

Оглавление

Введение.....	4
1 Состояние вопроса и задачи исследования.	8
1.1 Понятие «Аварийные воздействия»	8
1.2 Последствия аварийных воздействий	11
1.2.3 Анализ и последствия аварийных воздействий	11
1.2.1 Понятия непропорциональное разрушение и прогрессирующее обрушение	17
1.2.2 Виды прогрессирующего обрушения	18
1.3 Обзор существующих нормативных документов и литературы по защите от аварийных воздействий	21
1.3.1 Статьи и публикации на тему конструктивной безопасности.....	21
1.3.2 Нормативные документы по конструктивной безопасности	29
1.3.3 Нормы проектирования и расчета против прогрессирующего обрушения в РФ.....	31
1.3.4 Зарубежные Нормы проектирования и расчета против прогрессирующего обрушения.	38
1.3.5 Сравнение российских и зарубежных норм проектирования для защиты от прогрессирующего обрушения	43
1.4 Анализ основных методов защиты от прогрессирующего обрушения..	46
1.5 Выводы по 1 главе	54
2 Расчетная часть.....	56
2.1 Выбор объекта исследования.....	56
2.2 Расчет первичной конструктивной системы.....	58
2.3 Варианты схем гипотетических разрушений.....	59

2.3 Особенности расчета на устойчивость от прогрессирующего обрушения в ПК «Лира».....	62
2.3 Расчет вторичной конструктивной системы.....	64
2.4 Результаты расчетов.....	73
2.5 Выводы по 2 главе.....	77
3 Мероприятия по защите от прогрессирующего обрушения объекта исследования.....	78
3.1 Повышение устойчивости конструктивными мерами для предотвращения прогрессирующего обрушения.....	78
3.2 Результаты применения конструктивных мер.....	81
3.3 Резервирование прочности.....	88
3.4 Экономическое сравнение резервирования прочности и разгрузочной плиты.....	92
3.5 Выводы по главе 3.....	94
Заключение.....	95
Список используемой литературы и источников.....	97
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	103
Приложение А.....	107
Приложение Б.....	110

Введение

Актуальность темы исследования

За последние десятилетия вопрос безопасности конструкций зданий и сооружений при аварийных воздействиях возникает всё чаще. Связан он, прежде всего, с повышением уровня безопасности населения. Безопасность населения встает под угрозу из-за обрушения и выхода из строя конструкций зданий или сооружений в результате чрезвычайных ситуаций. Характер чрезвычайных ситуаций достаточно разный и непредсказуемый. Наибольшие разрушения конструкций вызывают аварии антропогенного характера.

В связи с последними событиями проблема безопасности жизни населения возрастает. В случае чрезвычайной ситуации в зданиях и сооружениях необходимо предотвратить человеческие потери, поэтому вопрос обеспечения конструктивной безопасности зданий и сооружений при аварийных воздействиях актуален на данный момент.

Степень разработанности

После ряда событий связанных с аварийными воздействиями на конструкции в нормативных документах начинают вводиться поправки и дополнения, включающие необходимость учета аварийных воздействий, однако методик оценки и мероприятий по защите не приводится.

Проведен ряд исследований касательно конструктивной безопасности при чрезвычайных ситуациях. Исходя из исследований, можно выделить основные принципы обеспечения безопасности от аварийных воздействий как при проектировании конструктивными мерами, или за счет расчета рисков, так и на этапе эксплуатации превентивными мерами.

Аварийные воздействия могут быть предусмотрены проектом – величина их риска закладывается в проекте, но в проекте учитывается воздействия, характерные для здания (сооружения) или для местности, где находится объект, например для сейсмоопасных районов. Запроектные

воздействия ни как не учитываются и не нормируются. Другой способ защиты от аварийных воздействий - превентивный – это предупреждение аварийных воздействий или их исключение. Так, например, для жилых домов с газовым оборудованием предлагается ряд мер, таких как профилактические проверки и введение систем автоматического контроля [9]. В зданиях общественного назначения такими мерами являются сигнализации и датчики, предупреждающие о возможной чрезвычайной ситуации. В некоторых источниках [28-32,36] предлагается ряд возможных решений для обеспечения конструктивной безопасности на этапе проектирования от прогрессирующего обрушения, однако единого алгоритма по проектированию зданий и сооружений от аварийных воздействий нет.

Ещё один немало важный факт то, что рассмотрение аварийных воздействий применимо только для зданий и сооружений повышенного уровня ответственности. Согласно ФЗ 384 [40], к зданиям и сооружениям повышенного уровня ответственности относятся здания и сооружения, отнесенные к особо опасным, технически сложным или уникальным объектам. Нужно отметить, что на сегодняшний день большую долю строительства – занимают жилые и общественные здания, отнесенные к зданиям и сооружениям нормального уровня ответственности. При проектировании этих зданий аварийные воздействия никак не рассматриваются и не нормируются, если иного не требует заказчик. Из этого следует вывод, что рассмотрение аварийных воздействий и применение конструктивных мер безопасности от них для зданий и сооружений нормального уровня ответственности – является актуальными задачами на данный момент и требует большей проработки.

Цель:

Повышение устойчивости многоэтажного жилого здания от прогрессирующего обрушения как способ обеспечения безопасности населения при аварийных воздействиях.

Задачи:

- Проведение анализа антропогенных аварийных воздействий и их последствий;
- Обзор методов расчета и защиты от прогрессирующего обрушения;
- Разработка конструктивных решений под определенные аварийные воздействия для исключения прогрессирующего разрушения;
- Расчёт объекта на устойчивость к прогрессирующему обрушению от аварийных воздействий;
- Применение мер по увеличению устойчивости здания к прогрессирующему обрушению;
- Технико-экономическая оценка применения выбранных мер от прогрессирующего обрушения.

Научная новизна

Выявление эффективности простых конструктивных решений для многоэтажных жилых зданий на устойчивость к прогрессирующему обрушению.

Объект исследования

Жилое многоэтажное здание, отнесенное к зданиям нормального уровня ответственности.

Предмет исследования

Прогрессирующее обрушение многоэтажного жилого здания в результате аварийных воздействий.

Методология проведения исследования

Расчет на прогрессирующее обрушение произведен по методу конечных элементов в программном комплексе Лира САПР.

Практическая значимость исследования

Применение простых конструктивных решений для проектирования многоэтажных монолитных зданий от аварийных воздействий.

Научная значимость

Результаты расчетов можно использовать для дальнейшего анализа живучести отдельных элементов при отказе одной из опор.

Публикация работы

Материалы диссертации изложены в 1 опубликованной работе[9].

Научные положения и результаты исследования, выносимые на защиту

На защиту выносятся методика расчета на устойчивость от прогрессирующего обрушения, расчет и анализ результатов, применение разгружающей плиты перекрытия от прогрессирующего обрушения и выявление ее эффективности.

Апробация результатов исследования

Материалы диссертационной работы представлены на научно-исследовательских семинарах кафедры.

Личный вклад автора

- Постановка исследования;
- Реализация расчета на устойчивость к прогрессирующему обрушению;
- Выбор метода повышения устойчивости к прогрессирующему обрушению;
- Анализ результатов и оценка эффективности простых конструктивных решений для повышения устойчивости от прогрессирующего обрушения.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения, списка литературы из 56 наименований, в том числе 15 зарубежных источников. Общий объем работы 110 страниц, включающий 12 рисунков, 10 таблиц, 2 приложения.

1 Состояние вопроса и задачи исследования

1.1 Понятие «Аварийные воздействия»

Аварийное воздействие на объект – это нерегламентированное воздействие, которое создается в результате попадания объекта в аварийную ситуацию и может привести к его аварии. Аварийное воздействие на здание в большинстве случаев всегда чрезвычайная ситуация. В частности это:

1. Природные ЧС, такие, как сейсмические воздействия – для этих воздействий существуют требования по расчету СП 14.13330.2014 [33]. Так же к природным относят – ураганы, торнадо и прочие метеорологические явления. Не менее серьезные последствия имеет образование карстовых воронок и провалов в основании зданий.

2. Антропогенные (в т.ч. техногенные) ЧС. Наиболее тяжелые последствия отмечаются при взрывах и пожарах. Здесь предполагается взрывы в результате террористического акта, неправильной эксплуатации бытового газа и взрывоопасных газовых смесей и жидкостей.

Трудно предугадать заранее действие взрыва на здания, сооружения, оборудование. Больше всего подвергнуты разрушениям от ударной волны и продуктов взрыва большепролетные и высотные здания с легкими несущими конструкциями.

