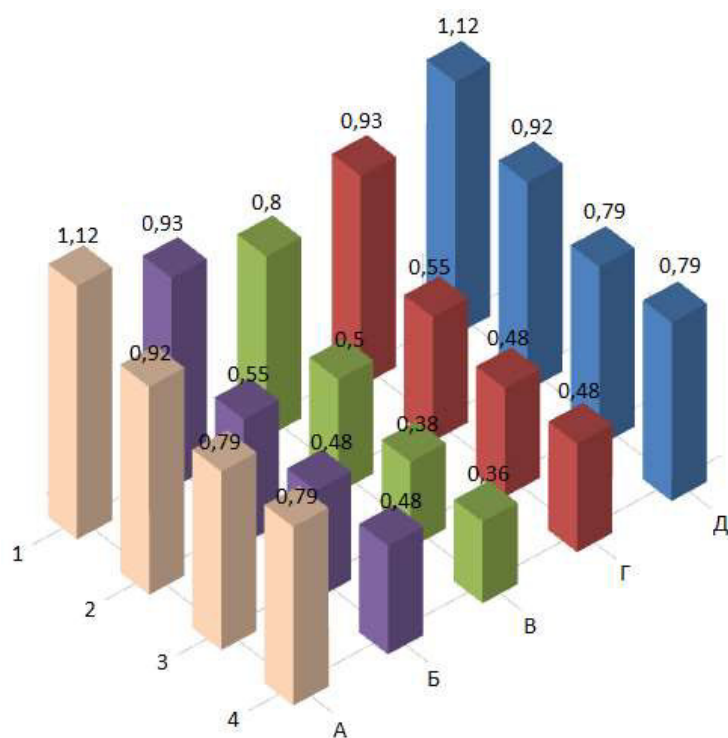
Следует отметить, что при увеличении армирования и/или класса бетона монолитных железобетонных конструкций и в первую очередь перекрытий и покрытия площадь разрушения конструкций здания (S_{ijf}^R) и соответствующий коэффициент K_{sijf} будут снижаться. Поэтому, учитывая влияние на площадь разрушения характеристик конструкций (класс бетона по прочности, класс арматуры, количество арматуры и т.п.), логично считать K_{sijf} показателем, зависимым от несущей способности конструкций.

На рисунке 4.1 показаны гистограммы, построенные по показателям относительных площадей перекрытия, оказавшихся в запредельном состоянии при отказе соответствующей колонны первого этажа. Из представленных гистограмм видно, что при линейном и нелинейном расчетах распределение коэффициентов K_{sijf} в плане имеет одинаковый характер. Максимальная величина относительной площади K_{sijf} приходится на угловую колонну. Следующей колонной по величине параметра K_{sijf} является крайняя по оси «2» и близкая к ней крайняя колонна по оси «Б». Затем следуют крайние колонны по осям «3» и «В». Таким образом проявляется принцип симметрии. За четвертый уровень величины относительной площади разрушения K_{sijf} следует принять ближайшую к угловой среднюю колонну на пересечении осей «2-Б». К пятому уровню величины K_{sijf} можно отнести колонны остальных средних рядов.

а)



б)



а – линейный расчет; б – расчет с учетом нелинейности

Рисунок 4.1 – Коэффициенты значимости по относительной площади разрушений перекрытий K_{sijf} при отказе соответствующей колонны первого этажа

Вторым критерием при назначении уровня ответственности несущих конструкций предлагается принимать параметр величины догружения (перераспределения) усилий при отказе несущего элемента на сопрягаемые конструкции [143,144,158]. Следует отметить, что величина догружения соседней колонны, в сумме с действующим в ней усилием, может превысить ее несущую способность и привести к последующему обрушению. Расчетный анализ перераспределения усилий вследствие отказа колонн по всему плану и уровню по этажам, приведенный в главе 2 показал, что численные значения коэффициента значимости по догружению колонн (K_{ijf}^d) в основном зависят от расположения удаляемой колонны в плане. По этажам многоэтажного каркасного здания значения коэффициента K_{ijf}^d мало отличаются от характера распределения на первом этаже. Коэффициент K_{ijf}^d определяют по выражению (2.3).

Используя критерии особого предельного состояния для аварийных расчетных ситуаций [69,70,146], величину критического догружения следует принять равной 30% и более от величины первоначального напряженно-деформированного состояния.

По данным предыдущих расчетов (см. главу 2), распределение догрузений соседних колонн первого этажа представлено на рисунок 4.2. Из представленных диаграмм (рисунок 4.2) видно, что максимальное догружение колонны достигает 54% при отказе крайней второй колонны соответственно по осям «2» и «Б». Такое увеличение усилий приведет к разрушению угловой колонны. Следовательно, по критерию перераспределения усилий наиболее ответственными являются колонны по осям 1А и 1Б.

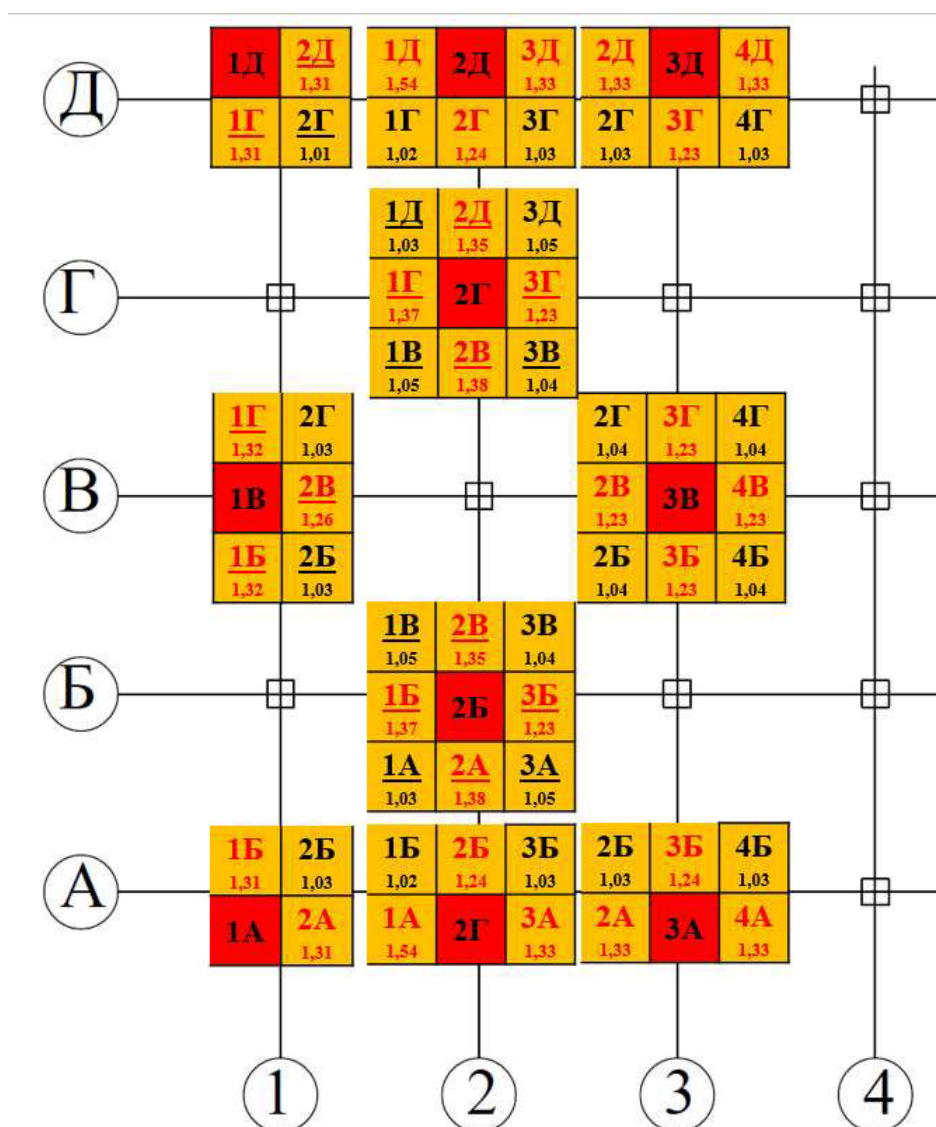


Рисунок 4.2 – Распределение коэффициентов значимости догружения смежных колонн при отказе колонн 1-го этажа

Следующая колонна, отказ которой приведет к обрушению соседней колонны является колонна, располагаемая по оси 2Б. Вследствие отказа этой колонны догружение колонны по оси 2А составляет 37%. По принятым критериям последует разрушение колонны 2А.

Отказ угловой колонны (ось 1А), являющейся наиболее ответственной по критерию объема разрушений, приводит к догружению соседних колонн по осям «1» и «А» на 30%, что также незначительно превышает установленный критерий несущей способности.

В остальных рассмотренных случаях отказа средних колонн догружение не превышает 23%, т.е. их отказ с принятой величиной догружения не приведет

к обрушению соседних колонн [144]. Распределение коэффициента значимости по догрузению представлено колонн на рисунке 4.3.

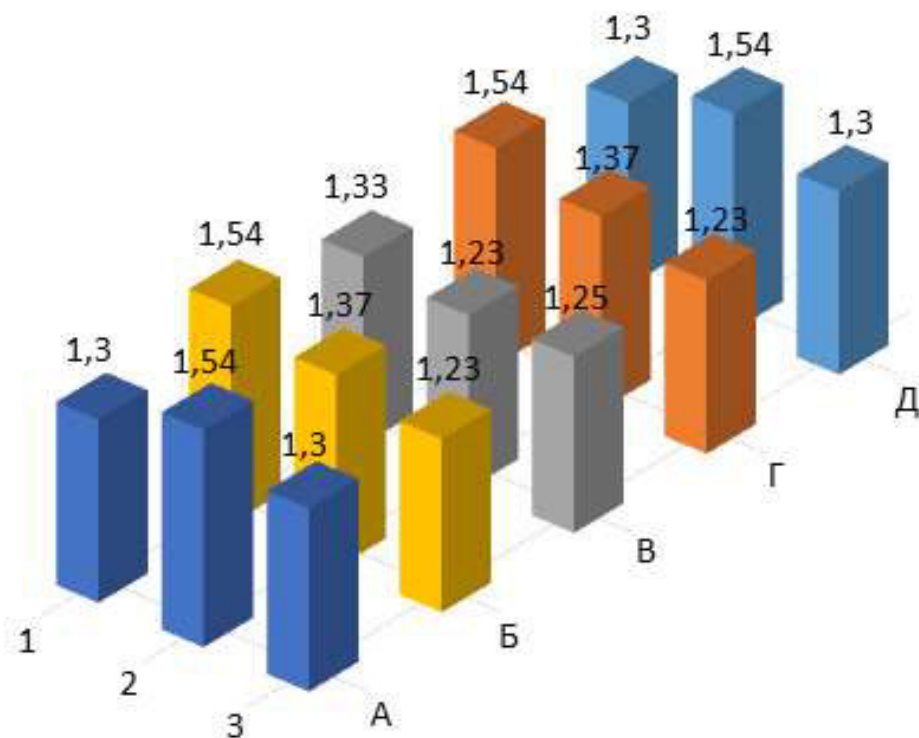


Рисунок 4.3 – Коэффициент значимости по догрузению колонн

Таким образом, анализ показателя ответственности колонн по критерию величины догрузения колонн вследствие перераспределения усилий, подтверждает, что наиболее ответственные колонны расположены по крайним осям - угловых колонн и соседняя с ними средняя колонна 2Б. Следует отметить, что выявленная закономерность по степени ответственности на основе критерия величины перераспределения усилий отличаются от последовательности по критерию объема разрушений.

Дополнительным показателем для определения степени ответственности колонн является величина, определенная на основании вероятности достижения границы предельного состояния рассматриваемого элемента в зависимости от его расположения в несущей системе. По результатам вычислений, представленных в главе 4 (см. таблицу 4.5), распределение показателей ответственности имеет близкий характер с результатами вычислений по критерию объемов разрушений и степени перераспределения усилий.

Коэффициенты значимости относительной вероятности отказа колонн первого этажа (P_{fijf}), показаны на рисунке 4.4.

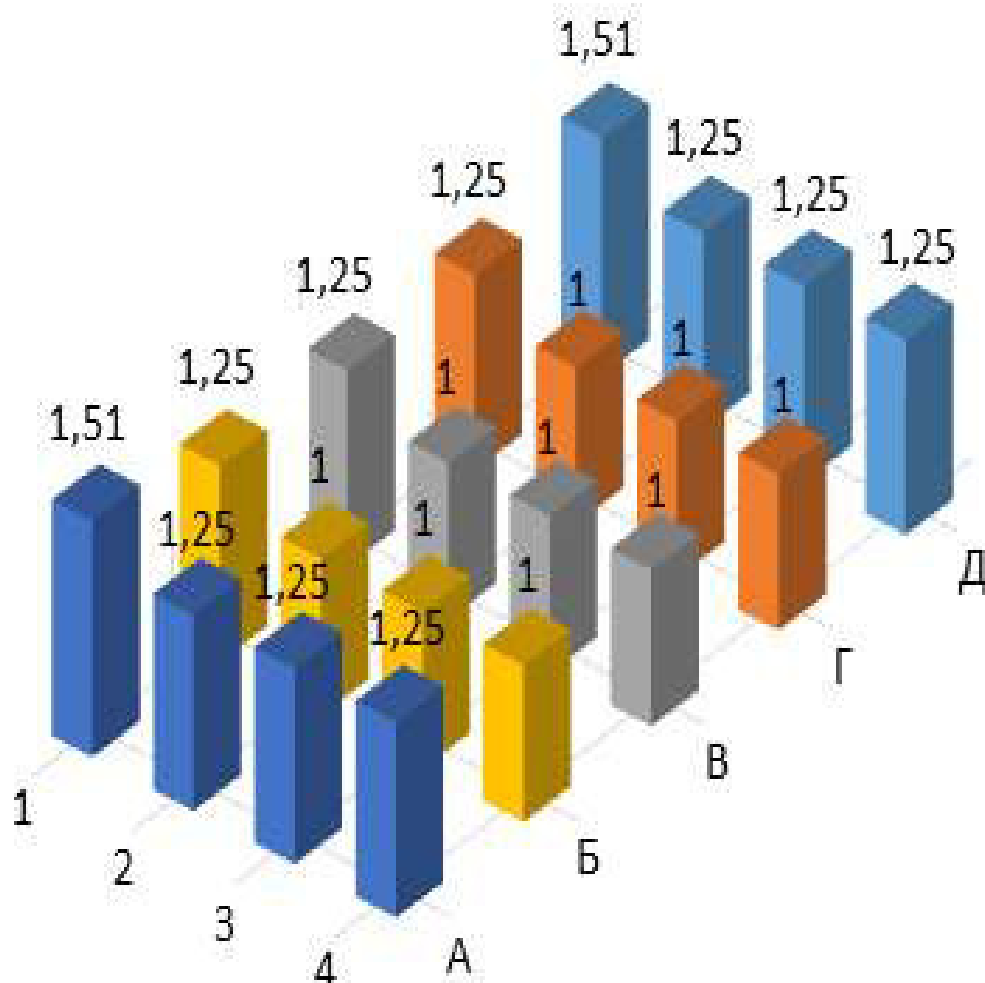


Рисунок 4.4 – Коэффициенты значимости относительной вероятности отказа колонн первого этажа

В общем случае значение коэффициента надежности по ответственности для отдельных конструктивных элементов (колонн) расположенных на пересечении осей i и j в плане рассматриваемого здания на этаже f является функцией (F) следующих факторов

$$\gamma_{n k i j f} = F (K_{s i j f}, K_{i j f}^d, P_{f i j f}) \quad (4.1)$$

где

$K_{s i j f}$ – коэффициент значимости колонны по относительной площади разрушений перекрытий;

K_{ijf}^d – коэффициент значимости по догрузению колонн;

$P_{f\ ijf}$ – коэффициент значимости относительной вероятности отказа колонны, расположенной на пересечении осей i и j на этаже f .

