



Щедрин Олег Сергеевич

**ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЙ УРОВЕНЬ
ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСНЫХ
ЗДАНИЙ**

Специальность 2.1.1 – «Строительные конструкции, здания и сооружения».

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва - 2024

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

Научный руководитель:	доктор технических наук, профессор Трекин Николай Николаевич
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор Травуш Владимир Ильич, главный конструктор ЗАО «Горпроект» кандидат технических наук Булусhev Сергей Валерьевич, преподаватель кафедры сопротивления материалов ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
Ведущая организация:	ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно- строительный университет»

Защита состоится «__» _____ 2024 г. в ____ (по местному времени) на заседании диссертационного совета 39.1.001.01, созданного на базе Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (ФГБУ «НИИСФ РААСН»), по адресу г. Москва, Локомотивный пр., дом 21.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (ФГБУ «НИИСФ РААСН») и на сайте <https://niisf.ru>

Автореферат разослан «__» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного
совета 39.1.001.01



Шмаров Игорь Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Обеспечение надежности и безопасности несущих конструкций зданий в настоящее время остается важнейшей задачей. В ГОСТ 27751 сформулировано требование о необходимости назначения при проектировании уровня ответственности (класса) зданий который определяет значение коэффициента надежности по ответственности γ_n . Ответственность здания определяется объемом экономических, социальных и экологических последствий его обрушения. В настоящее время в нормативной литературе уровень ответственности принимается для всего здания в целом. От этого комплексного показателя зависит выбор нагрузочных факторов и другие требования к проектным решениям и мероприятиям.

Надежность и безопасность конструктивной системы в целом неразрывно связана с элементами этой системы, которые обеспечивают прочность, пространственную устойчивость. Значимость каждого несущего элемента в системе здания в обеспечении общей механической безопасности различна. 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. Однако, в отечественных нормативных документах отсутствуют конкретные правила назначения коэффициентов надежности по ответственности для отдельных конструктивных элементов.

Использование дифференцированных коэффициентов надежности по ответственности позволит повысить надежность и безопасность здания и минимизировать затраты при выполнении расчетов на аварийную ситуацию.

По причине большого практического значения и актуальности данной проблемы нормативные документы нуждаются в дополнении конкретными требованиями в части определения значений коэффициентов надежности по ответственности отдельных конструктивных элементов и их классификации.

Степень разработанности темы исследования. Создание и развитие методов расчета по предельным состояниям, развитие теории надежности связано с именами известных ученых: В. В. Болотина, В. М. Бондаренко, Е. С. Вентцель, А. А. Гвоздева, А. Ф. Лолейта, М. Майера, А. Р. Ржаницына, Н. С. Стрелецкого, Н. Ф. Хоциалова, S. Kokot, 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, Г. Аугусти, В. Н. Байкова, А. Баратта, В. З. Власова, В. П. Гущи, А. В. Забегаева, Л. Заде, А. С. Залесова, О. В. Кабанцева, Н. И. Карпенко, Ф. Кашиати, Э. Н. Кодыша, В. И. Колчунова, С. Б. Крылова, В. А. Легасова, А. С. Лычева, Н. А. Махутова, А. П. Мельчакова, К. В. Михайлова, О. В. Мкртычева, В. И. Мурашова, Т. А. Мухамедиева, П. Л. Пастернака, А. В. Перельмутера, С. Ф. Пичугина, Н. Н. Попова, В. Д. Райзера, Б. С. Расторгуева, И. Н. Серпика, Н. Н. Складнева, Ю. М. Стругацкого, А. Г. Тамразяна, В. И. Травуша, Н. Н. Трекина, В. В. Тура, Н. В. Федоровой, В. П. Чиркова, Е. А. Чистякова, Г. И. Шапиро, Ю. А. Эйсмана.

Цель и задачи

Целью диссертационной работы является разработка методики определения коэффициентов надежности по ответственности вертикальных несущих элементов каркасного здания 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 смежные 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 строительных конструкций.
8. Классификация конструктивных элементов по уровню ответственности в зависимости от нагруженности элементов, их месторасположения, от степени их 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 обеспечения необходимого уровня надежности здания.

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 имеющих различное расположение 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 запредельном состоянии и степени догружения смежных колонн при отказе рассматриваемой колонны.

3. Методика определения коэффициентов значимости уровня ответственности, на примере колонн первого этажа каркасного здания из монолитного железобетона по критерию относительной 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 позволяют 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

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 значимости уровня ответственности на примере колонн первого этажа каркасного здания из монолитного железобетона по критерию относительной вероятности их отказа;

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

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

Личный вклад автора заключается в постановке задач исследования, в введении и обосновании критериев ответственности, определении показателей ответственности по результатам численного эксперимента, а также разработка метода определения коэффициентов надежности по ответственности несущих элементов (колонн) каркасного здания из монолитного железобетона.

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 диссертации докладывались и обсуждались на семинарах и международных научно-технических конференциях:

- Семинар на тему «Обсуждение с разработчиками замечаний и внесенных в 2019 году изменений в СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. основные положения» (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.);

- Семинары АО «ЦНИИПромзданий», АО «НИЦ «Строительство», ФАУ «Главгосэкспертиза России»;

- 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, 20.09.2023г.).