На территории РФ взрывы чаще всего происходят в жилых домах с газовым оборудованием из-за халатного обращения с газовым оборудованием. Такие взрывы приводят к разрушениям целых секций, а иногда и всего здания. В большинстве случаев здания не подлежат восстановлению. При сохранении здания для дальнейшей эксплуатации требуются принятие, как правило, нетривиальных проектных, технологических и организационных решений по восстановлению и усилению несущих конструкций.

Степень разрушения зданий и сооружений можно представить в следующем виде:

- полное – восстановление невозможно;
- сильное – разрушена большая часть перекрытий и стен;
- среднее – разрушены второстепенные конструкции, деформации элементов, требующие устранения;
- слабое – разрушена часть внутренних перегородок, заполнения дверных и оконных проемов.[9]

Степень разрушения производственных комплексов оценивается в зависимости от избыточного давления. Так для промышленных зданий с металлическим каркасом предельное избыточное давление 50-60кПа, для кирпичных многоэтажных зданий 20-30кПа, для открытых складов – 200кПа

Ещё один вид ЧС – транспортная авария, в том числе наезд автомобиля на здание и авиационные катастрофы.

Так же есть ещё ряд причин, способствующих возникновению аварийной ситуации. К ним относятся: ошибки в проектах, нарушение производства работ, дефекты сборных конструкций и низкокачественный используемый материал, небрежность жильцов и управляющих компаний при эксплуатации здания и оборудования в нём.

Указанные в приведенном перечне источники ЧС, по аналогии с классификацией взрывов на производстве, разделены на *проектные* и *запроектные*. Защита зданий при ЧС, вызванных проектными источниками, определяется соответствующими СП.

Помимо прописанных чрезвычайных ситуаций, к аварийным воздействиям относят ударные воздействия, которые в некоторых случаях так же приводят к тяжелым чрезвычайным ситуациям.

Под ударом понимают динамическое контактное взаимодействие различных тел. Аварийные ударные нагрузки на здания и сооружения, так же как сейсмические и аварийные взрывные, относят к особым воздействиям, так как они характеризуются высокой интенсивностью и редкой повторяемостью.

Ударные воздействия характерны для производственных объектов или строящихся зданий и сооружений из-за неправильной эксплуатации строительных кранов.

Удар может возникнуть, например, при возведении многоэтажного здания или многоярусного либо высокого сооружения при аварийном обрыве стропа, при небрежном закреплении груза, неосторожном повороте стрелы крана и т.д.

Горизонтальным ударам подвергаются колонны гаражей, опоры промышленных и транспортных эстакад, стойки уличных фонарей при наездах транспортных средств, опоры мостов и причальных конструкций при навале судов и др.

1.2 Последствия аварийных воздействий

1.2.3 Анализ и последствия аварийных воздействий

Исходя из опыта строительства за последние полвека, можно заключить, что причиной аварий в основном является накопление некоторого количества дефектов или нарушений. По отдельности в большинстве случаев такие дефекты и нарушения не вызывают аварии. Поэтому очень важно выявить наиболее грубые нарушения требований нормативных документов при выполнении ряда работ, таких как проектно-изыскательские и строительно-монтажные. Так же необходимо уделять внимание качеству готовых элементов и выявлять дефекты в них до ввода в эксплуатацию.

В период с 1980 по 1990 года 64 % аварий были связаны с нарушением нормативных требований и отступлением от проектных решений при выполнении строительно-монтажных работ, низким качеством строительных материалов, конструкций и изделий, ошибками в проектах. В 1980-х годах зарегистрировано несколько серьезных аварий из-за нарушений нарушения правил выполнения строительно-монтажных работ в зимнее время. В результате оттаивания бетона в узлах сопряжения и подстилающих слоях происходило смещение конструкций от проектного положения, что приводило к потере устойчивости конструкции.

Из материалов за 2003 год аварии на строящихся и эксплуатируемых зданиях и сооружениях на территории РФ можно разделить на некоторые категории. Категоризация составлена согласно причинам возникновения аварий. Так около 35% приходится на аварии в результате нарушений правил эксплуатации зданий и сооружений. Примерно в таком же количестве аварии в результате нарушений требований нормативных документов и отступление от утвержденных проектов при выполнении строительно-монтажных работ. 11.5% аварий происходит при нарушении технологии производства при демонтаже или реконструкции. Небольшая доля аварий приходится на

низкое качество материалов и готовых сборных конструкций. И последняя причина аварий, составляющая около 4 % аварий – превышение расчетных нагрузок.

Согласно статистике на данный момент рассматриваемая ситуация не улучшилась.

Наиболее уязвимые для аварий считаются высотные здания. В практике мирового строительства аварии в многоэтажных зданиях с железобетонным каркасом составляют от 10 до 20% общего количества аварий.

На основе мирового опыта, накапливаемого несколькими десятилетиями, с каждым годом вводятся новые нормативные документы по проектированию и сдаче в эксплуатацию объектов строительства.

В 1968 году в Лондоне в одной из квартир на 18 этаже 24-х этажного панельного жилого дома произошёл взрыв бытового газа. Панели угловых стен были выбиты, а перекрытия полностью разрушено от силовой волны взрыва. Локальные разрушения в пределах восемнадцатого этажа способствовали разрушению элементов верхних этажей – с 19 по 24 этажи и за счет обрушения всей верхней конструкции разрушению нижележащих этажей – с 17 по 3 этажи. В результате в угловой секции здания полностью разрушились 22. В целостности сохранились только два нижних этажа, выполненных из монолитного железобетона. Причиной разрушения явилась недостаточная надёжность строительной системы дома из-за слабых связей между элементами конструкций. В результате данной аварии при проектировании панельных жилых домов стали учитывать возможность их прогрессивного (цепного) разрушения. Взрыв газа из-за неисправной газовой духовки в угловой квартире на 18 этаже выбил несущую стеновую панель. Вышележащие конструкции, потеряв опору, обрушились. Вследствие ударного воздействия от падающих конструкций и добавочной нагрузки от обломков также разрушились и нижележащие конструкции. В результате, из-за выхода из строя одного элемента произошло обрушение части здания,

несоизмеримо большего объема, чем объем непосредственно-связанных с разрушившимся элементом конструкций.

В здании Ронан Поинт, не смотря на выполнение всех норм и правил при строительстве – прогрессирующее обрушение было неизбежно. Причиной обрушения послужила схема здания, похожая на карточный домик, что не давало перераспределить нагрузку на отдельные элементы и тем самым остановило бы локальное повреждение.

После трагедии появились изменения в нормативной базе Англии – в ноябре 1968 г. были изданы «Стандарты по недопущению прогрессивного обрушения в крупнопанельных конструкциях». В этих стандартах впервые были зафиксированы такие термины, как альтернативный путь нагрузки, сплошность и случайная нагрузка. В апреле 1970 г. эти стандарты стали частью обязательных норм для проектирования сооружений в Англии.

В 1922 году в Вашингтоне обрушилось покрытие над зрительным залом кинотеатра «Никорбокар», при котором погибли 91 человек. Согласно отчетам, причина аварии – перегрузка покрытия снеговым мешком и низкая температура наружного воздуха, вызвавшая дополнительные сжимающие напряжения в верхних поясах стропильных ферм. Это послужило хорошим толчком для того, чтобы при проектировании уделять внимание температурным воздействиям.

В 1940 году в США после 4 месяцев эксплуатации произошло разрушение моста через реку Тэкома. В течении 45 минут в результате динамических колебаний ветра длилось продолжительное обрушение конструкций. Эта катастрофа послужила уроком для инженеров-мостовиков. В настоящее время динамический характер ветровых воздействий учитывается при проектировании сооружений

В 2004 году в России произошло обрушение покрытия аквапарка «Трансвааль парк». При аварии погибло 28 человек и свыше 200 получили ранения. Площадь обрушения составила почти пять тысяч квадратных метров. Купол здания упал на всю водную часть комплекса, кроме бассейна

для взрослых. Уже во время проведения спасательных работ рухнула еще одна часть купола – фрагмент козырька. Причиной аварии явились ошибки, допущенные в проекте оболочки покрытия. В сооружениях применялись тонкостенные бетонные конструкции (пластины, оболочки), протяженность которых намного превышала толщину. Рядом со зданиями и внутри них находились источники механических колебаний (вибраций): в аквапарке работали насосы; рядом с магазином и рынком проходили улицы с интенсивным движением; в ближайшем аэропорту взлетали и садились самолеты. Колебания в начальный период эксплуатации были допускаемые, однако длительное воздействие вибраций привело к росту микродефектов в бетоне. Данная авария вынудила ужесточить контроль при экспертизе строительных проектов в РФ.