Зависимость (4.1) многофакторная и очевидно требует дополнительных исследований и, что очень важно, большего количества статистических данных для определяющих критериев. Поэтому в настоящем исследовании необходимо опираться на те численные исследования, которые были представлены выше.

В таблице 4.1 сведены значения коэффициентов значимости по трем критериям – площади обрушений, степени перераспределения усилий и относительная вероятность отказа, по которым получены усредненные значения коэффициентов значимости и на рисунке 4.5 представлено подтверждение ранее полученных результатов для наиболее ответственных колонн.

Таблица 4.1 – Величины коэффициентов значимости для колонн по соответствующим осям

оси	1		2		3		4	
А	1,66	1,49	1,36	1,38	1,14	1,25	1,12	1,25
	1,31		1,54		1,37		1,37	
	1,51		1,25		1,25		1,25	
Б	1,28	1,36	0,86	1,08	0,7	1,03	0,68	1,05
	1,54		1,38		1,38		1,38	
	1,25		1,0		1,0		1,0	
В	1,06	1,23	0,7	1,03	0,57	0,98	0,56	1,0
	1,37		1,38		1,38		1,38	
	1,25		1,0		1,0		1,08	

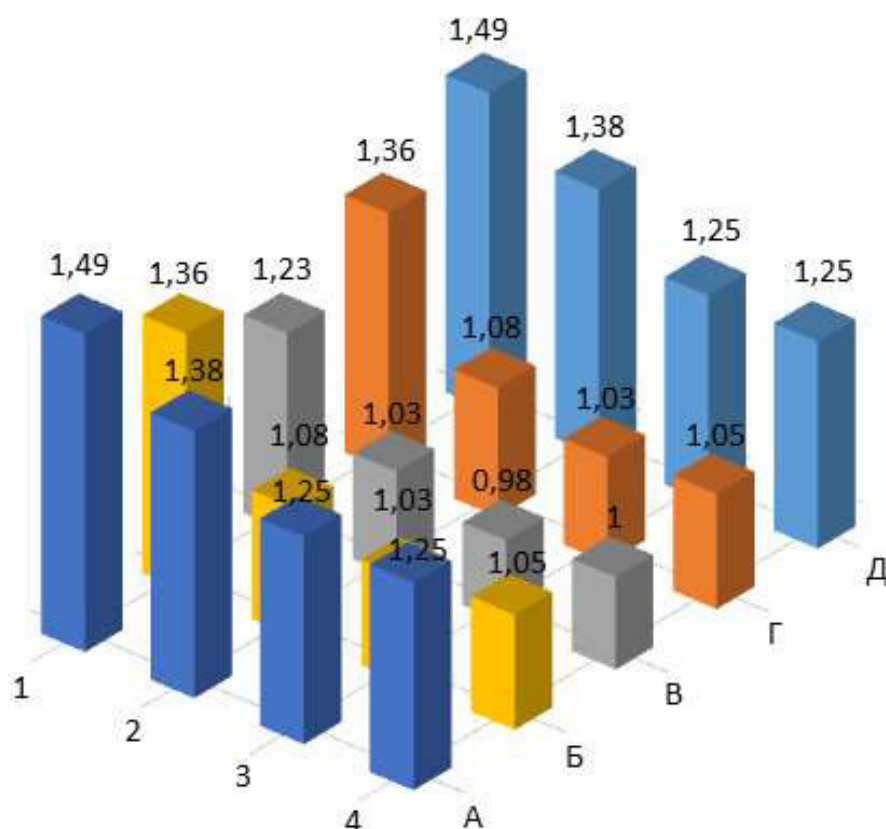


Рисунок 4.5 – Усредненные коэффициенты значимости колонн первого этажа

Нужно отметить, что из рассмотренных базовых показателей (критериев) ответственности наиболее стабильными оказались K_{ijf}^d .

4.2 Классификация вертикальных несущих элементов по уровню ответственности в зависимости от расположения в плане

Для установления коэффициентов надежности по ответственности необходимо определиться с градацией несущих элементов по уровню ответственности. Численные исследования показали, что значения усредненных коэффициентов значимости не превышают 1,5. Учитывая значительный разрыв между максимальным и минимальным значениями показателей уровня ответственности, целесообразно принять более мелкую дифференциацию коэффициентов надежности по ответственности несущих элементов, не выходя за пределы ГОСТа 27751 [36], в котором установлены три категории

коэффициентов надежности по ответственности зданий и сооружений. Предлагается пять уровней ответственности несущих элементов и соответствующие им величины коэффициентов надежности:

- 1- уровень - несущие элементы, отказ которых может привести к лавинообразному обрушению здания - $\gamma_{nk}=1,1$;
- 2- уровень – несущие элементы, отказ которых приведет к обрушению только части здания - $\gamma_{nk}=1,05$;
- 3 - уровень - несущие элементы, отказ которых может привести к обрушению сопрягаемых элементов $\gamma_{nk}=1,00$;
- 4 – уровень – несущие элементы, отказ которых приведет к нарушению условий эксплуатации (несущая способность не нарушена) $\gamma_{nk}=0,95$;
- 5 – уровень – несущие элементы, отказ которых не нарушит функционирования других конструкций $\gamma_{nk}=0,9$.

Для рассматриваемого каркасного здания с плоскими безригельными перекрытиями и покрытием очевидно наиболее ответственными конструктивными элементами (конструкциями) являются вертикальные несущие конструкции (колонны), воспринимающие нагрузки от перекрытий и покрытия, менее ответственными являются сами перекрытия и покрытие. Действительно, выход из строя (отказ) участка перекрытия или покрытия полностью или частично может привести к разрушению только смежных участков перекрытия (покрытия) преимущественно в пределах одного этажа.

Разрушение (отказ) колонны, может приводить к разрушению других конструкций - перекрытий и покрытия, расположенных в смежных пролетах и в некоторых случаях может приводить к разрушению смежных колонн по причине их значительного догружения.

Опираясь на выполненные численные исследования на примере двенадцатизэтажного каркасного здания из монолитного железобетона к несущим элементам первого уровня ответственности, можно отнести колонны первого этажа с усредненным коэффициентом значимости в пределах 1,38-1,5. К

второму уровню следует отнести колонны с коэффициентом значимости в пределах 1,3-1,38. Конструкции третьего уровня имеют усредненный коэффициент значимости в пределах 1,2-1,3. К четвертому уровню следует отнести колонны, имеющие усредненный коэффициент значимости в пределах 0,95-1,2. К пятому уровню относятся колонны, имеющие усредненный коэффициент значимости менее 0,95.

4.3 Определение условий соответствия нормируемому техническому и напряженно-деформированному состоянию участков перекрытий по высоте многоэтажного здания после отказа колонны первого этажа

Поскольку за основу определения уровня ответственности конструкций приняты показатели объемов разрушений, вызванные их отказом, целесообразно рассмотреть закономерности распределения зон разрушений несущей каркасной системы. Характерным является то, что объем обрушений снижается по высоте здания. Этот процесс по своей природе закономерен, поскольку все большее число элементов несущей системы включается в пространственную работу, а суммарные нагрузочные факторы (в данном случае собственный вес снижаются (см. рисунки 2.2, 2.4, 2.7).

Доминирующей нагрузкой на конструкции при аварийной расчетной ситуации является собственный вес строительных конструкций, собранный со всей грузовой площади удаленной колонны. Основными элементами, оказывающими сопротивление обрушению конструкций, являются колонны и междуэтажные перекрытия. Включение в работу стенового ограждения по причине отсутствия специальных креплений при аварийных ситуациях не рассматривалась.

Очевидно, что отказ угловой колонны приведет к изменению напряженно-деформированного состояния угловой ячейки до верха выбранного типа здания. В рассматриваемом примере отказ угловой колонны вызовет в перекрытиях

верхнего этажа допустимые повреждения, не влияющие на условия эксплуатации.

Отказ колонн первого этажа принят за основу, поскольку качественная картина распределения объемов и характера обрушений по высоте показывает явный характер максимальных разрушений на первом этаже и затухания степени обрушений по высоте (см. рисунок 2.4 и 2.7). Опираясь на данные численных исследований, были приняты за основу схемы деформирования и обрушения участков перекрытий, показанные на рисунках 4.6-4.8.

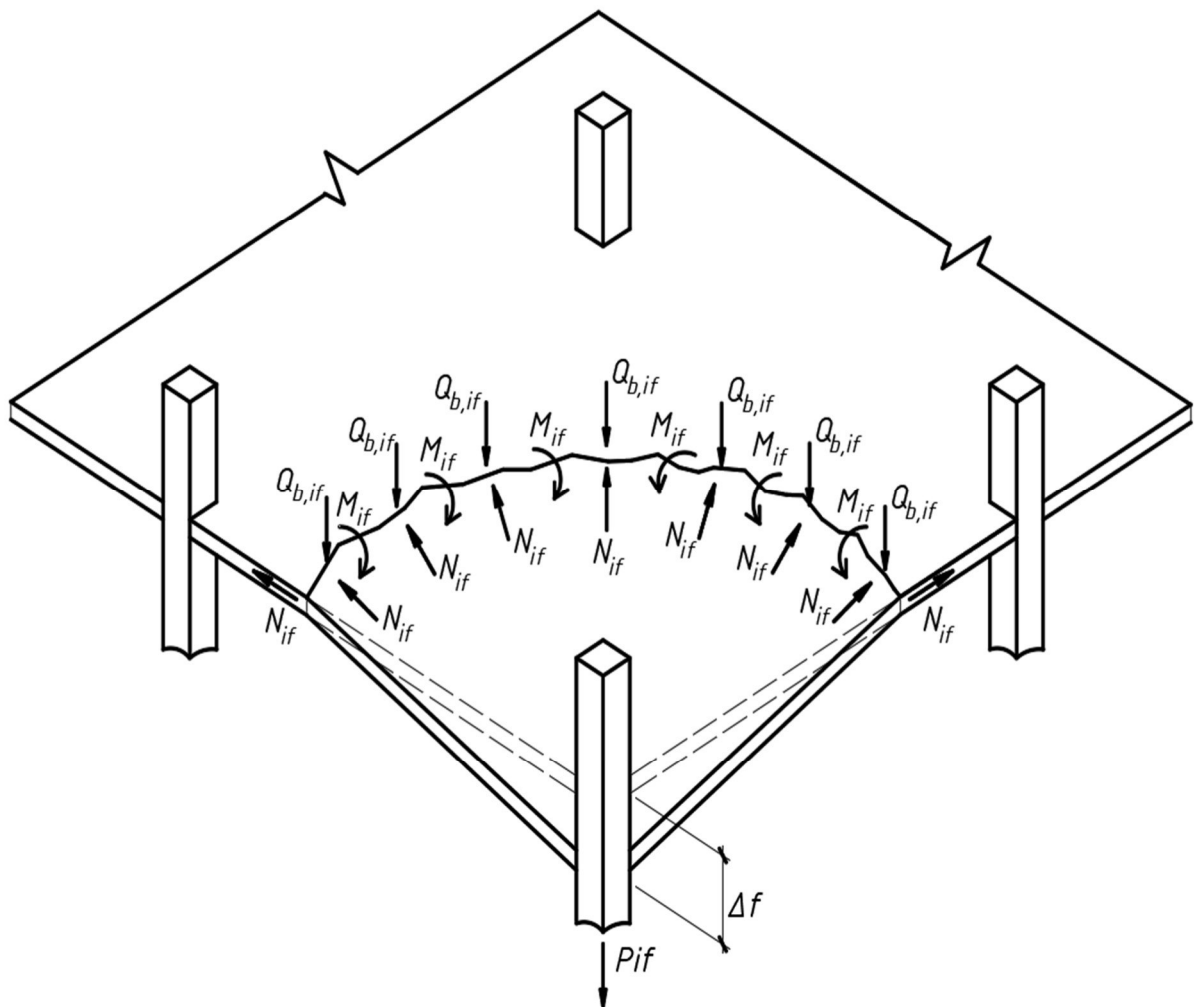


Рисунок 4.6 – Схема деформирования монолитного перекрытия при отказе угловой колонны