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.

Публикация работы. Материалы диссертации достаточно полно изложены в 11 научных публикациях, из которых 6 работ опубликованы в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендуемых ВАК РФ.

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».

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.

Основное содержание работы

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, его цели и задачи. Представлены: научная гипотеза; объект и предмет исследования; научная новизна, теоретическая и практическая значимость, а также реализация работы; методология и методы исследования; основные положения, выносимые на защиту; соответствие диссертации паспорту научной специальности.

В первой главе в соответствии с задачами исследований, представлено обоснование целесообразности назначения дифференцированных коэффициентов надежности по ответственности для основных несущих конструктивных элементов каркасной системы на основе выполненного обзора и анализа имеющихся требований нормативно-правовых актов (НПА) к классификации, идентификации зданий, требований к определению уровня ответственности зданий в целом и отдельных конструктивных элементов, требований к назначению и учету коэффициента надежности по ответственности. Данный анализ показал необходимость гармонизации и дополнения существующих, а также разработки новых НПА с учетом отсутствия необходимых требований и выявленных разночтений. При этом отмечена целесообразность применения комплексного подхода, включая оценку рисков, а также использования результатов фундаментальных исследований РАН, опубликованных в 65 томах серии «Безопасность России. Правовые социально-экономические и научно-технические аспекты» при назначении критериев и показателей ответственности. Основной причиной того, что при подтверждении механической безопасности оценка риска практически не применяется является отсутствие в нормативных документах, перечня основных опасностей, подлежащих учету при оценке рисков на всем протяжении жизненного цикла здания и методик их определения; отсутствие конкретных значений параметров, характеризующих объем экономических, социальных и экологических последствий от разрушения здания, которые являются определяющими при назначении уровня ответственности здания.

Отдельный раздел диссертации посвящен классификации конструктивных элементов, в котором рассмотрены Российские и иностранные подходы к классификации отдельных конструкций по уровню ответственности. В выводах по главе предложены подходы к определению критериев и показателей ответственности вертикальных несущих конструкций каркасного здания.

Вторая глава диссертации посвящена расчетному исследованию, с целью получения исходных данных (показателей ответственности) для определения

дифференцированного уровня ответственности основных несущих конструкций в зависимости от их месторасположения в несущей системе здания.

Объектом исследования было выбрано 12-этажное монолитное рамное каркасное здание размерами в осях 24х36 м с сеткой колонн 6,0х6,0 м и высотой этажа 3,6 м. Колонны сечением 400х400 мм, бетон В25, продольная арматура класса А500С (рисунок 1). В расчетах поочередно удалялась одна из колонн и определялась площадь условного обрушения. В процессе численного исследования было выполнено и проанализировано с учетом симметрии здания 144 варианта расчетных ситуаций.

Работа выполнялась в следующей последовательности:

- расчет здания в стадии эксплуатации с целью определения армирования несущих конструкций и их начального напряженно-деформированного состояния;
- серия расчетов на аварийную ситуацию, вызванную поочередным разрушением колонн в упругой и нелинейной постановке с учетом критериев особого предельного состояния и определением для каждого расчета площади условного разрушения (выход за границу предельного состояния), а также напряженно-деформированного состояния смежных конструкций;
- оценка площади разрушений для каждого из рассмотренных вариантов;
- анализ полученных значений усилий в колоннах при аварийных расчетных ситуациях и определение месторасположения наиболее нагруженных элементов и элементов, которые вызывают их догружение;
- анализ эффекта перераспределения усилий в вертикальных несущих элементах (колоннах) при аварийной расчетной ситуации.

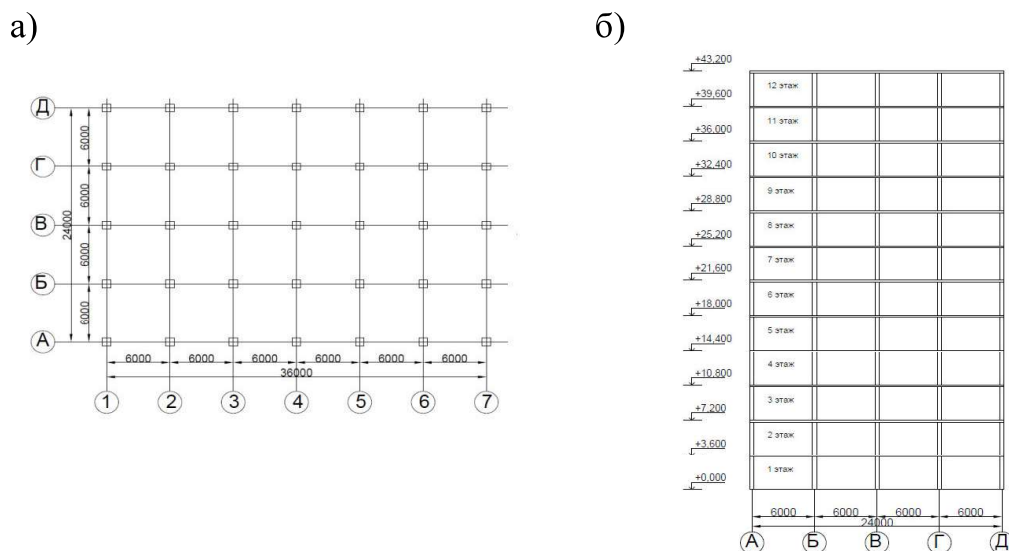


Рисунок 1 – План типового этажа здания (а) и схема поперечного разреза (б)