В результате террористических действий 11 сентября 2001 года две главные башни комплекса ВТЦ были поражены угнанными коммерческими авиалайнерами. Захватчики направили два лайнера в башни Всемирного торгового центра, расположенные в южной части Манхэттена в Нью-Йорке. Третий самолет – Боинг-757, был направлен в здание Пентагона, расположенное недалеко от Вашингтона.

Согласно данным о происшествии, самолет перед столкновением со зданием Пентагона летел очень низко. На расстоянии около 100 м от западного фасада здания Пентагона самолет отделяло от земли всего несколько десятков метров. Удар произошел на уровне первого этажа под углом около 40 градусов относительно внешнего фасада. Условное представление направления самолета перед столкновением представлено на рисунке 1.1.

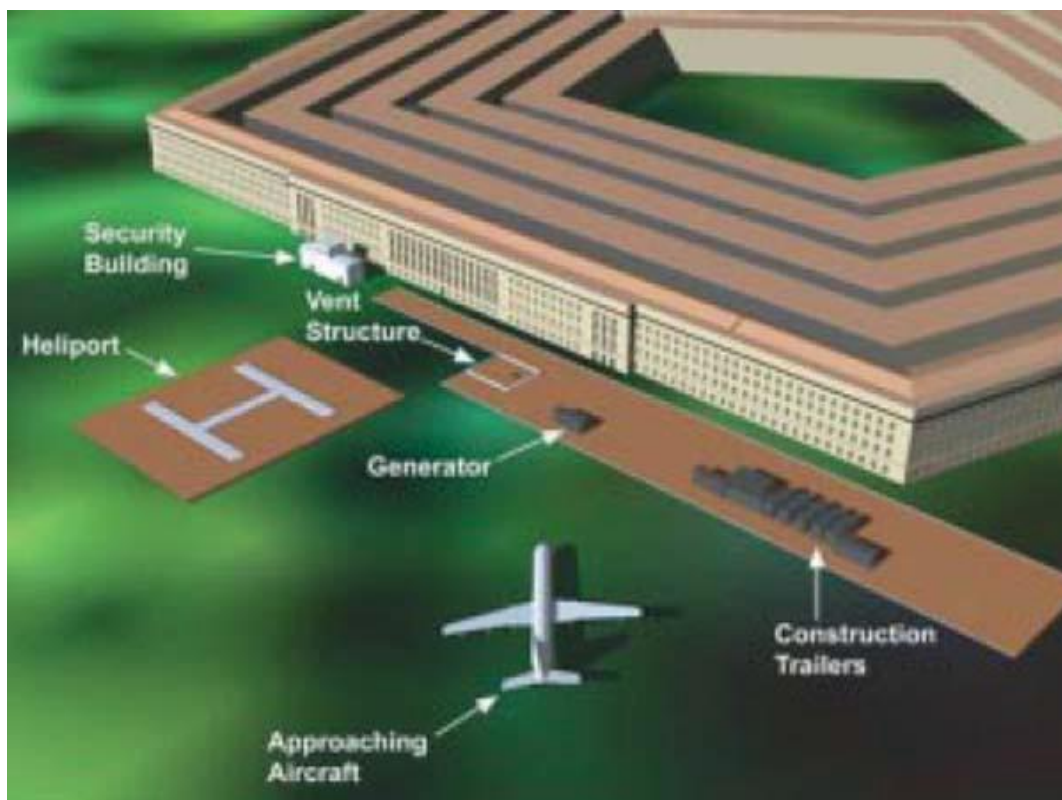


Рисунок 1.1 – Направление движения самолета перед столкновением

Столкновение самолета с рассматриваемым зданием привело к возникновению и развитию ЧС в виде комбинированных особых воздействий типа «удар – взрыв – пожар».

В результате воздействия типа – удар были разрушены основные конструктивные элементы на 1 этаже здания Пентагона. Основной удар приняли на себя несущие элементы здания – железобетонные колонны. При попадании горючих веществ от обломков самолета возникло второе особое воздействие – взрыв, что привело к разрушению ещё ряда конструкций.

Как следствие взрыва – в здании возникает пожар. Огонь распространяется по пути перемещения обломков самолета. Здание Пентагона в первые минуты, несмотря на значительные повреждения конструкций в трех первых кольцах здания, в целом сохранило свою устойчивость. Спустя 19 минут от начала действия всех трех типов комбинированных особых воздействий произошло прогрессирующее обрушение наружного кольца здания Пентагона.[18]

Во время событий 11 сентября 2001 года поведение башен ВТЦ в Нью-Йорке аналогично по сравнению с взрывом в здании Пентагона. Две уникальные 110-этажные башни ВТЦ были способны выдержать отдельные особые воздействия пожара, взрыва и удара и в этом случае их прогрессирующее разрушение не должно было произойти. Прогрессирующее разрушение этих двух уникальных зданий во время событий 11 сентября 2001 года явилось следствием комбинированного характера трех особых воздействий типа «удар-взрыв-пожар».

1.2.1 Понятия непропорциональное разрушение и прогрессирующее обрушение

Непропорциональное разрушение – разрушение здания или его части при непредвиденном воздействии, несоразмерное величине воздействия, вызвавшего такое разрушение [42].

Прогрессирующее обрушение – разрушение конструкций строительного сооружения, когда локальное разрушение приводит к разрушению смежных элементов конструкции из-за потери ими опоры и/или от нагружения весом и динамическим воздействием обломков ранее разрушенных конструктивных элементов здания, сооружения и его содержимого [19].

Прогрессирующее обрушение описывает характер разрушения, а непропорциональное разрушение – величину последствий.

Прогрессирующее обрушение характеризуется возникновением цепной реакции, когда последствия исходного воздействия или локального разрушения становятся причиной разрушения смежных элементов, которое, в свою очередь, передает воздействие дальше и зачастую увеличивает его в геометрической прогрессии.

1.2.2 Виды прогрессирующего обрушения

Можно выделить следующие типы механизмов развития прогрессирующего обрушения [55]:

Слоёный пирог – разрушение вертикального несущего элемента приводит к обрушению вышележащих конструкций на перекрытия и конструкции нижележащих этажей. На нижележащие конструкции добавляется вес обломков и кинематическая энергия от их падения. Примером такого типа является разрушения башен WTC в Нью-Йорке.

Зиппер – разрушение несущего элемента, как правило, удерживающего типа, например ванты моста или грунтового анкера подпорной стены. С выходом из строя элемента удерживаемое им усилие передается на соседние элементы, превышает их несущая способность и они разрушаются. Далее происходит цепная реакция.

Примером такого типа является разрушение моста Такома в 1940 году от флаттера, вызванного сильным ветром.

Домино – разрушение одного из рядом расположенных вертикальных несущих элементов, как правило, в виде опрокидывания или потери устойчивости положения. При опрокидывании первый элемент воздействует на другой, и так далее.

Концентратор – хрупкое разрушение вследствие развития трещины или иного дефекта в растянутой зоне сечения несущего элемента. Увеличение трещины или дефекта приводит к значительному увеличению напряжений в зоне концентратора напряжений и инициирует дальнейшее развитие трещины. Последствием является внезапное хрупкое разрушение элемента.

Смешанный тип – сложный характер прогрессирующего обрушения, для которого возможно выделить разные вышеописанные типы развития разрушения.

1.2.4 Живучесть конструкций

Анализ аварий промышленных и гражданских сооружений показывает, что во многих случаях процесс разрушения конструкции носил лавинообразный характер, если отказ отдельных элементов и подсистем (даже неполный) инициировал возникновение других, более серьезных отказов и разрушений. Однако имеются и многочисленные примеры систем, где изолированные отказы отдельных элементов не приводят к аварии, что связано с некоторыми резервными возможностями, присущими структуре системы.

Свойство системы сохранять несущую способность при выходе из строя одного или нескольких элементов естественно называть живучестью.

В ГОСТ 27.002-89 понятие «живучесть» – это способность объекта противостоять развитию критических отказов из дефектов и повреждений, сохранять ограниченную работоспособность при выходе из строя некоторых конструктивных компонентов [8].

Еще одна из трактовок живучести – это свойство конструкции частично или полностью обеспечивать свое функциональное назначение (работоспособность) при отказе отдельных конструктивных элементов.