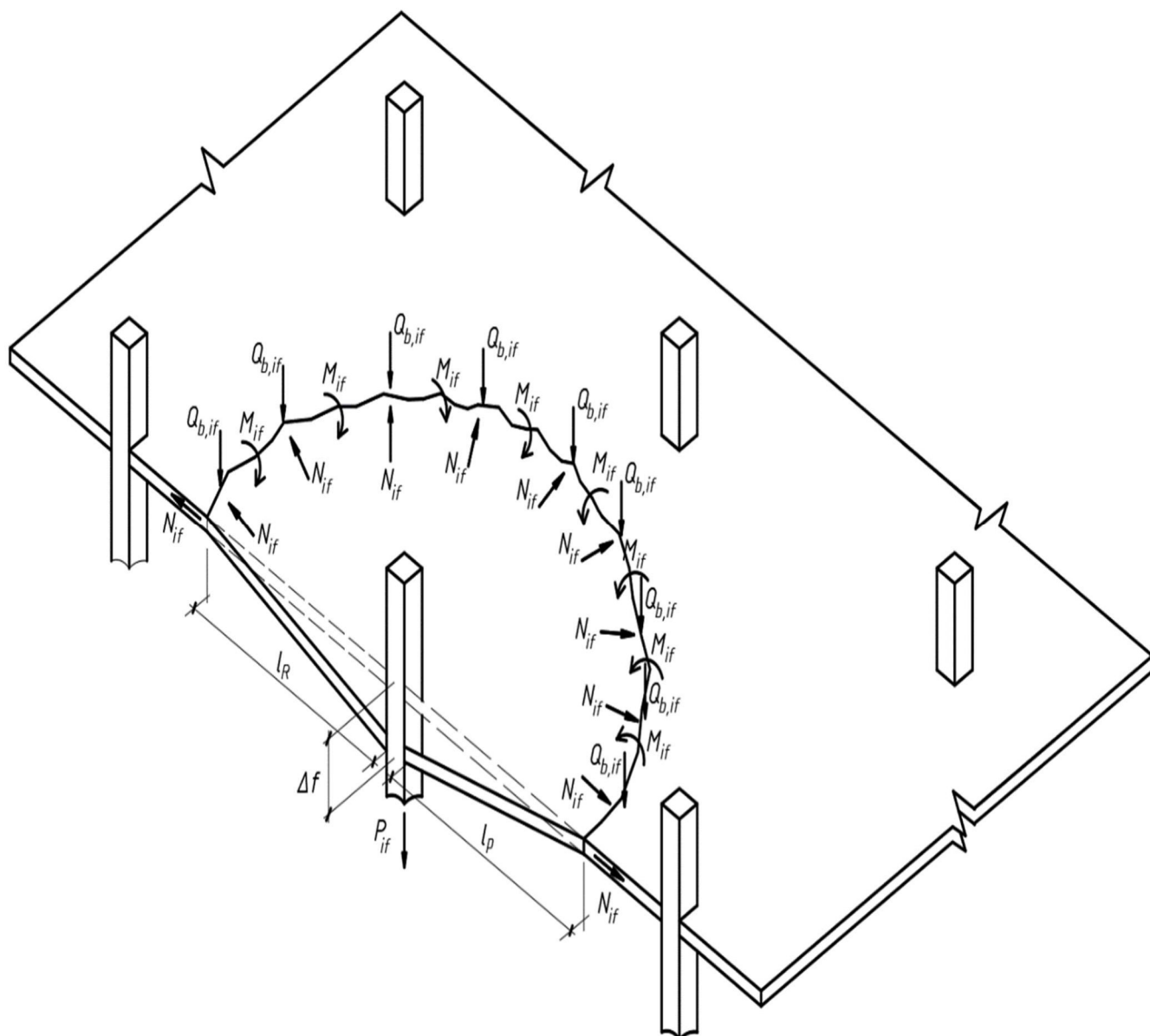


Рисунок 4.7 – Схема деформирования монолитного перекрытия при отказе крайней колонны

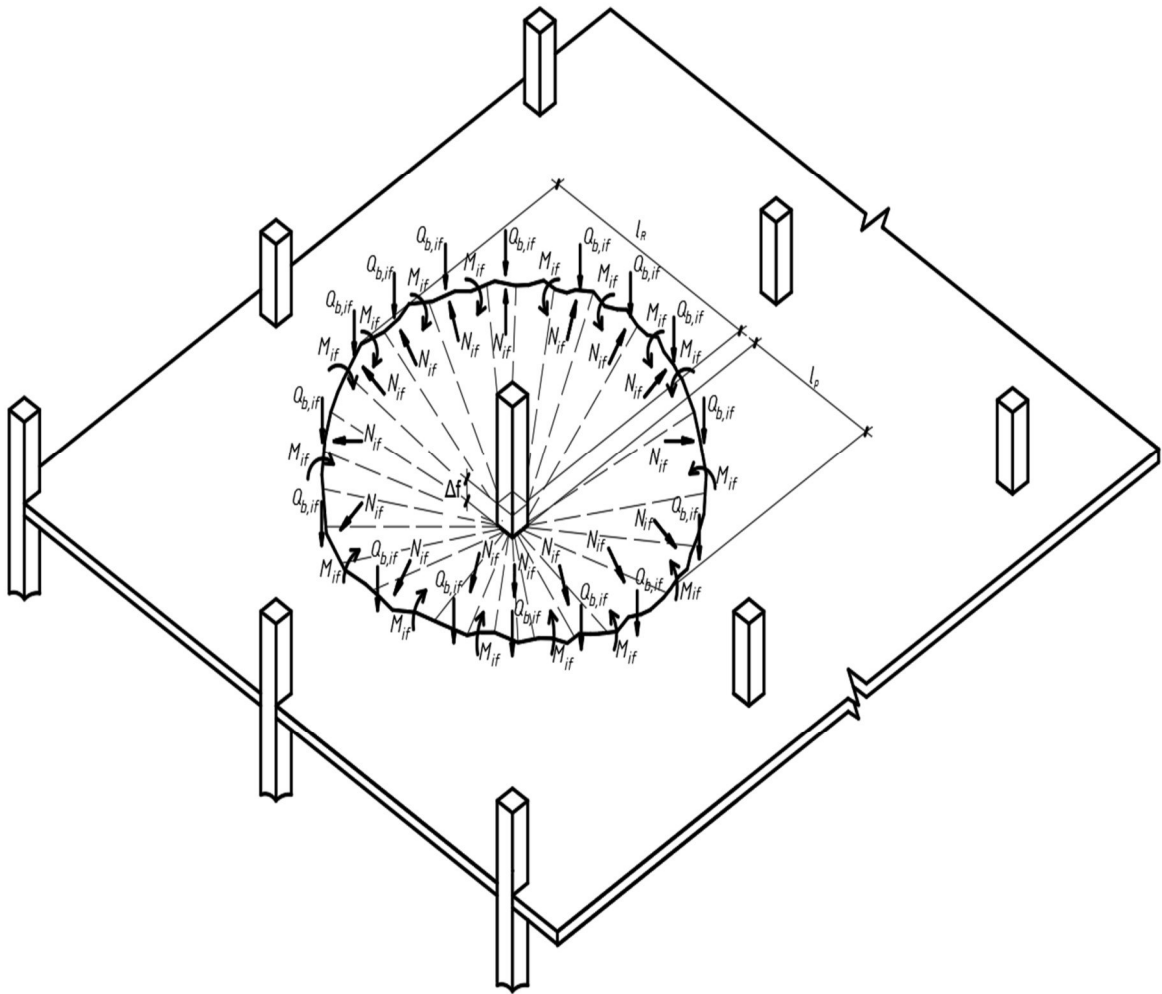


Рисунок 4.8 – Схема деформирования монолитного перекрытия при отказе средней колонны

В связи с этим целесообразно разделить здание по высоте на несколько характерных зон:

1-ая зона - схема обрушений перекрытий нижних этажей характеризуется обрывом рабочей и конструктивной арматуры, нарушением сцепления арматуры с бетоном, падением части перекрытий. Здесь и далее внешний изгибающий момент и вертикальная нагрузка приняты на 1 погонный метр линии излома перекрытия и размеры расчетных сечений так же приняты на погонный метр.

Условия, при которых проявляется указанная схема разрушения имеют вид

$$\begin{cases} M_{xz,f(yz,f)} \gg [M_{b,ult}]; Q_{z,f} \gg [Q_{b,sh}]; & N_{xy,f}^{cs} \gg [N_{s,ult}^{(u)}]; \\ M_{xz,f(yz,f)} \gg [M_{s,ult}^{(u)}]; & N_{xy,f}^{cs} \gg [N_{s,an}^{(u)}], \end{cases} \quad (4.2)$$

где $M_{xz,f(yz,f)}$ – максимальный погонный изгибающий момент от суммарного вертикального усилия, действующего на рассматриваемом уровне по вертикали (на этаже f) в плане по контуру линии разрушения перекрытия вследствие отказа колонны первого этажа;

$[M_{b,ult}$ и $M_{s,ult}^{(u)}]$ – предельный изгибающий момент по бетону и растянутой арматуре (включая с учетом временного сопротивления) соответственно, воспринимаемый погонным метром нормального сечения перекрытия по контуру разрушения;

$Q_{z,f}$ – нагрузка по оси Z , действующая по линии излома на рассматриваемом участке перекрытия;

$[Q_{b,sh}]$ – предельная поперечная сила, воспринимаемая бетоном перекрытия по линии излома;

$N_{xy,f}^{cs}$ – максимальное погонное усилие по контуру разрушения, действующее в плоскости перекрытия, возникающее вследствие изменения расчетной схемы при отказе колонны первого этажа по рассматриваемой оси;

$[N_{s,ult}^{(u)}$ и $N_{s,an}^{(u)}]$ – предельное погонное усилие, воспринимаемое продольной арматурой перекрытия, с учетом временного сопротивления до разрыва и по критерию анкеровки в бетоне.

Внешний изгибающий момент $M_{xz,f(yz,f)}$ определяется из статического расчета по вторичной расчетной схеме после удаления рассматриваемой колонны. Допускается изгибающий момент $M_{xz,f(yz,f)}$ определять по приближенной схеме в виде сосредоточенной нагрузки приложенной к плите с заземленными опорами. Величина нагрузки принимается из эпюры продольных сил, определенных по рекомендациям СП 385.1325800.2018 для рассматриваемой колонны.

Вертикальное усилие, распределенное по линии излома $Q_{z,f}$ определится из пространственного расчета в соответствии с принятой схемой разрушения перекрытия.

Максимальное погонное усилие по контуру разрушения $N_{xy,f}^{cs}$, действующее в плоскости перекрытия, возникает в результате больших перемещений участков перекрытий над удаляемой колонной, провисших на заанкеренной арматуре (вантовая система).

2-я зона - схема обрушений перекрытий на выше расположенных этажах, соответствующая особому предельному состоянию, когда отсутствуют обрывы рабочей арматуры и нарушения сцеплений арматуры с бетоном. Таким образом большая часть разрушенного участка перекрытий зависит на арматуре определенное время при значительных прогибах ($f > l/30$).

Условия, при которых проявляется указанная схема разрушения имеет вид

$$\begin{cases} M_{xz,f(yz,f)} \gg [M_{b,ult}]; Q_{z,f} \gg [Q_{b,sh}]; & N_{xy,f}^{cs} \leq [N_{s,ult}^{(u)}]; \\ M_{xz,f(yz,f)} \gg [M_{s,ult}^{(u)}]; & N_{xy,f}^{cs} \leq [N_{s,an}^{(u)}], \end{cases} \quad (4.3)$$

здесь приняты те же обозначения, что в (4.2).

3-я зона - характеризуется состоянием перекрытий в предельном равновесии, когда внутренние усилия, возникающие в сечениях по линиям перелома перекрытий с учетом нормативных значений, в частности изгибающие моменты, уравнивают внешние воздействия, возникающие при отказе колонны первого этажа. Это состояние записывается в виде

$$\begin{cases} M_{xz,f(yz,f)} \leq [M_{b,ult}]; Q_{z,f} \leq [Q_{b,sh}]; \\ M_{xz,f(yz,f)} \leq [M_{s,ult}]; \end{cases} \quad (4.4)$$

4-я зона - характеризуется состоянием участков перекрытий с нарушением условий нормальной эксплуатации, основными критериями для их оценки являются прогибы и ширина раскрытия трещин. Это состояние записывается в виде

$$\begin{cases} M_{xz,f(yz,f)} \leq [M_{b,ult}]; \\ M_{xz,f(yz,f)} \leq [M_{s,ult}]; a_{crc,f} \gg [a_{crc}]; f_f \geq [f_{ult}]. \end{cases} \quad (4.5)$$

5-я зона – это состояние участков перекрытий, соответствующее требованиям нормальной эксплуатации, в основном относящиеся ко второй группе предельных состояний, при безусловном выполнении требований по несущей способности. Эти требования можно записать в виде

$$\begin{cases} M_{xz(yz)} \leq [M_{b,ult}]; \\ M_{xz(yz)} \leq [M_{s,ult}]; M_{xz(yz)} \leq [M_{crc}]; f \leq [f_{ult}]. \end{cases} \quad (4.6)$$

4.4 Анализ условий обрушения и деформирования участков перекрытий многоэтажного каркасного здания из монолитного железобетона

Развитие разрушений для каждой зоны выполнялось с учетом следующего

- рост внешних усилий при отказе колонны по рассматриваемой оси вызывает последовательно образование трещин в плитах перекрытия, их чрезмерное раскрытие, достижение предельных значений по изгибающему моменту;

- превышение изгибающим моментом несущей способности сечения плиты перекрытия приводит к раздроблению бетона сжатой зоны и достижению в растянутой арматуре предела текучести;

- существенное превышение внешней нагрузки по отношению к несущей способности сечений перекрытий (на 30% и более) приводит к нарушению сцепления рабочей и конструктивной арматуры с бетоном, изменению схемы работы. При достаточной анкеровке рабочей арматуры для угловой колонны часть перекрытия по линии излома зависает, для средних участков перекрытий возможен переход в вантовую систему.

Рассмотрим характерные признаки напряженно-деформированного состояния перекрытий при отказе колонны первого этажа на примере уже приведенного в настоящей работе многоэтажного каркаса из монолитного железобетона. Каждому уровню соответствуют определенные критерии.

Наиболее сложным является первый уровень, поскольку описание механизмов обрушения перекрытий в технической литературе до настоящего времени не представлено. В данной схеме основным критерием является разрушение бетона и/или обрыв арматуры.

Условия, при котором разрушается бетон сжатой зоны от изгиба и среза от вертикальных нагрузок записываются неравенствами

Предельный изгибающий момент, воспринимаемый сечением плиты перекрытия соответственно по бетону, определяется соотношением

$$M_{b,ult} = \xi_R h_0 b z_b R_{b,ser} \approx 0,8 \xi_R h_0^2 b R_{b,ser}, \quad (4.7)$$

где b – принятая ширина плиты;

ξ_R - граничная относительная высота сжатой зоны,

z_b - плечо внутренней пары сил,

$R_{b,ser}$ - нормативное сопротивление бетона сжатию.

Предельный изгибающий момент по арматуре запишется

$$M_{s,ult} = \sigma_B \sum A_s z_b \approx 0,8 h_0 \sigma_B \sum A_s, \quad (4.8)$$

где σ_B - временное сопротивление арматуры разрыву.

Несущая способность сечения плит перекрытия по поперечной силе определится сопротивлением только бетона на срез по выражению

$$Q_{z,f} = 0,5 R_{bt,ser} b h_0. \quad (4.9)$$

За второй критерий принят обрыв рабочей арматуры либо вырыв ее из бетона от возникающих усилий при зависании или при работе по вантовой схеме.