По результатам вычислений, основным показателем ответственности колонн по критерию объема разрушения, вызванного отказом колонны, является коэффициент значимости колонны по относительной площади разрушений перекрытий (K_{sijf}), определяемый по формуле

$$K_{siff} = \frac{S_{iff}^R}{S_{iff}^G}, \quad (1)$$

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

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

На рисунке 2 приведены схемы конструкций здания находящихся в запредельном состоянии при отказе колонн 1 этажа.

Были подсчитаны значения относительных площадей перекрытий в запредельном состоянии при отказе колонн 1-го, 5-го, 10-го и 12-го этажей. В таблице 1 представлены значения K_{siff} только для первого этажа. По плану здания характер распределения коэффициента K_{siff} идентичен для всех этажей с уменьшением по абсолютной величине, например, для 12 этажа на 25%.

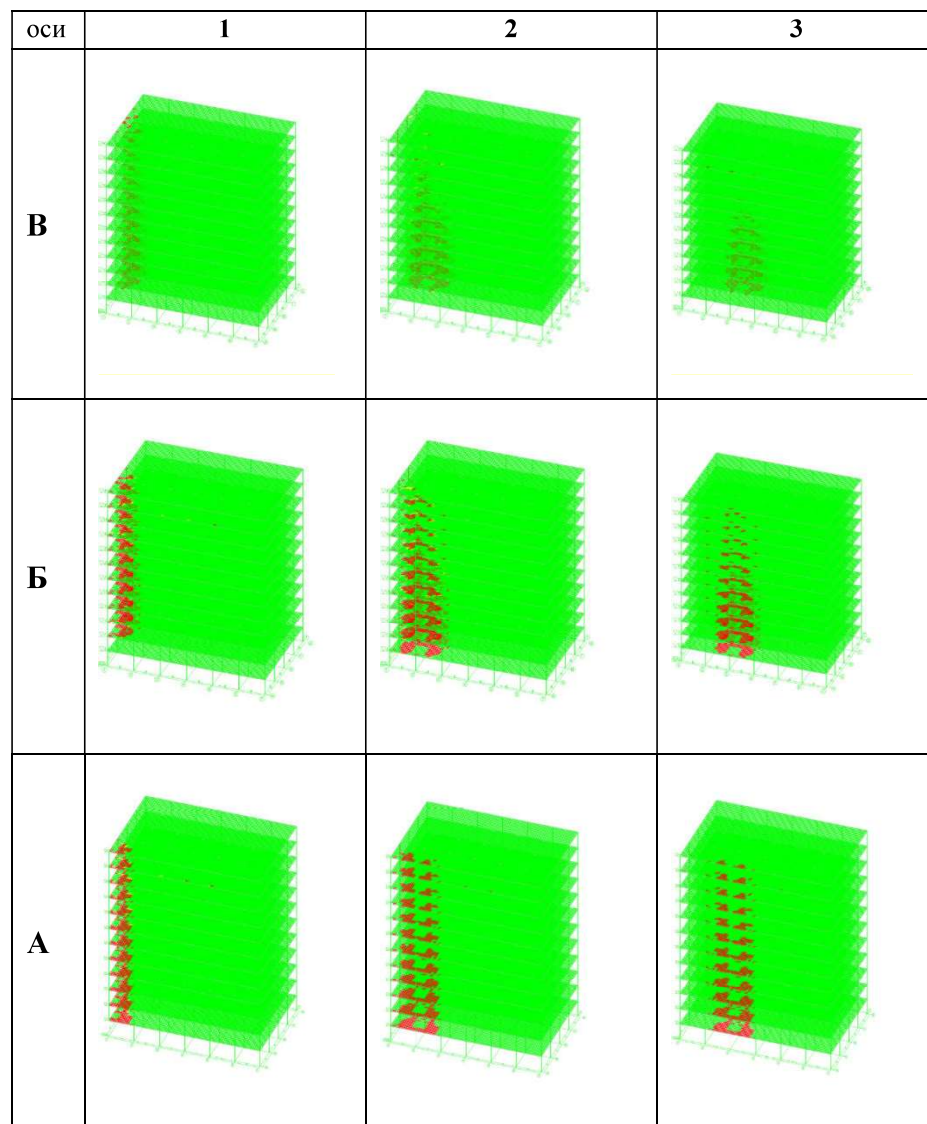


Рисунок 2 – Распределение участков перекрытий по высоте, находящихся в запредельном состоянии, при отказе колонн 1-го этажа в осях А-В/1-3

Таблица 1 – Коэффициент значимости по относительной площади разрушения перекрытий K_{sijf} при отказе 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

При удалении колонны продольные усилия в колоннах перераспределяются на смежные колонны. В качестве второго показателя ответственности принят коэффициент значимости по догрузению колонны K_{ijf}^d , определяемый по формуле

$$K_{ijf}^d = \frac{N_{ijf}^R}{N_{ijf}}, \quad (2)$$

где N_{ijf}^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.