При создании новых систем, для которых сведения о надежности аналогов отсутствуют, а также для систем, функционирование которых может быть связано с реализацией весьма интенсивных редких воздействий аварийного характера, перед инженером-проектировщиком стоит задача - как создать систему, которая могла бы функционировать (возможно, с резко ухудшившимся качеством) в условиях возможного отказа какой-то ее части. Применительно к строительным объектам понятие живучести начало развиваться существенно недавно, в первую очередь, применительно к сейсмостойкому строительству. В частности, появилась идея выделения так называемых главных несущих конструкций – далее «ключевых элементов», безотказность которых обеспечивает здание или сооружение от полного

разрушения при аварийных воздействиях, даже если его дальнейшее использование по назначению окажется при этом невозможным без капитального ремонта. В нормах США и Канады введено такое понятие, как «целостность» (inplegrity) сооружения.

1.3 Обзор существующих нормативных документов и литературы по защите от аварийных воздействий

1.3.1 Статьи и публикации на тему конструктивной безопасности

Конструктивная надежность здания обеспечивает безопасность работы здания в целом и безопасность населения, поэтому вопрос безопасности конструкций встает в первую очередь при проектировании. Варианты обеспечения конструктивной безопасности при аварийных воздействиях прорабатываются каждый год. Тема очень актуальна, так как до сих пор не решено много вопросов связанных с обеспечением безопасности при аварийных воздействиях.

Наиболее часто прорабатываются варианты обеспечения конструктивной безопасности на стадии разработки проекта.

Обеспечение безопасности от аварийных воздействий достигается различными путями. Многие авторы акцентируют внимание на проектных рисках:

В статье [22] автором установлено ограничение на величину максимально допустимого проектного риска аварии строительных объектов и разработан метод его контроля.

Приведена таблица с примерным перечнем опасных ошибок проектных решений.

Мельчаков А.П. утверждает, что для уникальных и сложных в исполнении зданий необходимо в обязательном порядке производиться оценка и контроль проектных рисков. Особенно, это касается зданий и сооружений с массовым скоплением людей.

Похожую проблему рассматривает в статье [41] Шлейков И.Б. В статье изложена технология регулирования уровня конструктивной безопасности здания (сооружения) на стадии проекта, которая включает в себя экспертизу проекта, оценку надёжности услуг предполагаемых участников

строительства и прогноз риска аварии строительного объекта до его физической реализации.

Авторы статьи [21] описали основные положения свода правил, предназначенного для снижения негативного влияния человеческого фактора на уровень конструктивной безопасности зданий и сооружений. В основу свода правил положен стандарт на величину риска аварии. Для регулирования риска аварии строительного объекта задействованы процедуры сертификации и страхования.

Авторами Байбуриным Д.А. и Казаковой Е.А. в статье [4] описывается связь между теоретической и фактической вероятностями аварии, что, по сути, является показателем конструктивной безопасности. Прописан подход к решению проблемы строительной безопасности на основе независимого контроля риска аварии зданий и сооружений в процессе их создания и эксплуатации.

В статье А.К. Ерёмина [14] «Риск аварийного обрушения зданий и сооружений» разработана методика оценки риска аварийного обрушения. Она позволяет снизить тяжесть социальных и экономических последствий возможных аварий зданий и сооружений, спровоцированных внезапными и непредвиденными факторами риска, минимизировать затраты путем определения наиболее аварийных участков здания и предупреждения аварийного обрушения.

Методика обобщает предложения Мельчакова А.П. и Шлейков И.Б. включает в себя количественную оценку риска аварийного обрушения зданий и сооружений путем:

- выявления потенциального риска аварии зданий с накопленными дефектами и повреждениями ;
- расчета фактического риска аварийного обрушения эксплуатируемых зданий и сооружений;
- расчета предельно допустимого уровня риска аварийного обрушения зданий и сооружений.

- составления карт дефектности зданий и сооружений.

Выявление риска аварии рекомендуется проводить в три стадии:

1. Предварительный анализ опасности.
2. Выявление последовательности опасных ситуаций.
3. Анализ последствий.

Все вышеуказанные авторы не однократно упоминают риски аварии.

Из изложенных статей можно заключить, что испытания фактического риска дадут наиболее точные сведения о конструктивной безопасности возводимого здания (сооружения).

Другой вариант защиты от аварийных воздействий – это расчет на эти самые воздействия. Здесь необходимо отметить всю сложность расчетов, с учетом физической и геометрической нелинейности. Так же достаточно сложно определить величину воздействия и её динамический характер.

Иващенко Ю.А. предлагает в статье [14] расчётную модель, учитывающую физическую нелинейность объекта, включая принципы теории пластичности – как вариант обеспечения надёжности.

В статье рассматриваются вопросы, связанные с обеспечением безопасности зданий и сооружений при проектировании их из железобетона в связи с действием закона № 384 ФЗ от 30.12.2009 г. Автор рассказывает об опытной проверке отдельных положений закона в той части, где на надёжность строительных конструкций влияют внутренние усилия в элементах конструкций, показывая необходимость уточнения отдельных положений закона.

Как обеспечение надёжности зданий и сооружений Иващенко Ю.А. предлагает дополнительные соединительные элементы, чтобы уменьшить деформации конструкции.

В следствии аварийных воздействий при выходе из строя некоторых элементов может возникнуть прогрессирующее обрушение. Методы защиты от прогрессирующего обрушения – одна из актуальнейших тем среди научных исследователей.

Так, например, Клюева Н.В., Андросова Н.Б. предлагают следующие варианты обеспечения безопасности зданий от прогрессирующего воздействия [15, 16], дополняющие статью Иващенко Ю.А.:

1. Метод создания альтернативных путей силового сопротивления, при которых обеспечивается сохранение несущей способности конструктивной системы после выключения одного из конструктивных элементов и разрушения локализуются. Примером такого решения является разрезка статически неопределимой конструктивной системы каркаса здания шарнирными вставками на отдельные блоки (рис. 1.2), при разрушении элементов в которых динамические догрузки локализуются в пределах одного блока.

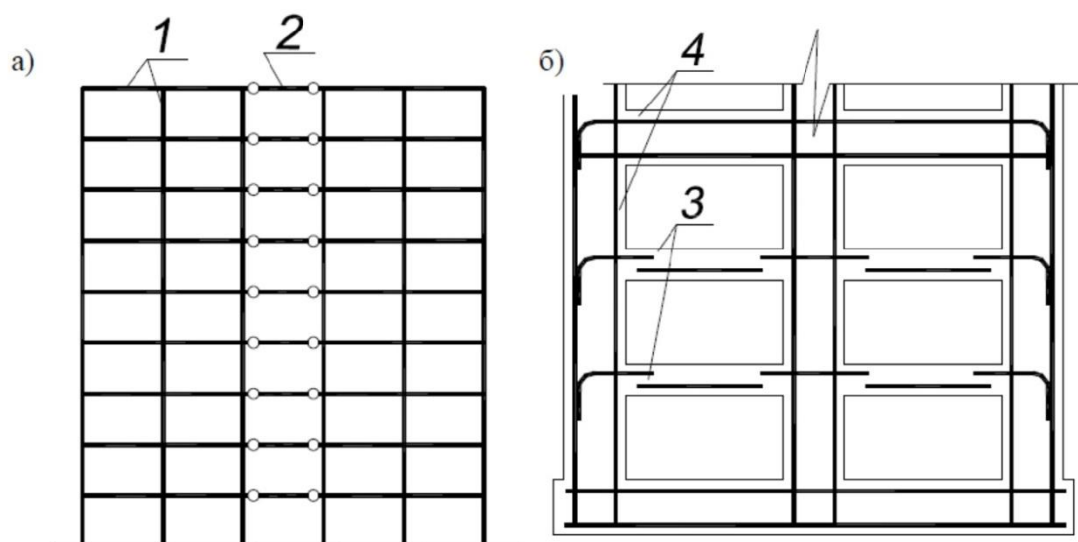


Рисунок 1.2 – Конструктивные схемы защиты железобетонных каркасов зданий от прогрессирующего разрушения: 1, 2 – элементы с жесткими и шарнирными сопряжениями в узлах; 3, 4 – элементы с обычным и повышенным сопротивлением запроектным воздействиям

2. Метод создания локальных зон повышенного сопротивления. Когда все здание или его часть обладают повышенным сопротивлением к возможным запроектным воздействиям в случае аварий. Например, это

может быть создание сечений ключевых несущих элементов повышенной жесткости с мощным двойным армированием.