Условие обрыва арматуры записывается для погонного метра линии излома в виде

$$N_{xy,f} \gg \sigma_B \sum A_s. \quad (4.10)$$

Проверка анкеровки арматурных стержней производим по выражению

$$N_{xy,f} \gg R_{s,ser} \sum A_s \frac{l_s}{l_{an}}, \quad (4.11)$$

где l_{an} - расчетная длина анкеровки;

l_s -расстояние от конца анкеруемого стержня до рассматриваемого поперечного сечения.

Вторая зона характеризуется незначительным превышением действующих усилий в несущей системе (до 30%), вызванных отказом колонны первого этажа, по отношению к расчетной несущей способности перекрытия. Это состояние конструкций может быть ограничено критериями особого предельного состояния, некоторые параметры которого даны в СП 385.1325800.2018 [118]. В данном случае усилия, возникающие при изменении расчетных схем не в состоянии вызвать обрыв рабочей арматуры. Однако нарушение анкеровки вполне возможно.

Предельный изгибающий момент, воспринимаемый сечением плиты перекрытия соответственно по бетону либо по арматуре запишется

$$\begin{aligned} M_{b,ult} &\approx 0,8 \xi_R h_0^2 b R_{b,ser}; \\ M_{s,ult} &\approx 0,8 h_0 R_{s,ser} \sum A_s. \end{aligned} \quad (4.12)$$

Выражение для оценки прочности сечений перекрытий по поперечной силе и достаточной анкеровки арматуры будет иметь вид (4.9) и (4.11).

Третья зона соответствует предельному состоянию сечений перекрытий, работающих на изгиб по измененной схеме, вызванной отказом колонны первого этажа. Условие превышения предельного состояния при изгибе по нормальным сечениям перекрытий запишется в виде

$$\begin{aligned}
M &\geq R_b b \xi_R h_0 z_b + R_{sc} A'_s (h_0 - a'); \\
M &\geq R_s A_s z_b; \\
M &\geq M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pl}; \\
a_{crc} &= \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s \gg [a_{crc}],
\end{aligned} \tag{4.13}$$

где

a_{crc} - ширина раскрытия трещин,

φ_1 - коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки,

φ_2 - коэффициент, учитывающий профиль арматуры и принимаемый равным,

φ_3 - коэффициент, зависящий от вида НДС,

ψ_s - коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций растянутой арматуры между трещинами,

W_{pl} - упругопластический момент сопротивления сечения перекрытия единичной длины.

Критериями четвертой зоны напряженного состояния перекрытий являются показатели нормальных условий эксплуатации – ширина раскрытия нормальных трещин и величина максимального прогиба перекрытия. Неравенства, свидетельствующие о напряженно-деформированном состоянии перекрытия, соответствующие четвертому уровню, можно представить в виде

$$\begin{aligned}
M &\leq R_b b \xi_R h_0 z_b + R_{sc} A'_s (h_0 - a'); \\
M &\leq R_s A_s z_b; \\
a_{crc} &= \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s \gg [a_{crc}]; \\
f &\gg [f_{ult}].
\end{aligned} \tag{4.14}$$

В пятой зоне напряженно-деформированное состояние перекрытия должно удовлетворять требованиям первой и второй группам предельных состояний: прочность сечений обеспечена; требования по нормальной эксплуатации

выполнены, т.е. прогибы и ширина раскрытия трещин не превышают предельно допустимых

$$\begin{aligned}
 M &\leq R_b b \xi_R h_0 z_b + R_{sc} A'_s (h_0 - a'); \\
 M &\leq R_s A_s z_b; \\
 a_{crc} &\leq [a_{crc}]; \\
 f &\leq [f_{ult}]
 \end{aligned}
 \tag{4.15}$$

Границы представленных зон по вертикали меняются и зависят от расположения колонны в плане. На рисунках 4.9 - 4.11 показаны графики распределения состояний перекрытий по высоте в зависимости от погонного изгибающего момента в сечениях перекрытий по линии излома для угловой, крайней и средней колонн.

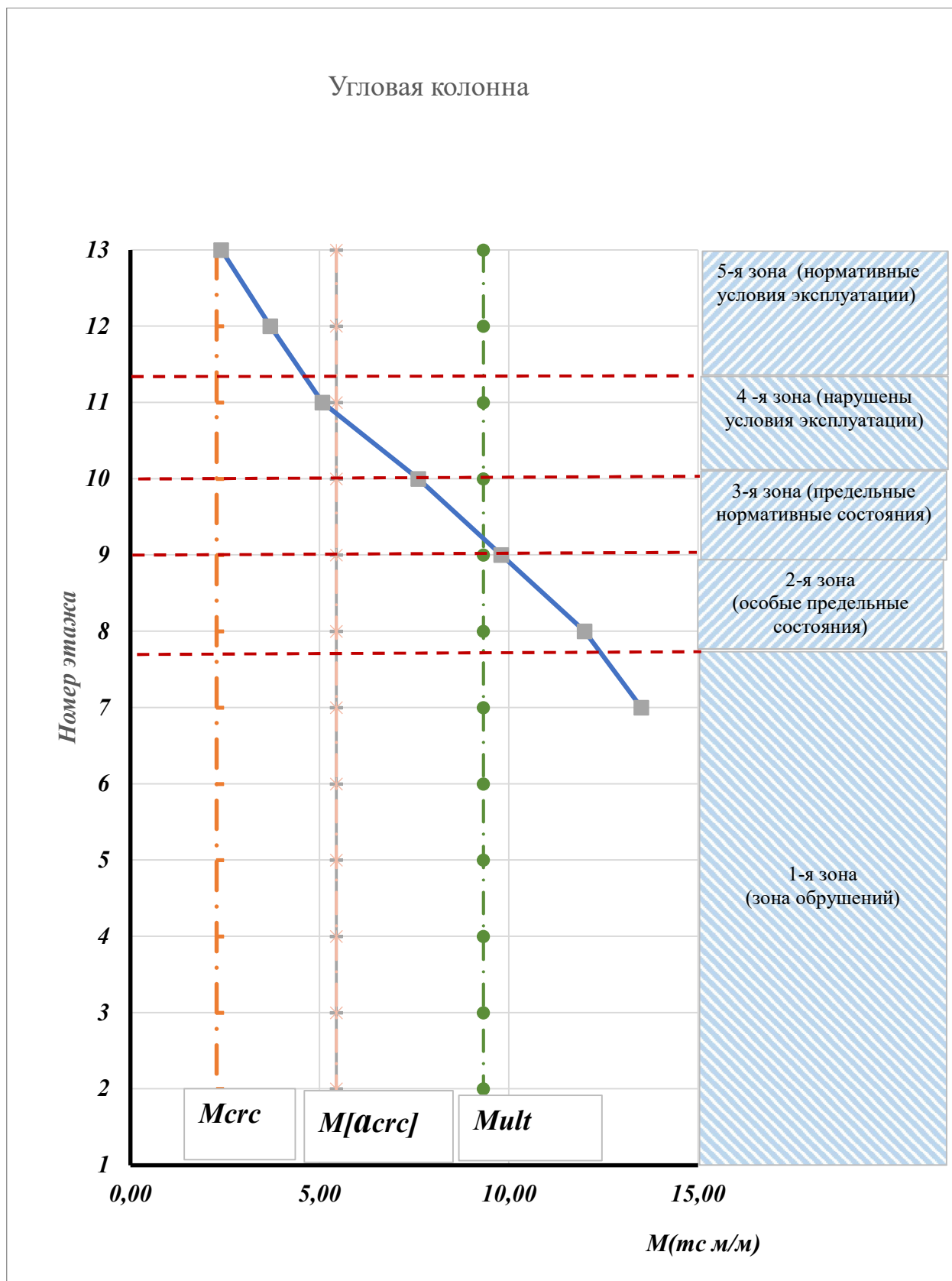


Рисунок 4.9 - Состояние перекрытий по этажам при отказе угловой колонны первого этажа

Крайняя колонна

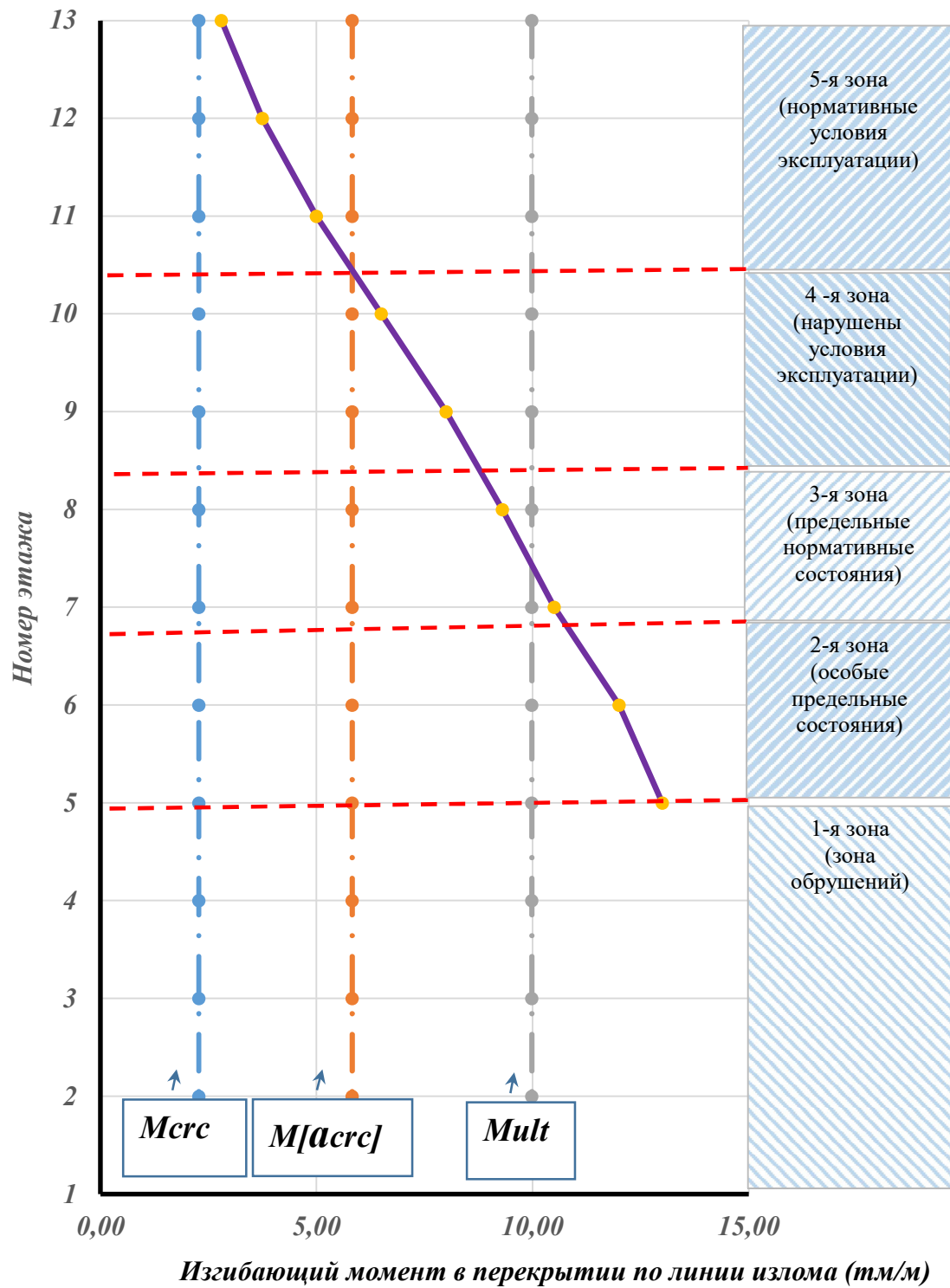


Рисунок 4.10 – Состояние перекрытий по этажам при отказе колонны крайнего ряда первого этажа

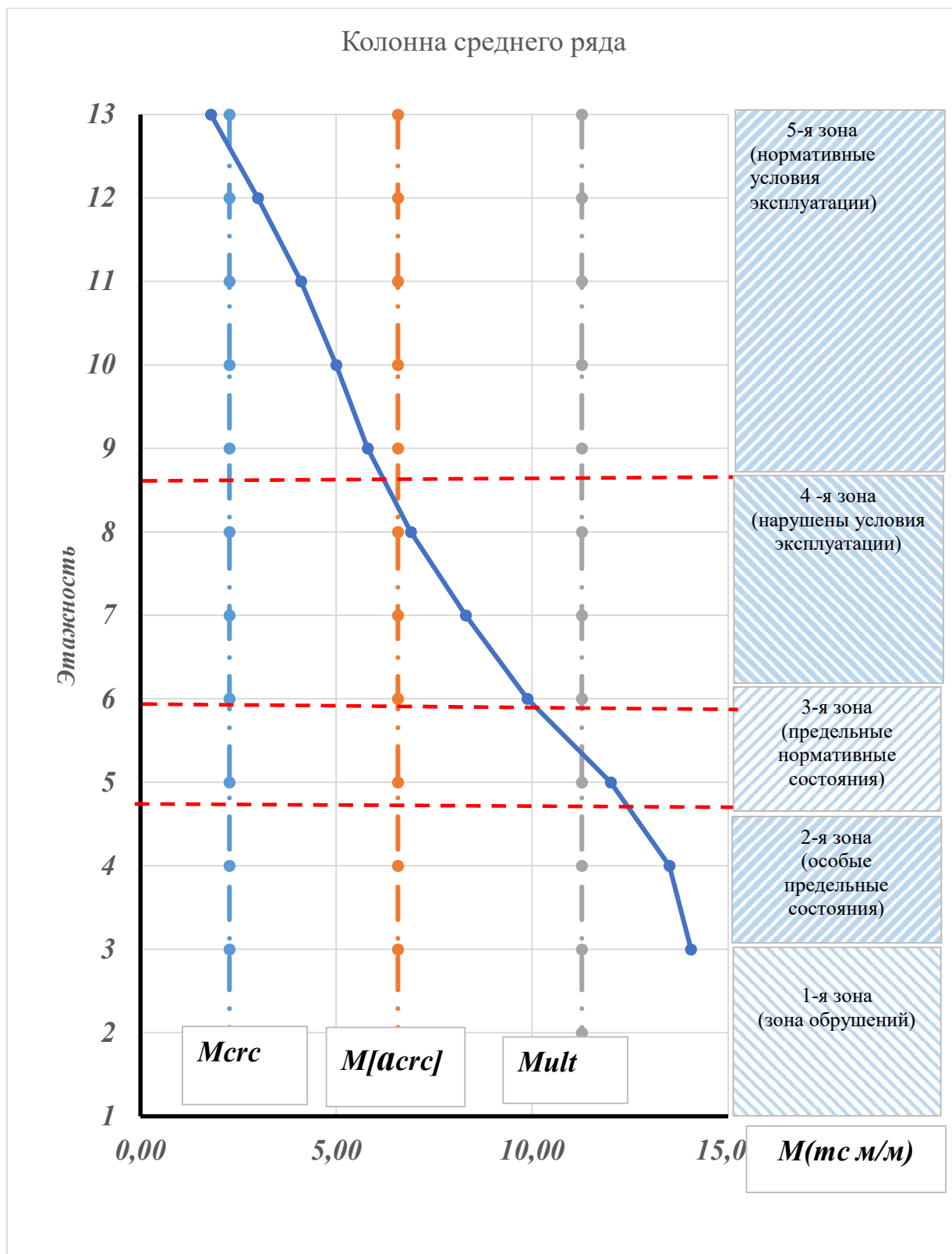


Рисунок 4.11 – Состояние перекрытий по этажам при отказе колонны среднего ряда первого этажа

4.5 Распределение коэффициентов надежности по ответственности колонн по этажам многоэтажного здания

Анализ уровней ответственности колонн приведен для конструкций первого этажа. Как меняется ответственность несущих элементов по высоте является важным показателем с точки зрения их закономерностей их изменения.