Коэффициент K_{ijf}^d , показывает возрастание продольного усилия N в соседней колонне при отказе рассматриваемой колонны.

Так при удалении угловой колонны пересечении осей 1А на этажах с 1 по 2 происходит догружение колонн по осям 1Б, 2А, 2Б. Максимальное значение K_{ijf}^d составляет 1,38 (рисунок 3).

оси	1	2	3	4	5	6	7
Д							
Г							
В							
Б	1Б 1,38	2Б 1,03					
А	1А 1,38	2А 1,38					

Рисунок 3 – Значения коэффициента значимости по догрузению K_{ijf}^d при удалении угловой колонны 1А

Таким образом, опираясь на максимальные значения коэффициентов значимости K_{sijf} и K_{ijf}^d для колонн возможно оценить объемы последствий от их отказа, а следовательно и их уровень ответственности. Исследование подтвердило, что максимальный уровень ответственности, вызывающий максимальную площадь перекрытия, перешедшего в запрельное состояние,

имеют колонны 1-3 наружных рядов, соответственно по буквенным и цифровым рядам и угловой колонны второго ряда.

В третьей главе исследовано назначение коэффициентов значимости по относительной вероятности отказа колонн.

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

$$P_f = P_{rob} \{g(x_1, x_2, \dots, x_n) < 0\} = \int_{\Omega_n} \dots \int f(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n, \quad (3)$$

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 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

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

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 данной постановке R и Q рассматриваются как случайные величины.

Вероятность отказа есть вероятность реализации неравенства:

$$P_f = P_{rob} \{g = R - Q < 0\} = \int_{-\infty}^0 f_g(g) dg, \quad (4)$$

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:

$$f_g(g) = \int_{-\infty}^{\infty} f_R(g + Q) f_Q(Q) dQ, \quad (5)$$

где f_R – плотность распределения несущей способности R ;

f_Q – плотность распределения нагрузочного эффекта Q .

С учетом (4) и (5) вероятность отказа будет равна:

$$P_f = \int_{-\infty}^{\infty} f_Q(Q) F_R(Q) dQ \text{ или } P_f = 1 - \int_{-\infty}^{\infty} f_R(R) F_Q(R) dR, \quad (6)$$

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:

$$m_g = m_R - m_Q; \quad (7)$$

$$s_g = \sqrt{s_R^2 + s_Q^2}, \quad (8)$$

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 возможно различными методами (при определенных допущениях).

При решении поставленной задачи определения значений коэффициентов надежности по ответственности отдельных несущих элементов был использован метод статистических испытаний.

В методе производится 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

$$\nu = \frac{k}{m} \approx P_f. \quad (9)$$

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 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 $R_{арм}$, прочность бетона $R_{бет}$, а также величина временной равномерно распределенной нагрузки на перекрытия F . Все рассматриваемые случайные величины приняты распределенными по нормальному закону.

В результате расчетов, были получены реализации исходных случайных величин, а также соответствующие, полученные методом статистических испытаний, площади симметричного и несимметричного армирования для каждой из рассматриваемых колонн. Полученные значения площадей армирования для каждой из колонн были аппроксимированы нормальным законом распределения.

На основании проделанного анализа была определена вероятность отказа для каждой из колонн (таблица 2), с помощью функции распределения нормального закона:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{(x - m_x)^2}{2s_x^2}\right) dx. \quad (10)$$

Таблица 2 – 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 был вычислен соответствующий риск $Risk$:

$$Risk = P_f \cdot U, \quad (11)$$

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 – $U = 1$).

Условно примем риск для средней колонны равным 1, тогда, используя (11), можно получить поправочные коэффициенты значимости для остальных несущих элементов нижнего яруса (колонн) из условия равенства рисков. Полученные коэффициенты значимости относительной вероятности отказа колонн (P_{fijf}) приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Коэффициенты значимости относительной вероятности отказа

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

Предложенная вероятностная методика оценки надежности несущих элементов каркаса на основе метода статистических испытаний теории надежности строительных конструкций позволила получить для средних, крайних и угловых колонн нижнего яруса поправочные коэффициенты, которые дали возможность определить коэффициенты значимости как показатели по уровню ответственности колонн для последующего установления коэффициентов надежности по ответственности для отдельных элементов из условия равенства рисков при возможных аварийных ситуациях.

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

В четвертой главе приведены результаты исследований, позволяющие учитывать полученные в главах 2 и 3 показатели ответственности для

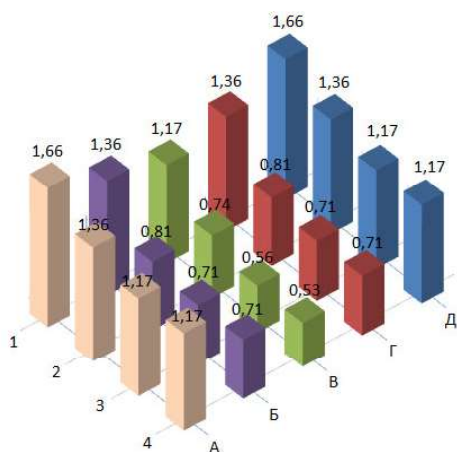
определения дифференцированного уровня ответственности несущих конструкций многоэтажных каркасных зданий.