3. Метод структурного синтеза конструктивной системы с созданием наперед заданных требований эффективно выполняющих функциональные свойства. В этом случае проектирование конфигурации конструктивной системы включает определение ее топологии, геометрии и параметров армирования сечения. На практике часто топологию и геометрию системы принимают заданными, и это определяет самый низкий уровень постановки проектной задачи по защите от прогрессирующего разрушения. Самым высоким уровнем защиты следует признать решение проектной задачи при неизвестной топологии.

4. Эффективная защита может быть применением комбинированного метода в виде поиска эффективной топологии и рационального формирования структуры элементов конструктивной системы в отношении упругопластических свойств материалов, коэффициентов анизотропии и др.

Уже на стадии эксплуатации важно оценить возможность продления срока здания или сооружения. В статье [5] рассмотрена данная проблема современного состояния многих эксплуатируемых зданий и сооружений – оценка возможности продления их срока службы на основе реальной надежности конструкций. Оценена возможность проведения реконструкции несущих конструкций зданий и сооружений с учетом требований по сейсмичности площадки на примере конструктивной схемы здания Баксанской гидроэлектростанции.

При аварийных ситуациях достаточно часто происходят непредвиденные запроектные разрушения. Так, например, участвовавшие случаи взрывов бытового газа в жилых домах несут за собой непоправимые разрушения.

Последствия при аварийных взрывах описаны в статье [17]. Рассмотрены основные причины обрушения жилых газифицированных зданий при аварийных взрывах.

Согласно автору, основные причины – это малая несущая способность зданий относительно горизонтальных нагрузок, что применимо в большинстве случаев к кирпичным зданиям и установка усиленных вариантов остекления.

В МГСУ прорабатывалась проблема обеспечения безопасности зданий и сооружений в связи с участвовавшими террористическими угрозами.

Комбинации рабочих (эксплуатационных) нагрузок и «форс-мажорных» дополнительных нагрузок на строительные объекты во время чрезвычайных ситуаций предлагается называть «комбинированными особыми воздействиями». В качестве аббревиатуры этого понятия используется английский вариант названия «combined hazardous effect» – «СНЕ». Сюда авторы относят такие воздействия техногенного характера, как удар (I), взрыв (E), пожар (F), нагрузка (S) и т.д.

В данных работах [24,38] используя эти понятия, описывают причины прогрессирующего обрушения наружного кольца здания Пентагона. Так же описывается особый характер опасности комбинированных особых воздействий с участием пожара на здания и сооружения, в частности на башни Всемирного торгового центра в Нью-Йорке, и на Останкинскую телевизионную башню.

Проблеме обеспечения безопасности зданий от прогрессирующего обрушения при аварийных воздействиях посвящены работы Алмазова В.О. [1-3], Ведякова И.И.[6], Гениева Г.А.[7], Расторгуева Б.С. [26], Тамразяна А.Г. [37], Powell G. [51], Pretlove, A.J., Ramsden M. и Atkins A.G. [52] и других ученых.

Авторы отмечают насколько важно учитывать динамический эффект при прогрессирующем обрушении, однако влияние динамического эффекта снижается с ростом пластических деформаций. Здесь нужно отметить

значимость геометрической нелинейности при расчете. Введение коэффициента динамичности отражает результат динамического эффекта.

Отношение максимального динамического перемещения к статическому при одной и той же нагрузке есть ничто иное как динамический коэффициент. Коэффициент динамичности по нагрузке K_{dv} – это отношение статической нагрузки к динамической, в результате которых достигаются одни и те же величины перемещений.

В зарубежных нормах UFS и GSA принимается для расчетов динамический коэффициент равный 2,0. В статье [49] авторы утверждают что, значение динамического коэффициента равное 2 уже не актуально. Для учета тяжелых динамических эффектов, возникающих при быстрых динамических событиях, таких, как взрывы или удары, были выполнены динамические линейные и нелинейные анализы. В результате расчетов, фактическое значение глобального динамического коэффициента найдено практически для трех сценариев в диапазоне от 1,72 до 1,87 (максимум двух значений, достигнутых в балках и колоннах). Интересно отметить, что динамический коэффициент вычисляется из перемещений в диапазоне от 1,46 до 1,6 и, таким образом, что недооценивает динамический эффект.

Авторы Pretlove A.J., Ramsden M. и Atkins A.G. [52] обратили внимание на учет перераспределения усилий в результате динамических воздействий. В их работах обосновывается неточность статического анализа, использовавшегося для прогноза прогрессирующего обрушения зданий.

В материалах [26] автором рассматривается применение метода динамического расчета для многоэтажного плоского каркаса при выходе из строя вертикального элемента, в частности колонны, в случаях прогрессирующего обрушения части здания и потере общей устойчивости здания. Наиболее опасное разрушение – это мгновенное разрушение колонны. Расчет предполагается для системы балок каркаса. Учет пластических деформаций производился с использованием пластических шарниров, работающих в опорных и пролетных (у поврежденной колонны)

сечениях. Общая устойчивость поврежденной рамы (при исключении крайнего участка) в виде консольной системы с сосредоточенными массами также была рассмотрена в этой работе.

1.3.2 Нормативные документы по конструктивной безопасности

В Федеральном законе Российской Федерации [40] прописаны минимально необходимые требования к зданиям и сооружениям в частности по пожарной безопасности и безопасности при опасных природных процессах и явлениях и (или) техногенных воздействиях;

Статья 8. Требования пожарной безопасности

Здание или сооружение должно быть спроектировано и построено таким образом, чтобы в процессе эксплуатации здания или сооружения исключалась возможность возникновения пожара, обеспечивалось предотвращение или ограничение опасности задымления здания или сооружения при пожаре и воздействия опасных факторов пожара на людей и имущество, обеспечивались защита людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара и (или) ограничение последствий воздействия опасных факторов пожара на здание или сооружение, а также чтобы в случае возникновения пожара соблюдались следующие требования:

1) сохранение устойчивости здания или сооружения, а также прочности несущих строительных конструкций в течение времени, необходимого для эвакуации людей и выполнения других действий, направленных на сокращение ущерба от пожара;

2) ограничение образования и распространения опасных факторов пожара в пределах очага пожара;

3) нераспространение пожара на соседние здания и сооружения;

4) эвакуация людей (с учетом особенностей инвалидов и других групп населения с ограниченными возможностями передвижения) в безопасную зону до нанесения вреда их жизни и здоровью вследствие воздействия опасных факторов пожара;

5) возможность доступа личного состава подразделений пожарной охраны и доставки средств пожаротушения в любое помещение здания или сооружения;

б) возможность подачи огнетушащих веществ в очаг пожара;

7) возможность проведения мероприятий по спасению людей и сокращению наносимого пожаром ущерба имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений.

Статья 9. Требования безопасности при опасных природных процессах и явлениях и (или) техногенных воздействиях

Здание или сооружение на территории, на которой возможно проявление опасных природных процессов и явлений и (или) техногенных воздействий, должно быть спроектировано и построено таким образом, чтобы в процессе эксплуатации здания или сооружения опасные природные процессы и явления и (или) техногенные воздействия не вызывали последствий, указанных в статье 7 настоящего Федерального закона, и (или) иных событий, создающих угрозу причинения вреда жизни или здоровью людей, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений.

В ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований» [11] прописано, что строительные конструкции и основания должны быть запроектированы таким образом, чтобы они обладали достаточной надежностью при возведении и эксплуатации с учетом, при необходимости, особых воздействий (например, в результате землетрясения, наводнения, пожара, взрыва).

1.3.3 Нормы проектирования и расчета против прогрессирующего обрушения в РФ

В России до сих пор актуализируются всё новые требования к расчетам по устойчивости к прогрессирующему обрушению. Большие сложности возникают из-за учета физической нелинейности. Коэффициент динамичности разнится в разных документах, как в России, так и за рубежом. Нужно отметить, что нормы и рекомендации в России акцентированы именно на железобетонные конструкции.

Среди нормативных документов РФ (в то время СССР) термин «прогрессирующее» обрушение впервые зафиксирован в «Пособии по проектированию жилых зданий к СНиП 2.08.01-85. Вып. 3»

СП 20.13330.2011 «Нагрузки воздействия»

Основы метода расчета по предельным состояниям и нормирование уровня надежности конструкций были разработаны учеными ещё в послевоенное время.

Согласно СП [34], определение усилий и деформаций от различных воздействий в конструкциях и в образуемых ими системах зданий и сооружений следует производить с учетом возможного образования трещин и неупругих деформаций в бетоне и арматуре (физическая нелинейность), а также с учетом в необходимых случаях деформированного состояния конструкции перед разрушением (геометрическая нелинейность). Допускается расчет усилий задавать с линейной упругостью материала для статически неопределимых систем.