Предлагается следующее распределение коэффициентов надежности по ответственности несущих вертикальных элементов по высоте многоэтажного каркасного здания в соответствии с графиками, представленными на рисунках 4.6-4.8 при условии сохранения границ их нормирования в пределах $\gamma_{nk}=0,9-1,1$:

- элементы первого уровня ответственности находятся в зоне возможных лавинообразных обрушений - $\gamma_{nk}=1,1$;
- элементы второго уровня ответственности находятся в зоне возможных частичных разрушений (особое предельное состояние) - $\gamma_{nk}=1,05$;
- элементы третьего уровня ответственности находятся в зоне нормируемых предельных состояний - $\gamma_{nk}=1,0$;
- элементы четвертого уровня находятся в зоне с нарушением условий эксплуатации (несущая способность не нарушена) - $\gamma_{nk}=0,95$;
- элементы пятого уровня ответственности находятся в зоне без нарушений условий эксплуатации - $\gamma_{nk}=0,9$.

Для рассматриваемого каркасного здания распределение коэффициентов надежности по ответственности для колонн с учетом симметрии здания представлены на рисунках 4.12-4.14. Усредненное значение коэффициентов надежности по ответственности колонн составила 0,98. Таким образом возможный экономический эффект от использования коэффициентов надежности несущих конструкций по ответственности может составить 2%.

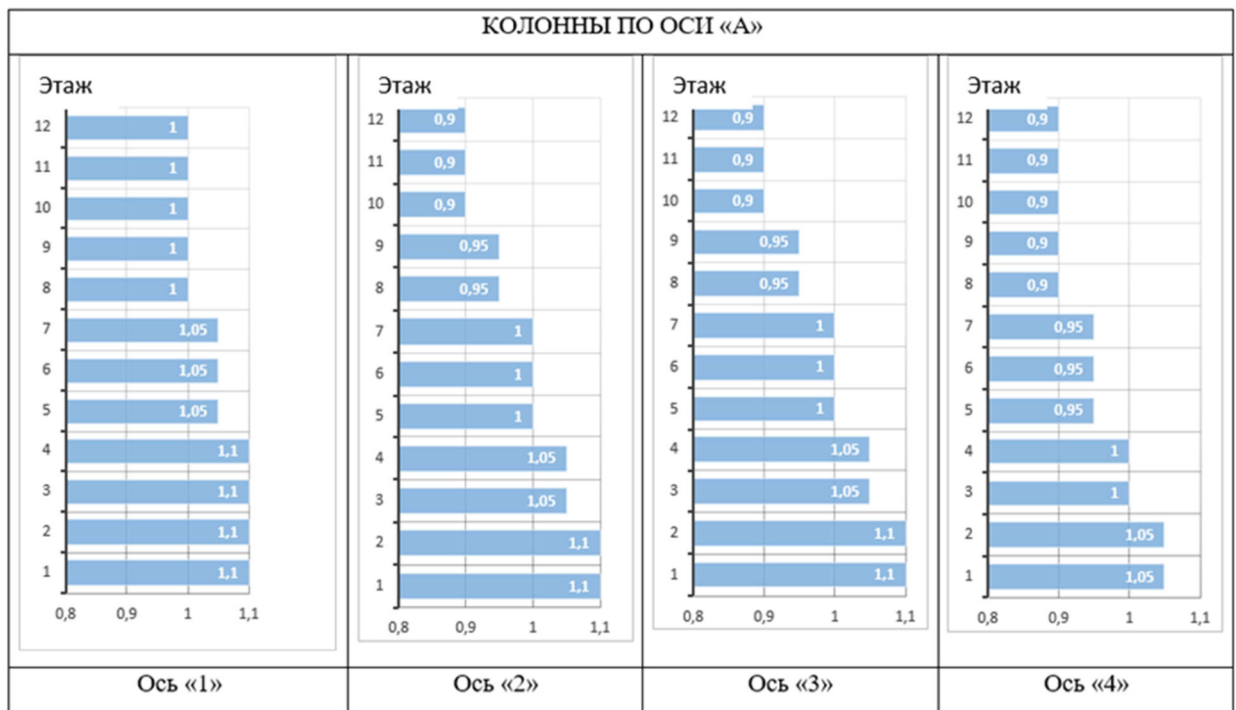


Рисунок 4.12 – Распределение коэффициентов надежности по ответственности для колонн по оси А

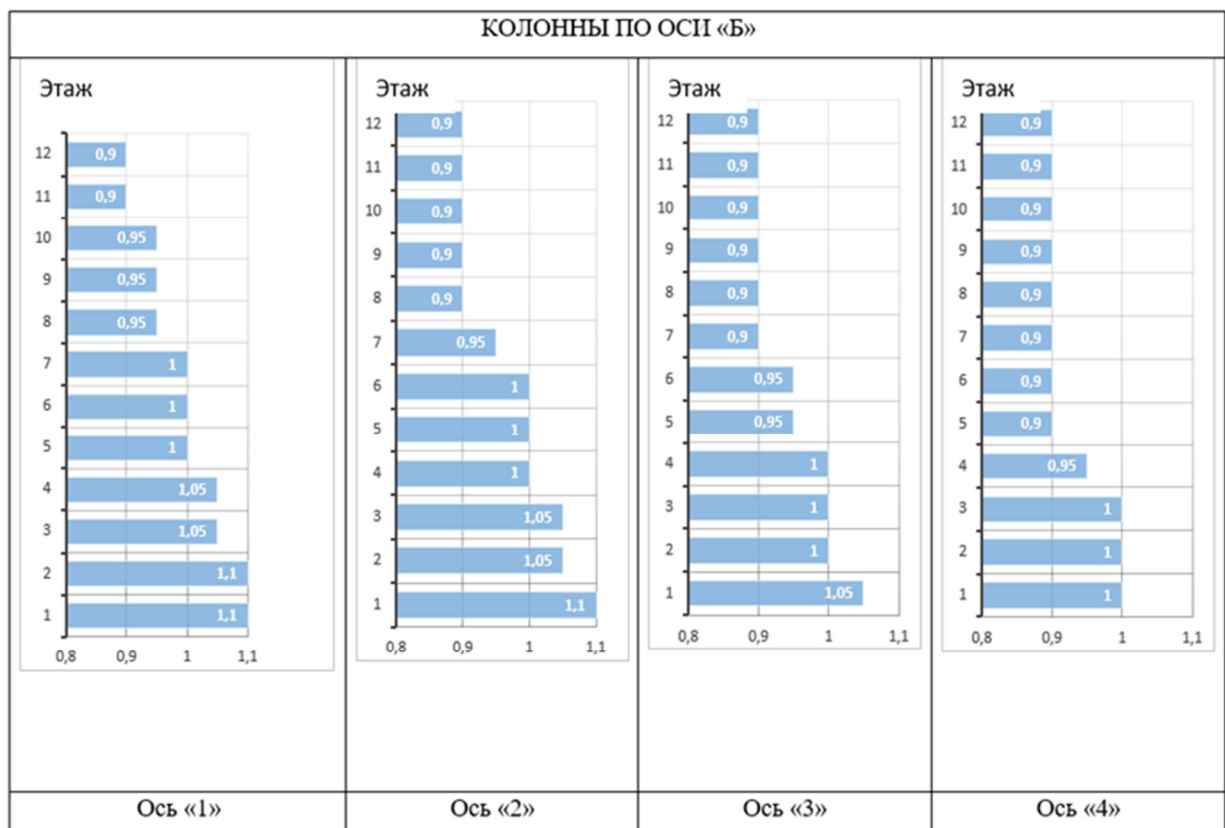


Рисунок 4.13 – Распределение коэффициентов надежности по ответственности для колонн по оси Б

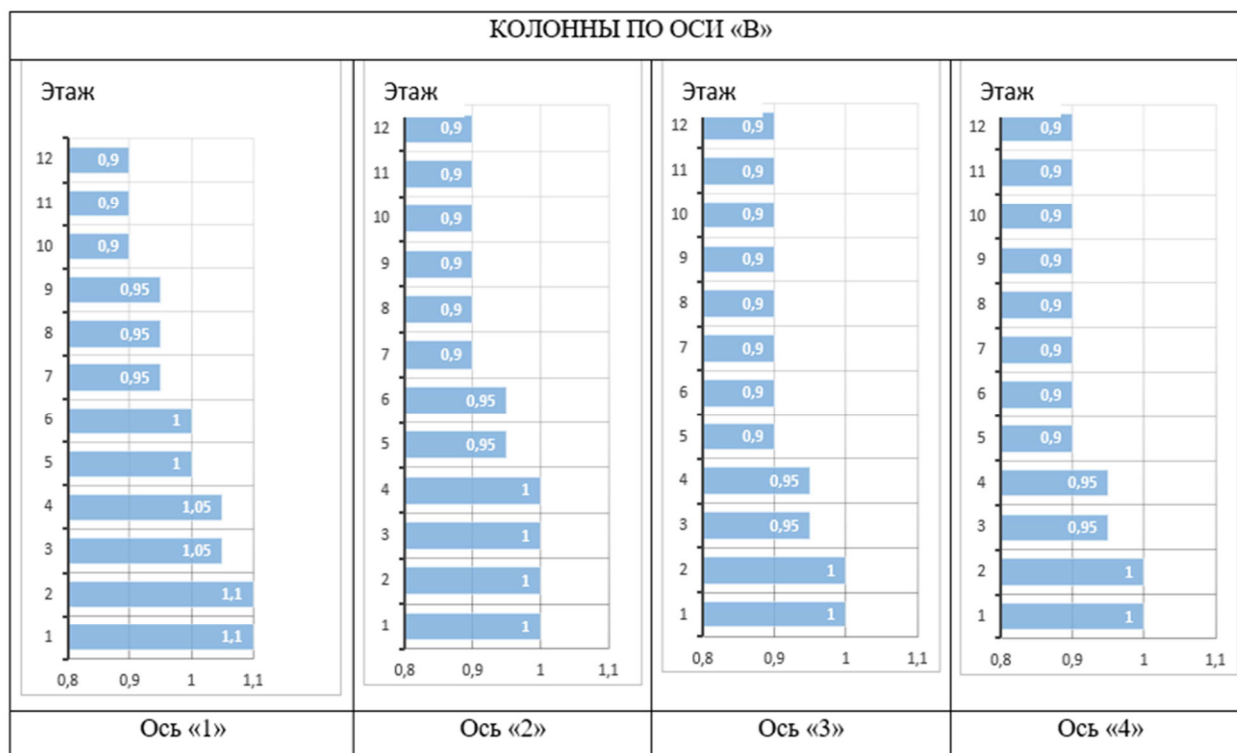


Рисунок 4.14. Распределение коэффициентов надежности по ответственности для колонн по оси В

4.6 Выводы по главе

1. Уровни ответственности колонн рекомендуется определять на основе анализа показателей ответственности в зависимости от их расположения в плане по трем критериям при отказе рассматриваемой колонны: по распределению относительных величин площадей обрушений; по степени перераспределения усилий и по показателю относительной вероятности отказа, с учетом соответствующего распределения зон обрушений и технического состояния перекрытий.

2. Для первого этажа принята следующее распределение категорий ответственности:

- к первому уровню ответственности рекомендуется отнести угловые колонны и следующие по одной из крайних буквенных и цифровых рядов,
- к второму уровню ответственности рекомендуется отнести оставшиеся колонны по крайним рядам,
- к третьему уровню ответственности рекомендуется отнести все колонны средних рядов.

Четвертый и пятый уровень ответственности из условий обеспечения безопасности в уровне первого этажа рекомендуется не принимать.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для повышения механической безопасности и рационального распределения материалов в многоэтажных каркасных зданиях наряду с уровнем ответственности и соответствующим коэффициентом надежности по ответственности для здания в целом, целесообразно внедрить классификацию вертикальных несущих элементов по уровню ответственности.

2. Численные исследования, выполненные на примере многоэтажного каркасного здания из монолитного бетона, показали, что одним из критериев для определения уровня ответственности колонн является объем разрушений, выраженный через площади перекрытий, находящихся в запредельном состоянии, вызванном отказом рассматриваемой колонны (S_{ijf}^R).

3. Показатель уровня ответственности по площади перекрытий, находящихся в запредельном состоянии (ЗПС), рекомендуется определять по отношению площади перекрытий, превысивших критерии предела по несущей способности к грузовой площади рассматриваемой колонны (K_{sijf}).

4. Вторым критерием уровня ответственности является степень перераспределения усилий на смежные колонны, вызванные отказом рассматриваемой колонны. Расчеты показали, что величина догружения может превысить несущую способность и привести к отказу смежных колонн.

5. Показатель уровня ответственности по степени догружения определяется как отношение усилия (с учетом догружения) в колонне смежной с удаленной к значению усилия в той же колонне от эксплуатационных нагрузок (K_{ijf}^d).

6. Третьим критерием уровня ответственности является относительная вероятность отказа колонны.

7. Показателем относительной вероятности отказа колонны следует принять коэффициент значимости относительной вероятности отказа колонны (P_{fijf}), определяемый на основе моделирования вероятностной задачи отказа с использованием критерия равного риска.

8. Окончательные значения показателей уровня ответственности колонн в зависимости от расположения в плане и по высоте рекомендуется определять на основе усредненных значений коэффициентов значимости $(K_{sijf}, K_{ijf}^d, P_{fijf})$.