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.

На рисунке 4 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 показателей K_{siff} относительных площадей в плане имеет одинаковый характер. Максимальная величина относительной площади K_{siff} приходится на угловую колонну. Следующей колонной по величине параметра K_{siff} 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_{siff} следует принять ближайшую к угловой среднюю колонну на пересечении осей «2-Б». К пятому уровню величины K_{siff} можно отнести колонны остальных средних рядов.

При назначении уровня ответственности несущих конструкций предлагается учитывать величину догружения (перераспределения) усилий, при отказе несущего элемента, на смежные конструкции. Расчетный анализ перераспределения усилий вследствие отказа колонн, имеющих различное расположение в плане и по этажам, показал, что численные значения коэффициента догрузений (K_{ijf}^d) в основном зависят от расположения удаляемой колонны в плане.

а)



б)

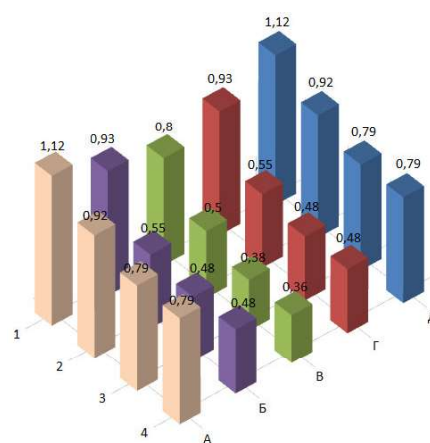


Рисунок 4 – Коэффициенты значимости по относительной площади разрушения перекрытий K_{siff} при отказе соответствующей колонны первого этажа: а – линейный расчет; б – расчет с учетом нелинейности

Максимальную величину догружения колонн следует принять как коэффициент значимости по догружению K_{ijf}^d , вследствие перераспределения усилий.

Определение догрузений соседних колонн первого этажа представлено на рисунке 5. Максимальное догружение достигает 54% при отказе крайней второй колонны по осям «2» и «Б». Следовательно, по критерию перераспределения усилий наиболее ответственными являются колонны по осям 1А и 1Б. В случаях отказа средних колонн догружение не превышает 23%, т.е. их отказ с принятой величиной догружения не приведет к обрушению соседних колонн.

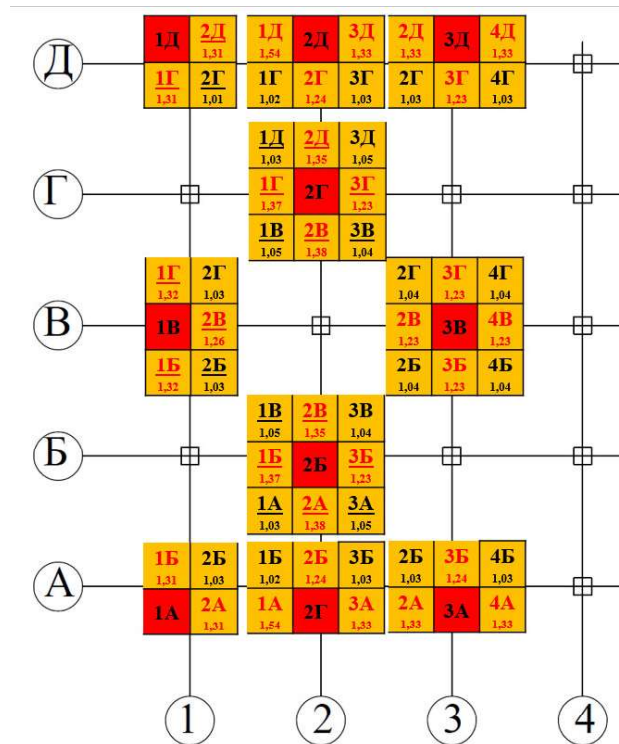


Рисунок 5 – Распределение коэффициентов догружения смежных колонн при отказе колонн 1-го этажа

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.

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

$$\gamma_{nkijf} = F(K_{sijf}, K_{ijf}^d, P_{fijf}) \quad (12)$$

где K_{sijf} – коэффициент значимости по относительной площади разрушений;

K_{ijf}^d – коэффициент значимости по догружению колонны;

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

В таблице 4 приведены усредненные значения коэффициентов значимости колонн в зависимости от их расположения в плане.

Таблица 4 – Величины коэффициентов значимости для колонн по 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	

Проведённые исследования показали, что значения усредненных коэффициентов значимости изменяются в пределах от 1,0 до 1,5.

Предлагается установить максимальное значение коэффициента надежности по ответственности отдельных несущих конструкций в соответствии с указаниями ГОСТ 27751 $\gamma_{nk}=1,1$, а минимальное $\gamma_{nk}=0,9$.

Учитывая значительный диапазон значений коэффициентов значимости предложено ввести 5 уровней ответственности элементов и соответствующих им величин коэффициентов надежности.