Рекомендации по защите жилых каркасных зданий

Специалистами НИИЖБ в течении десятилетия (1999-2006г.) были разработаны следующие рекомендации касательно прогрессирующего обрушения и устойчивости зданий к нему:

– Рекомендации по предотвращению прогрессирующих обрушений крупнопанельных зданий.

– Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения.

– Рекомендации по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях.

– Рекомендации по защите высотных, монолитных зданий от прогрессирующего разрушения.

Рекомендации разработаны в период с 1999 г по 2006 г группой специалистов НИИЖБ во главе инженера Шапиро Г.И. Рекомендации схожи по структуре и содержанию. В каждом из документов прописывается ряд конструктивных решений для разных типов здания.

Основная цель настоящих рекомендаций – обеспечение безопасности жилых зданий при запроектных чрезвычайных ситуациях.

Самые первые рекомендации из НИИЖБ трактуют следующее требование: конструктивная система жилых панельных зданий должна быть защищена от прогрессирующего обрушения в случае локального разрушения ее несущих конструкций при аварийных запроектных воздействиях. Согласно этому требованию – допускается локальные разрушения конструкций в пределах этажа или смежных осей, но в результате этих разрушений не должно произойти разрушение или обрушение.

Конструктивная система здания должна обеспечивать его прочность и устойчивость в случае локального разрушения несущих конструкций, как минимум на время, необходимое для эвакуации людей. При возникновении аварийной ситуации конструкции по перемещениям и раскрытию трещин не рассматриваются.

Устойчивость здания против прогрессирующего обрушения следует обеспечивать:

– конструктивными мерами, способствующими развитию в ригелях и их соединениях пластических деформаций при предельных нагрузках;

– рациональным решением системы конструктивных связей, отдельных узлов и элементов соединений и стыков.

Устойчивость здания проверяется расчетом на особое сочетание нагрузок.

Устойчивость здания против прогрессирующего обрушения обеспечивается, если

$$F_u \leq S, \quad (1.1)$$

где F_u – усилие, определяемое в элементе из упругого расчета;

S – расчетная несущая способность элемента.

Основное средство защиты монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения:

– обеспечение прочности конструктивных элементов – здесь имеется в виду повышение прочностных характеристик в «ключевых» элементах»

– повышение пластических свойств рабочей арматуры и стальных связей;

– включение в работу пространственной системы ненесущих элементов – то есть в расчете на устойчивость необходимо учитывать все ограждающие конструкции, перегородки и т.п., которые могут воспринять нагрузку в результате перераспределения усилий.

Предпочтительно проектировать монолитные и сборно-монолитные перекрытия с надежным соединением вертикальных конструкций стальными связями.

Для препятствия прогрессирующему обрушению соединения сборных элементов с монолитными конструкциями должны проектироваться неравнопрочными. Элемент, обеспечивающий в предельном состоянии наибольшие пластические деформации в соединении должен проектироваться наименее прочным. Запрещается заменять пластичные элементы более прочными.

Для повышения сопротивления прогрессирующему обрушению здания рекомендуется проектировать надпроемные перемычки на разрушение от

изгиба, обеспечивать необходимую длину анкеровки для работы как связи сдвига. При этом должны соблюдаться все требования действующих нормативных документов по проектированию для железобетонных конструкций.

Площадь сечения продольной и поперечной арматуры в горизонтальных элементах должна как минимум составлять 0.25% площади сечения.

Вертикальная междуэтажная арматура пилона (колонны, стены) должны воспринимать растягивающие усилия не менее 10кН (1тс) на каждый квадратный метр грузовой площади этого пилона.[28-31]

ТСН 31-332-2006 «Жилые и общественные высотные здания»

Основные мероприятия по защите от прогрессирующего обрушения в ТСН 31-332-2006 [39] такие же, как в рекомендациях из НИИЖБ[28-31].

СТО-00802495342-2009 «Предотвращение прогрессирующего обрушения железобетонных монолитных конструкций зданий. Проектирование и расчет»

В СТО-008-02495342-2009 описаны методы расчёта конструкций при аварийном воздействии. Расчёт приведён для устранения такого вида воздействия на конструкции, как прогрессирующее разрушение.

Для предотвращения прогрессирующего разрушения применяется конструктивная система, обеспечивающая превращение конструкций над вышедшим из строя вертикальным элементом в «подвешенную систему», что позволяет передать нагрузку на уцелевшие вертикальные элементы.

Для создания такой конструктивной системы следует предусматривать:

- монолитное сопряжение конструкций перекрытий с железобетонными вертикальными конструкциями;
- железобетонные монолитные пояса по периметру перекрытий, объединенные с конструкциями перекрытий и выполняющие функции надоконных перемычек;

- железобетонные монолитные парапеты, объединенные с конструкциями покрытия;

- железобетонные стенки в верхних этажах здания или железобетонные балки в покрытии, объединяющие колонны между собой и с другими вертикальными железобетонными конструкциями;

- проемы в железобетонных стенах не на всю высоту этажа, оставляя, как правило, участки сплошных стен над проемами [36].

МГСН 4.19-05 «Временные нормы по проектированию многофункциональных высотных комплексов»

Описание основных требований по защите от прогрессирующего обрушения практически идентично описанию из рекомендаций из НИИЖБ [26-29]. Рассмотрим, какие схемы, согласно МГСН, подлежат рассмотрению оценки устойчивости здания против прогрессирующего обрушения:

– Разрушение (удаление) двух пересекающихся стен в пределах этажа от их пересечения (в частности, от угла здания) до проема или до следующего пересечения, но не более 10м, что соответствовало бы повреждению конструкции в круге площадью 80 м²(площадь локального разрушения);

– Разрушение (удаление) колонн (пилонов), либо колонн (пилонов) с примыкающими к ним участками стен, расположенных на одном (любом) этаже на площади локального разрушения;

– Обрушение участка перекрытия одного этажа на площади локального разрушения.

Основное средство защиты зданий от прогрессирующего обрушения – резервирование прочности несущих элементов, обеспечение несущей способности колонн, ригелей, диафрагм, дисков перекрытий и стыков конструкций; создание неразрезности и непрерывности армирования конструкций, повышение пластических свойств связей между

конструкциями, включение в работу пространственной системы ненесущих элементов.

Эффективная работа связей, препятствующих прогрессирующему обрушению, возможна при обеспечении их пластичности в предельном состоянии, чтобы после исчерпания несущей способности связь не выключалась из работы, и допускала без разрушения необходимых деформаций. [21]

МДС 20-2.2008 Временные рекомендации по обеспечению безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного (прогрессирующего) обрушения при аварийных воздействиях

Согласно МДС 20-2.2008 наиболее рациональным и экономичным методом обеспечения безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного (прогрессирующего) обрушения конструкций являются превентивные меры, такие как подпорные стенки, комплекс мероприятий для предотвращения аварий и террористических атак.

При невозможности использования превентивных мероприятий предлагается, как и в остальных вышерассмотренных документах, проектирование «ключевых элементов, как способ защиты от прогрессирующего обрушения. Проектирование «ключевых» элементов предполагает обязательное нормирование интенсивности аварийных воздействий и объема допускаемых повреждений. При этом следует иметь в виду, что невозможны никакие практические действия по усилению конструкций сооружения, которые позволили бы в полной мере исключить последствия взрыва.

Возможны три варианта расчетов:

– Линейный статический. Расчетные предпосылки основаны на малых деформациях системы и упругой работе материала.

– Нелинейный статический. Учитывается физическая и геометрическая нелинейность, с учетом истории нагружения от нулевого состояния до исчерпания несущей способности.

– Нелинейный динамический. Учитывается физическая и геометрическая нелинейность. Динамический анализ выполняют, мгновенно удаляя один из элементов из загруженной конструкции и анализируя работу системы до затухания колебаний.

Так же в рекомендациях прописаны основные требования по мониторингу состояния несущих конструкций, что позволяет продлить срок безаварийной эксплуатации.[20]

1.3.4 Зарубежные Нормы проектирования и расчета против прогрессирующего обрушения.

Строительные нормы и правила, принятые на сегодняшний день во всем мире, разработаны для снижения риска прогрессивного обрушения.

После обрушения зданий Ронан Поинт в 1970 г., в пятую поправку британских строительных норм были внесены новые нормы, касающиеся прогрессирующих обрушений [52]. Согласно им, здания выше пяти этажей после удаления одного конструктивного элемента должны быть защищены.