9. Разработанная методика позволяет дифференцировать несущие элементы здания по ответственности, выделяя 5 зон на основе анализа напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций по высоте многоэтажного здания при отказе колонн с использованием критериев 1-й, 2-й групп предельных состояний, критериев особого предельного состояния, включая стадию разрушения.

10. В качестве предложения для дальнейшего развития исследований, представленных в работе, рекомендуется исследовать дифференциальный уровень ответственности несущих конструкций зданий других конструктивных систем (крупнопанельных, каркасно-стеновых и т.д.), а также усовершенствовать расчетные программные комплексы с целью возможности учета изменяющихся в пределах каждого этажа и по высоте коэффициентов надежности несущих конструкций по ответственности.

Список литературы

1. Алмазов, В. О. Проблемы прогрессирующего разрушения строительных объектов / В. О. Алмазов // Деловая слава России. – 2008. – № 4(22). – С. 74-77.
2. Алмазов, В. О. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния конструкций высотного здания / В. О. Алмазов, А. Н. Климов // Вестник МГСУ. – 2013. – № 10. – С. 102-109.
3. Аугусти, Г. Вероятностные методы в строительном проектировании / Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф.; пер. с англ. Ю.Д. Сухова. — М.: Стройиздат, 1988. — 584 с.
4. Байбурин, А. Х. Техническое регулирование безопасности зданий и сооружений на основе оценки риска аварии / А. Х. Байбурин, А. П. Мельчаков // Архитектура, градостроительство и дизайн. – 2017. – № 1(11). – С. 3-10.
5. Байков, В. Н., Сигалов Э. Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. Учебник для вузов.-5-е изд., перераб. и доп.-М.: Стройиздат, 1991.-767 с.: ил.
6. Байков, В. Н. Железобетонные конструкции: Спец. курс. Учеб. пособие для вузов/В.Н. Байков, П.Ф. Дроздов, И.А. Трифонов и др.; Под ред. В.Н. Байкова.— 3-е изд. перераб. — М.: Стройиздат, 1981. — 767. с.
7. Баженов, В.А., Перельмутер А.В., Шишов О.В. Строительная механика. Компьютерные технологии и моделирование – М.: Изд-во АСВ, 2014. – 911 с.
8. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ риска и проблем безопасности. (в 4-х частях). Часть первая. Основы анализа и регулирования безопасности: Научн. руководит. К. В. Фролов. - М.: МГФ "Знание", 2006. - 640 с: ил.
9. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ риска и проблем безопасности. (в 4-х частях). Часть вторая. Безопасность гражданского и оборонного комплексов и

управление рисками: Научн. руководит. К. В. Фролов. - М.: МГФ "Знание", 2006. - 752 с: ил.

10. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ риска и проблем безопасности. (в 4-х частях). Часть третья. Прикладные вопросы анализа рисков критически важных объектов./: Научн. руководит. К. В. Фролов. - М.: МГФ "Знание", 2007. - 814 с: ил.

11. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ риска и проблем безопасности. (в 4-х частях). Часть четвертая. Научно-методическая база анализа риска и безопасности./: Научн. руководит. К. В. Фролов. - М.: МГФ "Знание", 2007. - 864 с: ил.

12. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ рисков и управление безопасностью. (Методические рекомендации). Рук. Авт. Кол-ва Н. А. Махутов, К. Б. Пуликовский, С. К. Шойгу. - М. МГФ "Знание", 2008. 672 с.

13. Безопасность России. Безопасность строительного комплекса. Рук. авт. кол-ва Н. А. Махутов, О. И. Лобов, К. И. Еремин. –М.; МГФ "Знание", 2012.- 798 с.

14. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Управление ресурсом эксплуатации высокорисковых объектов. Научный руководитель Махутов Н. А. – М.: МГОФ «Знание», 2015. – 600 с., ил.

15. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Системные исследования чрезвычайных ситуаций. Под ред. Махутова Н. А. - М.: МГОФ "Знание", 2015.-864 с, ил.

16. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Наука и технологии комплексной безопасности: постановка проблем Научный руководитель, член-корреспондент РАН Махутов Н. А. - М.; МГОФ "Знание", 2021. - 576 с., ил.

17. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Наука и технологии комплексной безопасности: исследования и разработки. Научный руководитель, член-корреспондент РАН Махутов Н. А. - М.; МГОФ "Знание", 2021. - 876 с., ил.
18. Беляев, Б. И. О совершенствовании методики расчета строительных конструкций //Строит. Механика и расчет сооружений. 1974. №5.
- 19.Беляев, Б. И. О выборе формулы для общего коэффициента надежности при вероятностном методе расчета //Стр. мех. И расчет сооружений. 1986. №1. - с.10-13.
20. Болотин, В. В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. М.; Стройиздат, 1982, 351 с.
21. Болотин, В. В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. Издательство литературы по строительству. Москва, 1971, 255 с.
22. Болотин, В.В. Статистические методы в строительной механике. М., Госстройиздат 1961г. 203 с.
23. Бондаренко, В. М. Еще раз о конструктивной безопасности и живучести зданий / В. М. Бондаренко, В. И. Колчунов, Н. В. Ключева // Вестник Отделения строительных наук Российской академии архитектуры и строительных наук. – 2007. – № 11. – С. 81-86.
24. Бондаренко, В. М. Экспозиция живучести железобетона / В. М. Бондаренко, В. И. Колчунов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2007. – № 5(581). – С. 4-8.
25. Бондаренко, В.М. Инженерные методы нелинейной теории железобетона/В.М. Бондаренко, С.В. Бондаренко. -М.: Стройиздат, 1982. -287 с.
26. Бузало, Н.А. Определение коэффициента значимости строительных конструкций при оценке технического состояния зданий/ Бузало Н.А., Канунников А.В. // Строительство и реконструкция. 2018; с.3-11.

27. Ван, Х. Учет ответственности сооружения при задании расчетной сейсмической нагрузки / Х. Ван, С. С. Ваничева // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2014. – № 2(39). – С. 124-128.

28. Васильев, А. А. Оценка коэффициентов значимости конструкций бескаркасных зданий / А. А. Васильев, В. М. Швед, А. А. Храмова // Advanced science: Сборник статей XV Международной научно-практической конференции, Пенза, 12 декабря 2020 года. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. – С. 37-41.

29. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей. М., 1969, 576 стр. с илл.

30. Вентцель, Е. С. Прикладные задачи теории вероятностей / Вентцель, Е. С., Овчаров Л. А. // М.: Радио и связь, 1983. - 416 с., ил.

31. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. // М.: Наука, 1998.

32. Власов В.З. Избранные труды : Т. 1-3 / Акад. наук СССР. - Москва : Изд-во Акад. Наук СССР, 1962-1964. - 3 т. ; 27 см.

33. Гвоздев, А. А. Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций. Под ред. А. А. Гвоздева. М. - Стройиздат, 1978, 204 с. Авт. А. А. Гвоздев, С. А. Дмитриев, Ю. П. Гуша и др.

34. Гвоздев, А. А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. Стройиздат 1949.

35. ГОСТ 27751-88 «Надежность строительных конструкций и оснований».- М. Стандартиформ, 2007.-6 с.

36. ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований».- М. Стандартиформ, 2019.-15 с.

37. Градостроительный Кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 №190-ФЗ (ред. от 13.06.2023). Режим доступа: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/866/> (Дата обращения: 08.01.2024).

38. Гранев, В. В. Проектирование сборных железобетонных конструкций каркасных зданий новый свод правил / Гранев В. В., Кодыш Э. Н.,

Трекин Н. Н., Терехов И. А., Еремин К. И., Шмаков С. Д. // Промышленное и гражданское строительство 2019, №4, с.4-10.

39. Гульванесян, Х. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 1990: Основы проектирования сооружений: пер. санг./Х.Гульванесян, Ж.А. Калгаро, М. Голицки: М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО "Моск. Гос. строит. ун-т"; науч. ред. пер. д-р техн. наук В. Д. Райзер, канд. техн. наук Н. А. Попов. М. МГСУ, 2012.-264 с. (серия "Издано в МГСУ: Еврокоды" Научн. ред. серии И. А. Кириллов).

40. ДБН В.1.2-14-2009 «Общие принципы обеспечения надежности и конструктивной безопасности зданий, сооружений строительных конструкций и оснований». - Киев, Минрегионстрой Украины, 2009.- 43 с.

41. ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013 «Определение класса последствий (ответственности) категории сложности объектов строительства». - Киев, Минрегионстрой Украины, 2013.- 27 с.

42. Заде, Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.

43. Залесов А. С. Расчет железобетонных конструкций по прочности, трещиностойкости и деформациям / А. С. Залесов, Э. Н. Кодыш, Л. Л. Лемаш, И.К. Никитин. - М.: Стройиздат, 1988.- 320 с.: ил.

44. Кабанов, В. А. Уровень ответственности и надежность конструктивных систем / В. А. Кабанов, О. Н. Замыцкий // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2008. – № 4. – С. 66-71.

45. Карпенко, Н. И. К оценке прочности, жесткости, момента образования трещин и их раскрытия в зоне чистого изгиба железобетонных балок с применением нелинейной деформационной модели / Н. И. Карпенко, Б. С. Соколов, О. В. Радайкин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2016. – № 3(687). – С. 5-12.

46. Карпенко, Н. И. Критерий прочности бетона при трехосном сжатии / Н. И. Карпенко, В. И. Корсун, С. Н. Карпенко, А. М. Анущенко // Приволжский научный журнал. – 2022. – № 4(64). – С. 8-16.

47. Карпенко, Н. И. Общие модели механики железобетона /Н. И. Карпенко.- М.: Стройиздат, 1996.- 416 с.
48. Келасьев Н. Г., Кодыш Э. Н., Трекин Н. Н., Терехов И. А., Шмаков С. Д., Хаютин Ю. Г. Совершенствование нормативной системы в строительстве на всех этапах жизненного цикла объекта (в порядке обсуждения). - Промышленное и гражданское строительство 2019, №4, с.10-16.
49. Келасьев, Н. Г. Унификация требований нормативно-правовых актов по обеспечению безопасности зданий и сооружений / Н. Г. Келасьев, Н. Н. Трекин, Э. Н. Кодыш, Е. В. Леонтьев, О. С. Щедрин // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 5., с. 4-16.
50. Кодыш, Э. Н. Обеспечение устойчивости сборных железобетонных связевых каркасных зданий от прогрессирующего обрушения / Кодыш Э. Н., Трекин Н. Н. //Сб. научн. Тр. «Предотвращение аварий зданий и сооружений». М.,2009. С.142-145.
51. Кодыш, Э. Н. Проектирование защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения с учетом возникновения особого предельного состояния. - Промышленное и гражданское строительство. 2018. №10 с.43-49.
52. Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Никитин И.К. Проектирование многоэтажных зданий с железобетонным каркасом /Монография. М.: Издательство АСВ, 2009. 352 с.
53. Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Трекин Н. Н. Расчет железобетонных конструкций из тяжелого бетона по прочности, трещиностойкости и деформациям. М.: Издательство АСВ, 2010. 352 с.
54. Колчунов В. И., Ключева Н. В., Андросова Н. Б., Бухтиярова А. С. Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях/Научное издание. - М.: Издательство АСВ, 2014.-208 с.
55. Колчунов В. И., Тур В. В. Направления проектирования конструктивных систем в особых расчетных ситуациях // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 7., с. 5-16. doi: 10.33622/0869-7019.2023.07.05-16.

56. Кудзис, А. П. Железобетонные и каменные конструкции: Учеб. Для строит спец. Вузов. В 2-х частях. Ч.1 Материалы, конструирование, теория и расчет. М.: Высш. шк., 1988. 287 с., ил.

57. Кудзис, А. П. Железобетонные и каменные конструкции: Учеб. Для строит спец. Вузов. В 2-х частях. Ч.2 Конструкции промышленных и гражданских зданий. М.: Высш. шк., 1989. 264 с., ил.

58. Кудзис А. П., Вадлуга Р. Р. Об определении минимальных величин меры надежности в железобетонных элементах. — В кн.: Проблемы надежности в строительной механике. Материалы к 3-й Всесоюзной конференции по проблемам надежности в строительной механике. Вильнюс, 1971.

59. Кудзис, А. П. Оценка надежности железобетонных конструкций. - Вильнюс. Мокслас, 1985. - 156 с.

60. Леонтьев, Е. В. Идентификационный паспорт объекта, как элемент автоматизированной информационной системы экспертизы / Е. В. Леонтьев, О. С. Щедрин // Вестник государственной экспертизы. – 2023. – № 03/2023(28). – С. 38–46.

61. Леонтьев, Е. В. Обоснование конструктивных решений / Е. В. Леонтьев, О. С. Щедрин // Вестник государственной экспертизы. – 2017. – № 03/2017(4). – С. 88–95.

62. Леонтьев, Е. В. Оценка расчетных обоснований / Е. В. Леонтьев, О. С. Щедрин // Вестник государственной экспертизы. – 2018. – № 01/2018(6). - С. 25–31.

63. Лолейт, А. Ф. К вопросу о правилах приемки железобетонных сооружений // Записки Московского архитектурного общества. - М.: 1905-1906, Т.1 - С.35-49.

64. Лычев, А.С. Изменчивость прочностных свойств бетона // Труды междунар. науч.-техн. конф. Самара, 1997. С. 42—46.

65. Лычев, А. С. Надежность железобетонных конструкций / Лычев А. С., Корякин В. П. // Куйбышев. - 1974. -129 с.

66. Лычев, А. С. Надежность строительных конструкций: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 653500 "Строительство" / А. С. Лычев. - Москва : изд-во Ассоц. строительных вузов, 2008. - 184 с. : ил., табл.; 21 см.; ISBN 978-5-93093-486-1.

67. Лычев, А.С. Способы вычисления вероятности отказа в композиции распределений прочности и нагрузки // Труды междунар. науч.-техн. конф. Самара, 1997. С. 33—37.

68. Лычев, А.С. Учет неэкономических потерь (безопасности) при проектировании строительных элементов // Труды междунар. науч.-техн. конф. Самара, 1997. С. 37—41.

69. Лычев, А.С. Оценка надежности строительных систем / Лычев А.С. Гордеева Т. Е., Романов О. Г. // Труды междунар. науч.-техн. конф. Самара, 1997. С. 46—50.

70. Лычев, А.С. Оценка неэкономических потерь / Лычев А.С., Парфенова Л. В. // Труды междунар. науч.-техн. конф. Самара, 1997. С. 50—55.

71. Лычев, А. С. Использование вероятностных методов при исследовании свойств бетона и железобетонных конструкций / Лычев А. С., Корягин В. П., Леонтьев Г. В. и др. // — В кн.: Исследования надежности железобетонных конструкций, Куйбышевский ИСИ, Куйбышев, 1974.