1 – несущие элементы, отказ которых может привести к лавинообразному обрушению здания - $\gamma_{nk}=1,1$;

2 – несущие элементы, отказ которых приведет к обрушению только части здания - $\gamma_{nk}=1,05$;

3 – несущие элементы, отказ которых может привести к обрушению смежных элементов $\gamma_{nk}=1,00$;

4 – несущие элементы, отказ которых приведет к нарушению условий эксплуатации $\gamma_{nk}=0,95$;

5 – несущие элементы, отказ которых не нарушит условий эксплуатации $\gamma_{nk}=0,9$.

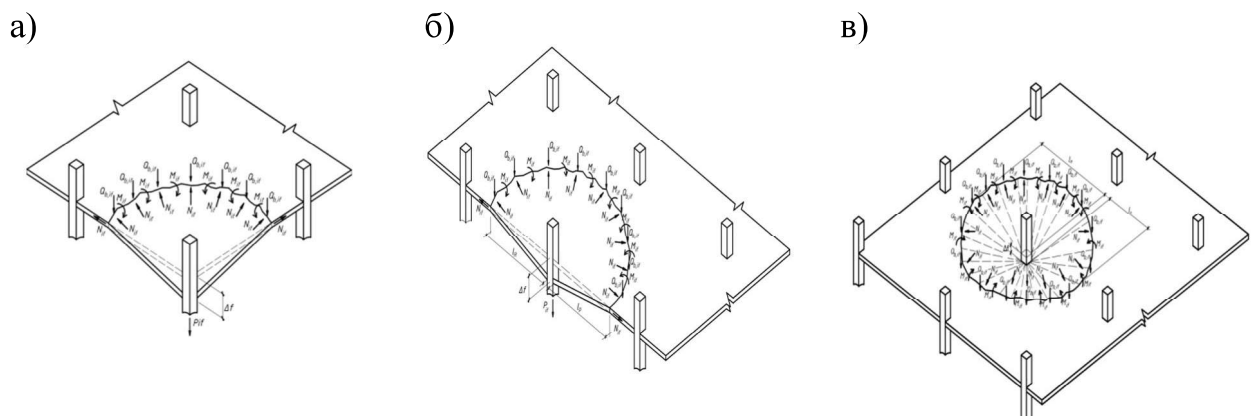


Рисунок 6 – Схема деформирования монолитного перекрытия при отказе угловой (а), крайней (б) и средней (в) колонн

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

1-я 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

$$\begin{cases} M_{xz,f(yz,f)} \gg [M_{b,ult}]; Q_{z,f} \gg [Q_{b,sh}]; & N_{xy,f}^{cs} \gg [N_{s,ult}^{(u)}]; \\ M_{xz,f(yz,f)} \gg [M_{s,ult}^{(u)}]; & N_{xy,f}^{cs} \gg [N_{s,an}^{(u)}], \end{cases} \quad (13)$$

где $M_{xz,f(yz,f)}$ – максимальный погонный изгибающий момент от суммарного вертикального усилия, действующего на рассматриваемом уровне по вертикали и оси 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; $Q_{z,f}$ – внешняя нагрузка по оси Z, действующая по линии излома на рассматриваемом участке перекрытия; $N_{xy,f}^{cs}$ – 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.

2 зона - схема обрушений перекрытий на выше расположенных этажах, соответствующая особому предельному состоянию, когда отсутствуют обрывы рабочей арматуры и нарушения сцеплений арматуры с бетоном. Условия, при которых проявляется указанная схема разрушения имеет вид

$$\begin{cases} M_{xz,f(yz,f)} \gg [M_{b,ult}]; Q_{z,f} \gg [Q_{b,sh}]; & N_{xy,f}^{cs} \leq [N_{s,ult}^{(u)}]; \\ M_{xz,f(yz,f)} \gg [M_{s,ult}^{(u)}]; & N_{xy,f}^{cs} \leq [N_{s,an}^{(u)}], \end{cases} \quad (14)$$

здесь приняты те же обозначения, что в 1 зоне.

3 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. Условия соответствия записываются в виде

$$\begin{cases} M_{xz,f(yz,f)} \leq [M_{b,ult}]; Q_{z,f} \leq [Q_{b,sh}]; \\ M_{xz,f(yz,f)} \leq [M_{s,ult}^{(u)}]; \end{cases} \quad (15)$$

4 зона - характеризуется состоянием участков перекрытий с нарушением условий нормальной эксплуатации, основными критериями для их оценки являются прогибы и ширина раскрытия трещин. Условия соответствия записываются в виде

$$\begin{cases} M_{xz,f(yz,f)} \leq [M_{b,ult}]; \\ M_{xz,f(yz,f)} \leq [M_{s,ult}]; a_{crc,f} \gg [a_{crc}]; f_f \geq [f_{ult}]. \end{cases} \quad (16)$$

5 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

$$\begin{cases} M_{xz(yz)} \leq [M_{b,ult}]; \\ M_{xz(yz)} \leq [M_{s,ult}]; M_{xz(yz)} \leq [M_{crc}]; f \leq [f_{ult}]. \end{cases} \quad (17)$$

Развитие разрушений для каждой зоны выполнялось в последовательности:

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

- превышение изгибающим моментом несущей способности сечения 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 либо обрушается, для средних участков перекрытий возможен переход в вантовую систему с возможным последующим обрушением.