Нормы Еврокод [44,45] относят прогрессирующее обрушение к редким событиям и метода, чтобы избежать его, пока не существует. Эти нормы рекомендуют проводить линейный статический анализ на середине высоты зданий, нелинейный динамический анализ может быть проведен для зданий выше 10 этажей.

Основополагающим документом в европейской системе проектирования является EN 1990[43]. Данный документ устанавливает требования к показателям сооружения по несущей способности, эксплуатационной пригодности, долговечности, надежности, дифференциации надежности, базисным переменным. Документ формирует методику расчетов по предельным состояниям с применением частных коэффициентов относительной безопасности, при этом проверка расчетов с частными коэффициентами может выполняться детерминированным или вероятностным способами. Проектирование сооружений в аварийных ситуациях по еврокоду предполагает выполнение расчетов для чрезвычайных ситуаций при аварийных воздействиях, как описано в [43,44,45]. Требования по выполнению расчетов на особое воздействие установлены документом EN 1991-1-7.

Согласно [43], разрушение здания или сооружения при чрезвычайном воздействии должно быть исключено или ограничено выполнением одним или несколькими ниже перечисленными мероприятиями:

- исключение или уменьшение величины возможного чрезвычайного воздействия на здание или сооружение;
- выбора конструктивной схемы здания или сооружения, малочувствительной к чрезвычайным воздействиям;
- выбора конструктивной схемы здания или сооружения и конструирование соединений элементов для возможности обеспечения пространственной неизменяемости при локальном разрушении;
- не использование, по возможности, типов конструкций, которые могут разрушиться внезапно без предварительного возникновения видимых дефектов;
- надлежащее соединение конструктивных элементов между собой.

Горизонтальные связи и крепления несущих элементов конструкций здания к элементам, обеспечивающим пространственную неизменяемость конструкций.

Не менее 30% связей должны располагаться непосредственно рядом с раскрепляемым вертикальным элементом.

Несущая способность горизонтальных связей и их соединений должна быть не менее 75 кН (7.5 Т).

В конструкциях с несущими стенами должны быть выполнены следующие условия:

- Для каменных конструкций толщина стен должна быть не менее 150 мм и прочность на сжатие материала стен не менее 5 МПа.
- Высота стены между перекрытиями в чистоте не должна быть более 20 толщин стены.
- Расстояние от связей до края стены не более 2,5 м

Конструкции должны быть запроектированы и построены таким образом, что при удалении одного любого локального несущего элемента здание в целом остается устойчивым и размер разрушения не превышает 15% площади этажа, но не более 100 м², на каждом из смежных междуэтажных перекрытий или покрытий.

Если данное требование не выполняется, то этот локальный несущий элемент должен быть рассчитан как ключевой элемент.

Ключевые элементы конструкции зданий и сооружений должны быть рассчитаны на особые сочетания нагрузок с учетом кратковременной нагрузки.

Угловые колонны первого этажа необходимо рассчитать на удар грузового автомобиля $Q=70$ т, так же все колонны необходимо рассчитывать на двойную расчетную длину, если перекрытия не рассчитаны как ключевой элемент.[44]

Для сложных и ответственных сооружений EN 1991-1-7 предписывает выполнять системный анализ рисков.

Основные строительные нормы США, – GSA [53] («Анализ прогрессирующего обрушения и руководство по проектированию новых федеральных офисных зданий и важных современных проектов») и UFC 4-023-03[46] («Проектирование зданий против прогрессирующего обрушения»), написаны на основе метода возможных повреждений.

Для защиты от прогрессирующего обрушения по UFC используется два подхода:

- «Связывающие силы»;
- «Альтернативный путь».

GSA и UFC предполагают, что нелинейные статические и динамические анализы используются для сложных конструкций. GSA рассматривает линейные статические и динамические анализы и указывает, что использование линейных анализов ограничено для зданий, имеющих до десяти этажей. Расчеты и проектирование зданий высотой более десяти этажей и зданий со сложными конструкциями (несимметричные конструкции) должны проводиться с использованием нелинейных анализов. UFC описывает линейные и нелинейные статические, а также нелинейные динамические анализы и приводит некоторые примеры для определения поведения пластических шарниров в изгибающих элементах при нелинейных

анализах. Обе эти нормы, GSA и UFC, предусматривают условное удаление несущей колонны. Альтернативные пути распределения нагрузки принимаются в обеих нормах. Увеличенный до 25% коэффициент прочности при использовании в FEMA 273 [47], был включен для бетонных и стальных материалов, чтобы отразить повышение прочности бетона со временем, что приводит к значениям более высоким, чем номинальные проектные значения. Увеличенный коэффициент деформационного упрочнения материала и его фактическая прочность приняты больше условного значения. GSA и UFC установили значение коэффициента снижающей прочности равным 1,0 (как это указано в FEMA 273) [47]. Динамический коэффициент 2,0 задается для моделирования динамических эффектов в результате удаления несущего элемента.

По нормам GSA при условии применения метода DCR (Demand Capacity Ratio) можно определить возможность прогрессирующих обрушений:

$$DCR = Q_{ud}/Q_{CE}, \quad (1.2)$$

где Q_{ud} – усилия, которые выдержат элементы или узлы (от сжатия, изгиба, сдвига и т. д.) при предельных воздействиях, вычислены по методу упруго - линейного статического анализа;

Q_{CE} – предельное усилие для элементов или узлов.

Следующие условия определяют возможность прогрессирующего обрушения:

- симметричные конструкции ($DCR > 2$);
- сложные конструкции ($DCR > 1,5$).

Так же о прогрессирующем обрушении упоминается в NYBC «Строительные нормы Нью-Йорка». В данном документе предлагается так же уже упомянутые методы расчета. Данные нормы имеют требования по конструктивной связности:

– все конструктивные элементы должны иметь минимальную степень непрерывности и должны связываться вместе горизонтально и вертикально;

– горизонтальные элементы должны быть рассчитаны с учетом сопротивления поперечной нагрузке.

В обоих методах рассмотрена возможность автомобильного столкновения с вертикальными конструкциями и взрыв бытового газа. При автомобильном ударе наружные угловые колонны первого этажа должны быть запроектированы с учетом сосредоточенной нагрузки 18 т, а все остальные наружные колонны первого этажа с учетом сосредоточенной нагрузки 9 т. Нагрузка прикладывается горизонтально в любом направлении, с которого может произойти автомобильный удар на высоте 450 мм или 900 мм над уровнем дорожного полотна.

В настоящее время в зарубежных странах при расчете здания на устойчивость к прогрессирующему обрушению действуют нормы UFS и GSA, и в соответствии с ними такой расчет нужно проводить по какому-либо из двух методов: либо расчет колебания в вертикальном направлении, либо расчет увеличения нагрузок.

1.3.5 Сравнение российских и зарубежных норм проектирования для защиты от прогрессирующего обрушения

В РФ мало нормируемой литературы по прогрессирующему обрушению, разрушения конкретно не нормируются, и нет определенного способов расчета, всё базируется на основе рекомендаций. В зарубежных нормативных документах расчет на прогрессирующее разрушение является обязательным. Но некоторые критерии не совсем точно отражают результат динамических воздействий.

По результатам анализа сравнения приведены таблицы 1,2. В таблице указаны методы расчёта, и для каких типов зданий и сооружений требуются согласно российским и зарубежным документам.

Таблица 1.1 – Сравнение нормативных документов по методу предотвращения непропорционального разрушения.