72. Марковский, Д.М. Калибровка значений параметров безопасности железобетонных конструкций с учётом заданных показателей надёжности [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Д.М. Марковский; Брестский государственный технический университет. - Брест, 2009. - 24с.

73. Мартынов, Ю. С. Системы частных коэффициентов, принятые в Еврокодах и СНиП по проектированию стальных конструкций / Ю. С. Мартынов, В. В. Надольский // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 13-й Международной научно-технической конференции. - Минск : БНТУ, 2015. - Т. 2. - С. 214.

74. Махутов, Н. А. Безопасность и защищенность сложных технических систем от аварий и катастроф в рамках риск-ориентированного подхода /

Н. А. Махутов // Безопасность и мониторинг природных и техногенных систем : материалы и доклады, Красноярск, 16–20 октября 2023 года. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий", 2023. – С. 11-15.

75. Махутов, Н. А. Безопасность и риски: системные исследования и разработки/Н. А. Махутов. - Новосибирск: Наука, 2017. - 724 с.

76. Махутов, Н. А. Научная информационно-аналитическая база промышленной безопасности / Н. А. Махутов, М. М. Гаденин // Безопасность труда в промышленности. – 2023. – № 10. – С. 20-26.

77. Махутов, Н. А. Научные основы анализа стратегических приоритетов и рисков развития России (Информационно-аналитическая справка по проблемам стратегического прогнозирования, планирования и программирования в целях устойчивого социально-экономического развития и обеспечения национальной безопасности). - М.: МГОФ "Знание, 2018.-96 с., ил.

78. Махутов Н. А., Духанина Л. Н., Светик Ф. Ф., Гаденин М. М. , Бобров Ю. В., Барыкин А. Н., Закаблуцкая Е. А., Юдина О. Н. Наука и технологии в проблемах анализа новых вызовов и угроз при обосновании комплексной безопасности. Итоговые материалы по I-II этапам и перспективам реализации многотомного издания. "Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Выпуск 7. /Под общей редакцией член-корреспондента РАН Махутова Н. А. - М.: МГОФ "Знание, 2021-152 с., ил.

79. Махутов, Н. А. Прочность и безопасность: фундаментальные и прикладные исследования/Н. А. Махутов. - Новосибирск: Наука, 2008 - 528с., (1,1)л. вкл.

80. МДС 20-2.2008. Временные рекомендации по обеспечению безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного (прогрессирующего) обрушения при аварийных воздействиях/ФГУП "НИЦ "Строительство". - М.: ОАО "ЦПП", 2008. - 16 с.

81. Мельчаков, А.П. Конструкционная безопасность строительного объекта: оценка и обеспечение: учебное пособие / А.П. Мельчаков, Д.А. Байбурин, Е.А. Казакова – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 136 с.

82. Мельчаков А. П., Чебоксаров Д. В. Прогноз, оценка и регулирование риска аварии зданий и сооружений: теория, методология, инженерные приложения. Монография. Челябинск. УГТУ-УПИ, 2006.-384 с.

83. Мкртычев, О.В. Расчет большепролетных и высотных сооружений на устойчивость к прогрессирующему обрушению при сейсмических и аварийных воздействиях в нелинейной динамической постановке/Мкртычев О.В., Мкртычев А.Э. – Строительная механика и расчет сооружений № 4, 2009. с. 43 – 46.

84. Мкртычев О.В. Расчет элементов строительных конструкций на надежность методом статистических испытаний / О.В. Мкртычев // Межвузовский сборник научных трудов, РГОТУПС, 1999, с. 64-67.

85. Мкртычев О.В., Райзер В.Д. Теория надежности в проектировании строительных конструкций: Монография. – М.: Изд-во АСВ, 2016, 908 с.

86. Мкртычев, О. В. Определение коэффициентов надежности по ответственности для отдельных несущих элементов на основе вероятностного анализа / О. В. Мкртычев, О. С. Щедрин, Е. М. Лохова // Вестник МГСУ. – 2022. – Т. 17. Вып. 10. – С. 1331–1346.

87. Отставнов, В.А. Учет ответственности зданий и сооружений в нормах проектирования строительных конструкций / Отставнов В.А., Смирнов А.Ф., Райзер В.Д., Сухов Ю.Д. // Строительная механика и расчет сооружений.— 1981.-№1.-С. 11-14.

88. Перельмутер, А. В. Готовы ли мы перейти к нелинейному анализу при проектировании? / А. В. Перельмутер, В. В. Тур // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. – 2017. – Т. 13, № 3. – С. 86-102.

89. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций / А. В. Перельмутер. - Изд. 3-е, перераб. и доп. - Москва : Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2007. - 255 с. : ил., табл.; 24 см.; ISBN 978-5-93093-484-7 (В пер.).

90. Перельмутер, А. В. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения/В. Н. Гордеев, А. И. Лантух-Лященко, В. А. Пашинский, А. В. Перельмутер, С. Ф. Пичугин; Под общ. ред. А. В. Перельмутера. - М. Издательство Ассоциация строительных вузов, 2007. - 482 стр.

91. Перельмутер, А. В. Расчетные схемы и возможность их анализа. А. В. /Перельмутер, В. И. Сливкер. - 4-е изд., перераб. - М.: Издательство СКАД СОФТ, 2011. - 736 стр.

92. Перельмутер А.В., Кабанцев О.В., Пичугин С.Ф. Основы метода расчетных предельных состояний – М.: издательство СКАД СОФТ, издательство АСВ, 2019–240 с.

93. Перельмутер, А. В. Расчетные схемы и возможность их анализа/А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. - 4-е изд., перераб. - М.: Издательство СКАД СОФТ, 2011. - 736 стр.

94. Перельмутер А.В. О расчетах сооружений на прогрессирующее обрушение // Вестник МГСУ. 2008. № 1. С. 119-128.

95. Перельмутер, А.В. О концептуальных положениях норм проектирования сейсмостойкого строительства / Перельмутер А.В., Кабанцев О.В. // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 12. С. 1673–1684.

96. Перельмутер, А. В. О расчете зданий и сооружений на выбытие элемента конструкции (В порядке обсуждения) / А. В. Перельмутер // Промышленное и гражданское строительство. – 2021. – № 12. – С. 22.

97. Пичугин С.Ф., Семко А.В., Махинько А.В. К определению коэффициента надежности по назначению с учетом рисков в строительстве. Известия высших учебных заведений. строительство. Номер: 11-12 (563-564) Год: 2005 Страницы: 104-109.

98. Райзер, В. Д. Вероятностные методы в анализе надежности и живучести сооружений: Научное издание.- М: Издательство АСВ, 2018.-2018.- 396 с.
99. Райзер, В. Д. Очерк развития теории надежности и норм проектирования строительных конструкций / В. Д. Райзер // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2014. – № 2. – С. 29-35.
100. Райзер, В. Д. Оптимизация надежности конструкций с учетом фактора живучести / В. Д. Райзер // Строительная механика и расчет сооружений 2015, №1, с.42-45.
101. Райзер, В.Д. Методы теории надежности в задачах нормирования расчетных параметров строительных конструкций. Серия: Надежность и качество. М. Стройиздат. 1986г. 192с.
102. Райзер, В. Д. Теория надежности в строительном проектировании // Монография. - АСВ, 1998. -304 с.
103. Рак, Н. А. Будущее норм проектирования железобетонных конструкций: проблемы и перспективы / Н. А. Рак, В. В. Тур // Железобетонные конструкции. – 2023. – Т. 4, № 4. – С. 91-103.
104. Расторгуев, Б.С. Проектирование зданий и сооружений при аварийных взрывных воздействиях: Учебное пособие / Расторгуев Б.С., Плотников А.И., Хуснутдинов Д.З. // М.: Изд. АСВ, 2007. -152 с.
105. РДС РК 1.02-04-2013 Отнесение объектов строительства и градостроительного планирования территорий к уровням ответственности.
106. Ржаницын, А. Р. Определение коэффициента запаса прочности сооружений // Строительная промышленность, 1947, №8.
107. Ржаницын, А. Р. Расчет сооружений с учетом пластических свойств материалов. - 2-е изд., перераб. - Москва : Гос. изд-во лит. по стр-ву и архитектуре, 1954. - 288 с.
108. Ржаницын, А. Р. Теория расчёта строительных конструкций на надёжность : научное издание / А. Р. Ржаницын. – М. : Стойиздат, 1978. – 239 с.

109. Ржаницын, А.Р. Экономический принцип расчета на безопасность // Строительная механика и расчет сооружений. 1973. №3. С. 3-5.
110. Синицын, А. П. Расчет конструкций на основе теории риска, Стройиздат, Москва, 1985. -304 с., ил.
111. Складнев, Н. Н. О методике определения коэффициента надежности по назначению/ Н. Н. Складнев, А. А. Федяев // Строительная механика и расчет сооружений. - 1987. №2. -с.3-6.
112. Статически неопределимые железобетонные конструкции. Диаграммные методы автоматизированного расчета и проектирования : Методическое пособие / Н. И. Карпенко, В. И. Травуш, С. Н. Карпенко [и др.]. – Москва : Без издательства, 2017. – 197 с.
113. Стрелецкий, Н. С. К анализу общего коэффициента безопасности. Классификация напряжений// Проект и стандарт, 1935, №10-С.
114. Стрелецкий, Н. С. К вопросу развития методики расчета по предельным состояниям/ Н. С. Стрелецкий.— М.: Стройиздат, 1975.— с.257-287.
115. Стрелецкий, Н.С. Основы статистического учета коэффициента запаса прочности сооружений / Н.С. Стрелецкий. – М. : Стройиздат. 1947. – 92 с.
116. СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах». - Москва, Стандартинформ, 2018. - 114 с.
117. СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» [Электронный ресурс]. – Минстрой России, 2018. – 143 с. Режим доступа <https://minstroyrf.gov.ru/docs/18227/> (дата обращения 04.02.2024).
118. СП 385.1325800.2018 "Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Основные положения" (с Изменениями 1,2,3).- М.: Стандартинформ, 2020; М.: ФГБУ "РСТ", 2022; М.: ФГБУ "РСТ", 2023.
119. СП 430.1325800.2018 «Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования» [Электронный ресурс]. – Минстрой России, 2018. – 66 с. Режим доступа <https://minstroyrf.gov.ru/docs/18465/> (дата обращения 04.02.2024).

120. Строительные нормы и правила. Часть II. Нормы строительного проектирования.- М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1954.- 405 с.

121. СНиП II-A.3-62 Строительные нормы и правила. Часть II, раздел А. Глава 3. Классификация зданий и сооружений. Основные положения проектирования.- М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1962.- 5 с.

122. СТ СЭВ 384-76 «Строительные конструкции и основания. Основные положения по расчету».- М.: Издательство стандартов, 1979.- 7 с.

123. СТ СЭВ 384-87 «Строительные конструкции и основания. Основные положения по расчету».- М.: Издательство стандартов, 1987.- 10 с.

124. Стругацкий Ю.М. Обеспечение прочности панельных зданий при локальных разрушениях их несущих конструкций. В сб. «Исследования несущих бетонных и железобетонных конструкций сборных многоэтажных зданий», МНИИТЭП М., 1980.

125. Тамразян, А. Г. Анализ вероятности отказа горизонтального контактного стыка сборных стеновых элементов панельных зданий с использованием метода статистического моделирования / А. Г. Тамразян, Д. С. Дехтерев // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. – 2017. – № 1. – С. 147-155.

126. Тамразян, А. Г. Анализ риска как инструмент принятия решений строительства подземных сооружений / А. Г. Тамразян // Жилищное строительство. – 2012. – № 2. – С. 6-7.

127. Тамразян, А. Г. Живучесть как степень работоспособности конструкций при повреждении / А. Г. Тамразян // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 7. – С. 22-28.

128. Тамразян, А. Г. К безопасному значению длительного нагружения сжатых железобетонных элементов / А. Г. Тамразян // Строительство и реконструкция. – 2023. – № 2(106). – С. 80-89.

129. Тамразян А. Г. Основные принципы оценки риска при проектировании зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2011. №2. с.21-27.

130. Тамразян, А. Г. Методология анализа и оценки надежности состояния и прогнозирование срока службы железобетонных конструкций / А. Г. Тамразян // Железобетонные конструкции. – 2023. – Т. 1, № 1. – С. 5-18.

131. Тамразян, А. Г. К вероятностной оценке надежности железобетонных многопустотных панелей перекрытий / А. Г. Тамразян, А. И. Долганов, Д. И. Калеев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 4(370). – С. 267-271.

132. Тамразян, А. Г. Оптимальное проектирование несущих конструкций зданий с учетом относительного риска аварий / А. Г. Тамразян, А. В. Алексейцев // Вестник МГСУ. – 2019. – Т. 14, № 7. – С. 819-830.

133. Тамразян А. Г. Оценка риска и надежности несущих конструкций и ключевых элементов – необходимое условие безопасности зданий и сооружений. Вестник ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко "Исследования по теории сооружений". 2009. №1с.160-171.

134. Тамразян, А. Г. Оптимальное проектирование несущих конструкций зданий с учетом относительного риска аварий / А. Г. Тамразян, А. В. Алексейцев // Вестник МГСУ. – 2019. – Т. 14, № 7. – С. 819-830.

135. Тамразян, А.Г. Расчет элементов конструкций при заданной надежности и нормальном распределении нагрузки и несущей способности // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 109–115.

136. Травуш, В. И. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения в рамках законодательных и нормативных требований / В. И. Травуш, В. И. Колчунов, Е. В. Леонтьев // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 2. – С. 46-54.

137. Травуш, В. И. Проектирование защиты крупнопанельных зданий от прогрессирующего обрушения / В. И. Травуш, Г. И. Шапиро, В. И. Колчунов [и др.] // Жилищное строительство. – 2019. – № 3. – С. 40-46.

138. Травуш, В. И. Некоторые направления развития теории живучести конструктивных систем зданий и сооружений / В. И. Травуш, В. И. Колчунов, Н. В. Ключева // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – № 3. – С. 4-11.

139. Травуш, В. И. О Стратегии развития строительной отрасли Российской Федерации на 2030-2035 годы / В. И. Травуш, Д. В. Кузеванов, Ю. С. Волков // Промышленное и гражданское строительство. – 2022. – № 8. – С. 4-10.

140. Травуш, В. И. О необходимости системного подхода к научным исследованиям в области комплексной безопасности и предотвращения аварий зданий и сооружений / В. Н. Пономарев, В. И. Травуш, В. М. Бондаренко, К. И. Еремин // Мониторинг. Наука и безопасность. – 2014. – № 1(13). – С. 4-13.