Предельные изгибающие моменты, воспринимаемый сечением перекрытия соответственно по бетону и арматуре определяются

$$\begin{aligned} M_{b,ult} &= \xi_R h_0 b z_b R_{b,ser} \approx 0,8 \xi_R h_0^2 b R_{b,ser} \\ M_{s,ult} &= \sigma_B \sum A_s z_b \approx 0,8 h_0 \sigma_B \sum A_s, \end{aligned} \quad (18)$$

где b – принятая ширина части перекрытия;

$R_{b,ser}$ – нормативное сопротивление бетона сжатию;

σ_B – временное сопротивление арматуры разрыву.

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

$$Q_{z,f} = 0,5 R_{bt,ser} b h_0. \quad (19)$$

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

$$N_{xy,f} \gg \sigma_B \sum A_s. \quad (20)$$

Проверку анкеровки арматурных стержней производим по выражению

$$N_{xy,f} \gg R_{s,ser} \sum A_s \frac{l_s}{l_{an}}, \quad (21)$$

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

$$\begin{aligned} M_{b,ult} &\approx 0,8\xi_R h_0^2 b R_{b,ser}; \\ M_{s,ult} &\approx 0,8h_0 R_{s,ser} \sum A_s. \end{aligned} \quad (22)$$

Выражение для оценки прочности сечений перекрытий по поперечной силе и достаточной анкеровки арматуры будет иметь вид (19 и (21).

Условие превышения предельного состояния при изгибе по нормальным сечениям перекрытий для третьей зоны

$$\begin{aligned} M &\geq R_b b \xi_R h_0 z_b + R_{sc} A'_s (h_0 - a'); \\ M &\geq R_s A_s z_b; \\ M &\geq M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pl}; \end{aligned} \quad (23)$$

$$a_{crc} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s \gg [a_{crc}],$$

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

Неравенства, свидетельствующие о напряженно-деформированном состоянии перекрытия, соответствующие четвертой зоне можно представить в виде

$$\begin{aligned} M &\leq R_b b \xi_R h_0 z_b + R_{sc} A'_s (h_0 - a'); \\ M &\leq R_s A_s z_b; \\ a_{crc} &= \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s \gg [a_{crc}]; \\ f &\gg [f_{ult}]. \end{aligned} \quad (24)$$

В пятой зоне напряженно-деформированное состояние перекрытия должно удовлетворять требованиям первой и второй группам предельных состояний

$$\begin{aligned} M &\leq R_b b \xi_R h_0 z_b + R_{sc} A'_s (h_0 - a'); \\ M &\leq R_s A_s z_b; \\ a_{crc} &\leq [a_{crc}]; \\ f &\leq [f_{ult}] \end{aligned} \quad (25)$$

Таким образом, видно, что границы представленных зон по вертикали меняются и зависят от расположения колонны в плане. На рисунке 7 приведен пример состояния перекрытий при отказе угловой и средней колонн.

Распределение коэффициентов надежности по ответственности для колонн с учетом симметрии показано на примере колонн по оси А (см. рисунок 8). Общая сумма коэффициентов составила 0.98. Таким образом возможный экономический эффект от использования коэффициентов надежности несущих конструкций по ответственности может составить 2%.