141. Трекин, Н. Н. Методика определения эксплуатационной безопасности зданий и их конструкций / Н. Н. Трекин, Э. Н. Кодыш, И. А. Терехов, С. Д. Шмаков, О. С. Щедрин // Academia. Архитектура и строительство. – 2022. – № 4. – С. 152–159.

142. Трекин, Н. Н. Определение ответственности колонн в многоэтажном монолитном железобетонном каркасном здании с учетом их расположения в плане и по высоте / Н. Н. Трекин, О. С. Щедрин // Инновации в строительстве - 2020: сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию строительного института ФГБОУ ВО «БГИТУ», Брянск, 25 декабря 2020 года. – 2020. – С. 429–434.

143. Трекин, Н. Н. Определение показателя ответственности железобетонных колонн в многоэтажных каркасных зданиях / Н. Н. Трекин, Э. Н. Кодыш, О. С. Щедрин // Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений: Тезисы докладов VIII-го международного симпозиума, Тамбов, 17–21 мая 2023 года. – 2023. – С. 183–184.

144. Трекин, Н. Н. Совершенствование методов расчета несущих конструкций / Н. Н. Трекин, Э. Н. Кодыш, О. С. Щедрин // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 8. – С. 14–20.

145. Трекин, Н. Н. Уточнение коэффициента ответственности K_0 при расчете на сейсмостойкость для отдельных конструктивных элементов (колонн) многоэтажных монолитных железобетонных каркасных зданиях (в порядке обсуждения) / Н. Н. Трекин, Э.Н. Кодыш, О. С. Щедрин // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2021. – № 4. – С. 8–18.

146. Тур, В. В. Калибровка значений частных коэффициентов для проверок предельных состояний несущей способности стальных конструкций для условий Республики Беларусь. Часть 1 / В. В. Тур, В. В. Надольский // Строительство и реконструкция. – 2016. – № 4(66). – С. 73-84.

147. Тур, В. В. Калибровка значений частных коэффициентов для проверок предельных состояний несущей способности стальных конструкций для условий Республики Беларусь. Часть 2 / В. В. Тур, В. В. Надольский // Строительство и реконструкция. – 2016. – № 5(67). – С. 69-75.

148. Тур, В. В. Новое в проектировании конструкций из бетона: второе поколение Еврокодов и национальные нормы / В. В. Тур, Т. М. Пецольд, Н. А. Рак // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2018. – № 8. – С. 131-146.

149. Тур, А. В. О применении нелинейного анализа при проектировании конструктивных систем из железобетона / А. В. Тур, В. В. Тур // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2017. – № 16. – С. 55-66.

150. Тур, В. В. Оценка рисков конструктивных систем в особых расчетных ситуациях / В. В. Тур // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2009. – № 6. – С. 2-14.

151. Тур, А. В. Расчётные критерии для проверки живучести каркасных конструктивных систем из железобетона в особых расчётных ситуациях / А. В. Тур // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. – 2016. – № 1. – С. 129-138.

152. Тур, В. В. Проверка живучести конструктивных систем из сборного железобетона по методу энергетического баланса / В. В. Тур, А. В. Тур, А. А. Лизогуб // Вестник МГСУ. – 2021. – Т. 16, № 8. – С. 1015-1033.

153. Тур, В.В. Прочность и деформации бетона в расчетных конструкциях / В.В. Тур, Н.А. Рак. – Брест : БрГТУ, 2003. – 252 с.

154. Федеральный закон от 30.12.2009 №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

155. Хоциалов, Н.Ф. Запасы прочности // Строительная промышленность. 1929. №10. С. 840–844.

156. Чирков, В.П. Прикладные методы теории надёжности в расчётах строительных конструкций / В. П. Чирков. – Текст: непосредственный. – М. : Маршрут, 2006. –620 с.

157. Шапиро, Г. И. Численное решение задачи устойчивости панельного здания против прогрессирующего обрушения / Г. И. Шапиро, А. А. Гасанов // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. – 2016. – Т. 12, № 2. – С. 158-166.

158. Щедрин, О. С. Определение уровня ответственности конструкций монолитного многоэтажного каркасного здания / О. С. Щедрин // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 3. Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/issue/195> (дата обращения: 06.03.2024).

159. Adam J.M., Parisi F., Sagaseta J., Lu X. Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century // Engineering Structures. 2018. Vol. 173. Pp. 122-149.

160. Breugel, K. van (1997). “Storage system criteria for hazardous products.” IABSE, Structural Engineering International, 7(1), 53-55.

161. Byfield M., Mudalige W., Morison C., Stoddart E. A review of progressive collapse research and regulations // Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings. 2014. Vol. 167. Issue 8. Pp. 447-456.

162. Chen Z., Zhu Y., Lu X., Lin K. A simplified method for quantifying the progressive collapse fragility of multi-story RC frames in China // *Engineering Failure Analysis*. 2023. No. 143. Pp. 106924.
163. Ellingwood B.R., Smilowitz R., Dusenberry D.O., Duthinh D., Lew H.S., Carino N.J. Best practices for reducing the potential for progressive collapse in buildings. NISTIR 7396. National Institute of Science and Technology, US Department of Commerce. 2007. 194 p.
164. EN 1990:2002 Eurocode. Basis of structural design.
165. EN 1991-1-7:2009 Eurocode 1 -Actions on structures -Part 1-7: General actions -Accidental actions.
166. Fang Z.X., Fan H.T. Redundancy of structural systems in the context of structural safety // *Procedia Engineering*. 2011. Vol. 14. Pp. 2172-2178.
167. Folić R. Structural Robustness of monolithic and precast RC building // *First Scientific-applied Conference with International Participation Reinforced Concrete and Masonry Structures-Theory and Practice*. Sofia, 2015.
168. Freudenthal A. M. Safety of Structures, *Transactions ASCE*, Vol. 112, 1947, pp. 125–180.
169. Freudenthal A. M. Safety and Probability in Structural Failure, *Transactions ASCE*, Vol. 121, 1956, pp. 1337–1375.
170. Herraiz B., Vogel T., Russell J. Energy-based method for sudden column failure scenarios: Theoretical, numerical and experimental analysis // *IABSE Workshop Helsinki 2015: Safety, Robustness and Condition Assessment of Structures*. Report. International Association for Bridge and Structural Engineering IABSE. 2015. Pp. 70-77.
171. Izzuddin B.A., Vlassis A.G., Elghazouli A.Y., Nethercot D.A. Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss - Part I: Simplified assessment framework // *Engineering Structures*. 2008. Vol. 30. Issue 5. Pp. 1308-1318.

172. Kokot, S. Progressive collapse risk analysis: literature survey, relevant construction standards and guidelines / Kokot, S., Solomos G. // European Laboratory for Structural Assessment, November 2012.

173. Mayer M. Die Sicherheit der Bauwerte und ihre Berechnung nach Granzkräften statt nach zulässigen Spannungen. Berlin: Springer Verlag, 1926. Pp. 111–126.

174. Melchers R.E., Beck A.T. Structural reliability: Analysis and prediction. JohnWiley & Sons Ltd, 2018. 506 p.

175. NIST Best Practices. Best Practices for Reducing the Potential for Progressive Collapse in Buildings. U.S. National Institute of Standards and Technology (NIST), Washington, D.C., 2007.

176. Progressive Collapse Analysis and design guidelines for new federal office Buildings and major modernization projects, June 2003, U.S. General Service Administration and Applied Research Associates.

177. Qian K., Li B. Research advances in design of structures to resist progressive collapse // Journal of Performance of Constructed Facilities. 2015. Vol. 29. Issue 5.

178. Raizer V.D. Reliability of structures: analysis and applications. USA: Backbone Publishing Company, 2009. 146 p.

179. Starossec, U. Design of Collapse - resistant structure, ICSS and IA BSE Workshop on Robustness of Structure / U. Starossec, M. Wolf, 2005.

180. Starossek, U. (1997). “Zum progressiven Kollaps mehrfeldriger Brückentragwerke.” Bautechnik, 74(7), 443-453.

181. Tampazyan A., Zubareva S. Optimal design of reinforced concrete structures taking into account the particular calculation for progressive destruction // MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 117.

182. Tur V.V., Tur A.V., Derechennik S.S. Checking of structural system robustness based on pseudo-static full probabilistic approach // Proceedings of the fib Symposium 2019: Concrete-Innovations in Materials, Design and Structures. 2019. Pp. 2126-2133.

183. Vlassis A.G., Izzuddin B.A., Elghazouli A.Y., Nethercot D.A. Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss - Part II: Application // Engineering Structures. 2008. Vol. 30. Issue 5. Pp. 1424-1438.

184. UFC 4-023-03, "Unified Facilities Criteria (UFC). Design of Buildings to Resist Progressive Collapse, with Change 3.-Department of Defense USA, 2013 - 245 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ А



• ЦНИИПРОМЗДАНИЙ •

А К Ц И О Н Е Р Н О Е О Б Щ Е С Т В О
«Центральный научно-исследовательский и проектно-
экспериментальный институт промышленных зданий и
сооружений – ЦНИИПромзданий» (АО «ЦНИИПромзданий»)

РФ, 127238, г. Москва, Дмитровское шоссе, дом 46, корп. 2
Телефон: +7 (495) 482 45 06; факс +7 (495) 482 43 06
e-mail: cniipz@cniipz.ru; http://www.cniipz.ru
ОГРН 1027739344544, ИНН 7713006939, КПП 771301001

05.03.2024 № 452-1/3-4

На № _____ от _____

АКТ о внедрении

Результаты диссертационной работы Щедрина О.С. на тему: «Дифференцированный уровень ответственности железобетонных конструкций многоэтажных каркасных зданий» были использованы при выполнении научно-исследовательских работ по заказу ФАУ «ФЦС»:

1. «Совершенствование методов расчета защиты железобетонных конструкций зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения с учетом деформационной модели особого предельного состояния» 2020 г.

2. «Выполнение работ по мониторингу и анализу действующих нормативно-технических и нормативно-правовых документов, содержащих требования по расчету конструкций на прогрессирующее обрушение, и подготовка предложений по гармонизации отечественной нормативной базы с учетом лучших мировых практик» 2022 г.

Генеральный директор



Н.Г.Келасьев



• ЦНИИПРОМЗДАНИЙ •

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«Центральный научно-исследовательский и проектно-
экспериментальный институт промышленных зданий и
сооружений – ЦНИИПромзданий» (АО «ЦНИИПромзданий»)

РФ, 127238, г. Москва, Дмитровское шоссе, дом 46, корп. 2
Телефон: +7 (495) 482 45 06; факс +7 (495) 482 43 06
e-mail: cniipz@cniipz.ru; http://www.cniipz.ru
ОГРН 1027739344544, ИНН 7713006939, КПП, 771301001

05.03.2024 № 452-2/3-4

На № _____ от _____

АКТ о внедрении

Результаты диссертационной работы Щедрина О.С. на тему: «Дифференцированный уровень ответственности железобетонных конструкций многоэтажных каркасных зданий» были использованы при выполнении научно-технического сопровождения проектирования в расчетах на защиту от прогрессирующего обрушения по объектам: «Многофункциональный корпус» по адресу: г. Москва, пр-т Вернадского, д. 82, стр.5; «Реконструкция и техническое перевооружение корпуса №140» АО «НПП им. С.А. Лавочкина» г. Химки; «Реконструкция и техническое перевооружение производства жидкостных ракетных двигателей, 2 очередь» по адресу: АО КБХА г. Воронеж.

Генеральный директор



Н.Г.Келасьев

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Список опубликованных научных работ

Публикации в изданиях из Перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Трекин, Н. Н. Уточнение коэффициента ответственности K_0 при расчете на сейсмостойкость для отдельных конструктивных элементов (колонн) многоэтажных монолитных железобетонных каркасных зданиях (в порядке обсуждения) / Н. Н. Трекин, Э.Н. Кодыш, **О. С. Щедрин** // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2021. – № 4. – С. 8–18.
2. Мкртычев, О. В. Определение коэффициентов надежности по ответственности для отдельных несущих элементов на основе вероятностного анализа / О. В. Мкртычев, **О. С. Щедрин**, Е. М. Лохова // Вестник МГСУ. – 2022. – Т. 17. Вып. 10. – С. 1331–1346.
3. Трекин, Н. Н. Методика определения эксплуатационной безопасности зданий и их конструкций / Н. Н. Трекин, Э. Н. Кодыш, И. А. Терехов, С. Д. Шмаков, **О. С. Щедрин** // Academia. Архитектура и строительство. – 2022. – № 4. – С. 152–159.
4. Келасьев, Н. Г. Унификация требований нормативно-правовых актов по обеспечению безопасности зданий и сооружений / Н. Г. Келасьев, Н. Н. Трекин, Э. Н. Кодыш, Е. В. Леонтьев, **О. С. Щедрин** // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 5., с. 4-16.
5. Трекин, Н. Н. Совершенствование методов расчета несущих конструкций / Н. Н. Трекин, Э. Н. Кодыш, **О. С. Щедрин** // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 8. – С. 14–20.
6. **Щедрин, О. С.** Определение уровня ответственности конструкций монолитного многоэтажного каркасного здания / **О. С. Щедрин** // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 3. Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/issue/195> (дата обращения: 06.03.2024).

Статьи, опубликованные в других научных изданиях и журналах:

1. Трекин, Н. Н. Определение ответственности колонн в многоэтажном монолитном железобетонном каркасном здании с учетом их расположения в плане и по высоте / Н. Н. Трекин, **О. С. Щедрин** // Инновации в строительстве - 2020: сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию строительного института ФГБОУ ВО «БГИТУ», Брянск, 25 декабря 2020 года. – 2020. – С. 429–434.
2. Леонтьев, Е. В. Идентификационный паспорт объекта, как элемент автоматизированной информационной системы экспертизы / Е. В. Леонтьев, **О. С. Щедрин** // Вестник государственной экспертизы. – 2023. – № 03/2023(28). – С. 38–46.
3. Трекин, Н. Н. Определение показателя ответственности железобетонных колонн в многоэтажных каркасных зданиях / Н. Н. Трекин, Э. Н. Кодыш, **О. С. Щедрин** // Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений: Тезисы докладов VIII-го международного симпозиума, Тамбов, 17–21 мая 2023 года. – 2023. – С. 183–184.
4. Леонтьев, Е. В. Обоснование конструктивных решений / Е. В. Леонтьев, **О. С. Щедрин** // Вестник государственной экспертизы. – 2017. – № 03/2017(4). – С. 88–95.
5. Леонтьев, Е. В. Оценка расчетных обоснований / Е. В. Леонтьев, **О. С. Щедрин** // Вестник государственной экспертизы. – 2018. – № 01/2018(6). – С. 25–31.