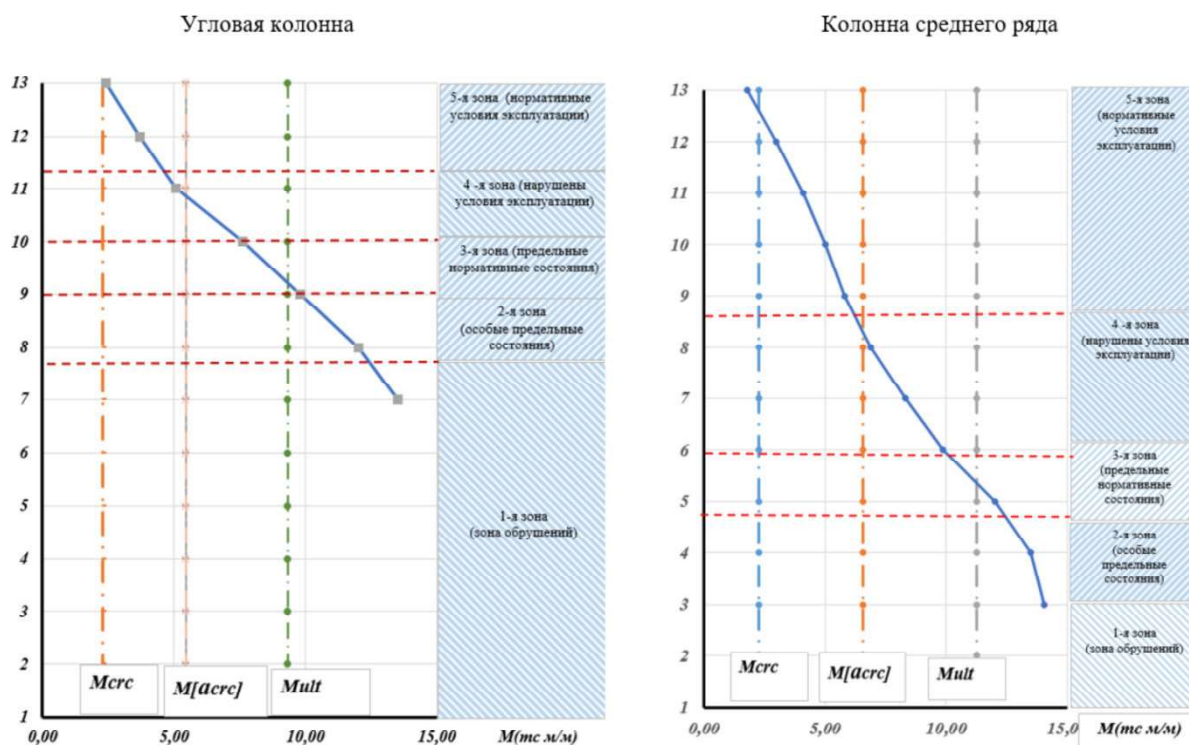


Рисунок 7 – Состояние перекрытий по этажам при отказе угловой и средней колонн первого этажа

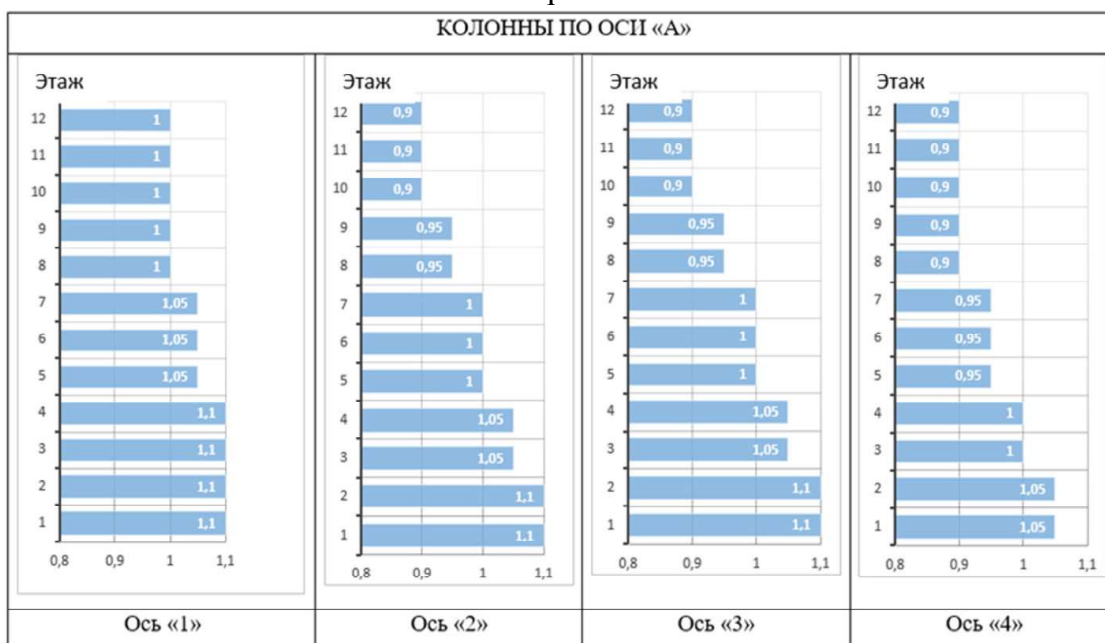


Рисунок 8 – Распределение коэффициентов надежности по ответственности для колонн по оси А

Заключение

На основе выполненной работы можно сделать следующие выводы:

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.

Рекомендации по использованию результатов диссертации. Полученные в настоящей работе результаты, включая методики определения коэффициентов значимости (показателей ответственности) и методику определения коэффициентов надежности по ответственности вертикальных несущих элементов, целесообразно использовать проектным и научно-исследовательским организациям при проектировании с учетом нормальной эксплуатации, при проектировании защиты от прогрессирующего обрушения при аварийной ситуации и сейсмических воздействиях, а также для оценки фактических значений рисков прогрессирующего обрушения существующих многоэтажных каркасных зданий. Кроме того, полученные результаты работы рекомендуется использовать в учебном процессе при подготовке магистров и аспирантов, а также для совершенствования следующих нормативных документов РФ – СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»; СП 132.13330.2011 «Обеспечение антитеррористической защищенности зданий и сооружений. Общие требования проектирования»; СП 325.1325800.2017 «Здания и сооружения. Правила производства работ при демонтаже и утилизации»; СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения»; СП 430.1325800.2018 «Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования»; ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».

Перспективы дальнейших исследований. 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.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, включенных в перечень ВАК

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.

Щедрин Олег Сергеевич

ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЙ УРОВЕНЬ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ

Специальность 2.1.1 – «Строительные конструкции, здания и сооружения».

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать
Усл.печ.л. 1,5

Заказ №

Формат 60×90/16

Тираж 100 экз.

125475, Россия, г. Москва, ул. Зеленоградская, д. 31, корп. 3, оф. 203, ООО «Бумажник»