Документ	Типы зданий и сооружений	Методы ограничения непропорционального разрушения
СП	Уникальные здания и сооружения; Сооружения высотой 100 м и более; Здания с пролетами 100 м и более	Добавочная прочность
СТО	Здания жилые высотой более 10 этажей; Здания общественные с пребыванием 200 чел. Здания производственные и вспомогательные с пребыванием 200 чел.	Добавочная прочность, связность конструкции
МГСН ТСН	Жилые здания высотой более 75 метров; Общественные здания высотой более 50 метров	Расчет на воздействия, локальная надежность, альтернативный путь, добавочная прочность
UFC	Здания и сооружения любого назначения, в которых могут одновременно находиться более пяти военнослужащих и/или членов их семей	Исключение воздействия, альтернативный путь, связность конструкции
GSA	Федеральные здания и сооружения США	Исключение воздействия, связность конструкции

NYBC	Здания и сооружения 4 уровня ответственности (госпитали, полицейские участки и пожарные депо, здания в сейсмоопасных районах, здания связи и коммуникаций, электростанции, склады токсичных материалов, авиационные сооружения), площадью этажа более 4600 м ² ; Здания с соотношением высоты к ширине более 7; Здания выше 183 метров; Здания площадью более 93 000 м ² ; Здания высотой более 7 этажей, в которых на один несущий элемент опирается более 15% площади здания;	Расчет на воздействия, локальная надежность или альтернативный путь, связность конструкции
ADA (Еврокод)	Индивидуальные жил. дома 5 эт.; Отели не более 4 этажей; Многоквартирные дома не более 4 эт.; Офисы не более 4 этажей; Промышленные здания не более 3 эт.; Торговые здания не более 3 эт.	Связность конструкции
	Жилые дома и гостиницы от 5 до 15 эт.: Учебные здания от 2 до 15 этажей; Торговые здания от 4 до 15 этажей; Больницы не более 3 этажей; Офисы от 5 до 15 этажей;	Локальная надежность или альтернативный путь, связность конструкции
	Здания со значительным пребыванием людей; Стадионы более 5000 мест;	Оценка риска

В таблице 1.2 проведено сравнение российских и американских норм проектирования по отдельным показателям.

Таблица 1.2 – Сравнение норм РФ и Америки.

Отдельные показатели норм проектирования	Нормативные документы		
	GSA	UFC 4-023-03	Российские строительные нормы
Уровень защиты от прогрессирующего обрушения	Выдержит или нет	очень низкий, низкий, средний и высокий	Выдержит или нет
Место удаления колонн	средняя по длинному краю, средняя по короткому краю, угловая; только на первом этаже	средняя по длинному краю, средняя по короткому краю, угловая; на каждом этаже	Нет конкретного указания; на любом этаже

Продолжение таблицы 1.2

Нагрузка для статического расчета	$2(DL+0,25LL)$ на всех ригелях и перекрытиях	$2(1,2DL+0,5LL)+0,2W$ на примыкающих ригелях и перекрытиях; $1,2DL+0,5LL$ на остальных частях конструкции	Нормативные нагрузки
Нагрузка для динамического расчета	$DL+0,25LL$, внезапно приложена	$1,2DL+0,5LL+0,2W$, внезапно приложена	-
Метод расчета	Рекомендуется линейный статический	Линейный статический, нелинейный статический, нелинейный динамический	Рекомендуется нелинейный статический
Коэффициент упрочнения материалов	1,25	1,25	Расчетные сопротивления равны нормативным значениям

1.4 Анализ основных методов защиты от прогрессирующего обрушения

Чрезвычайные события (пожар, наезд транспорта, атака самолета, воздействие газа или взрыв бомбы) практически невозможно контролировать в силу их случайности. Кроме того, такие угрозы представляются сложными в плане анализа для инженера-строителя. Хорошим примером является внешняя защита здания от угрожающих неконтролируемых воздействий. Величина зазора между зданием и внешней защитой (например, барьером) определяется как расстояние между ближайшим структурным компонентом и защитой внешней границы здания [53]. Также необходимо упомянуть о превентивных мерах безопасности, такие как сигнализации, датчики задымления, видеонаблюдение и прочие меры, обеспечивающие при эксплуатации предотвращение ЧС или хотя бы возможность эвакуации в короткий срок при ее возникновении.

Много методов проектирования было предложено на настоящий момент для предотвращения прогрессирующего обрушения. категоризировать можно по их назначению: второстепенные меры, косвенное проектирование и прямое проектирование.

Второстепенные меры – это предотвращение влияния событий, которые могут вызвать перегрузку конструкции. К таким мерам относится локализация объекта, устройство по периметру конструкций или всего здания барьеров.

Косвенное проектирование используется для того, чтобы уменьшить возможность прогрессирующего обрушения с точки зрения структурной целостности здания, определить расположение структурных элементов и детализировать конструктивные элементы, в том числе связи.

Анализ или расчет поведения конструкции в этом методе не требуется. В общих положениях норм, таких как АСІ 318-05 [43], структурная целостность предусматривается, чтобы повысить пластичность конструкции здания. Кроме того, сопротивление сдвигу всегда должно превышать

изгибающую способность для повышения пластичности. Для того чтобы обеспечить целостность в элементах конструкций, необходимы узловые связи с ними, работающие так, как это показано на рисунке 1.3. Внутренние, вертикальные и второстепенные связи, соединяющие элементы конструкций, как видно из рисунка, могут способствовать развитию цепной (контактной) работы конструкции, когда соседний элемент поврежден. Когда одна из несущих колонн здания повреждена и теряет свою несущую способность, соединительные ригели прогибаются до максимальной прогибающей способности здания, которая обеспечивается с помощью соседних балок и плит вплоть до разрушения. При этом узловые связи в соединительных элементах играют значительную роль для поддержания конструкции. Такое поведение называется "цепным эффектом".

В методе «Связывающих сил» здание механически связывается, усиливая непрерывность и пластичность всей конструкции целиком [47].

«Связывающие силы» обеспечиваются существующими конструктивными элементами, запроектированными с использованием стандартных процедур для нанесения рабочих нагрузок. Проектирование элементов связывающих сил не зависит от проектирования основных несущих конструкций.

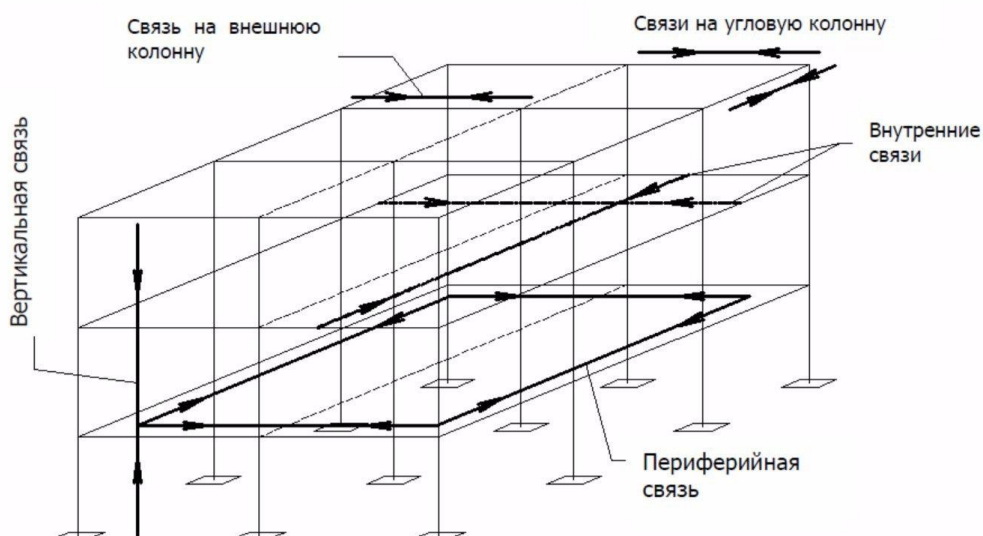


Рисунок 1.3 – Узловые усилия, описанные в нормах UFC и Еврокод

В зависимости от вида конструктивной схемы здания существует несколько видов горизонтальных связей:

- внутренние;
- периферийные;
- связи, для соединения колонн.

Внутренние связи должны быть обеспечены от одного до другого края периметра. Это достигается применением жестких ригелей. Вертикальные связи обеспечиваются колоннами или стенами от самого высокого до самого низкого уровня. Окружающие связи работают как жесткие связи по внешнему периметру здания. Горизонтальные связи с внешними колоннами или стенами и угловые связи обеспечивают достаточное крепление между элементами.

В рамных конструкциях колонны и несущие стены должны воспринимать особую растягивающую нагрузку, равную максимальной нагрузке от перекрытия любого одного этажа. Расчет на данную нагрузку должен производиться во всех сечениях несущих элементов без учета разгружающего действия постоянных и временных нагрузок на конструкции. Еще один из способов косвенного проектирования – это избыточное повышение степени статической неопределимости системы. Вариант достигается, например, включением в рамную конструкцию дополнительных связей, включения второстепенных элементов.

Прямое проектирование. При защите конструкций в результате локального повреждения и при дальнейшем обрушении рассматриваются альтернативные пути нагружения и локальное сопротивление в конструктивных элементах зданий. Проводятся нелинейные статические или динамические анализы конструкций, т. к. элементы конструкции демонстрируют нелинейное поведение из-за превышения деформаций, или даже деформационного упрочнения сталей и образования больших трещин и обрушений в сжатых зонах в бетонных элементах.

Прямое проектирование подразделяется на метод локального сопротивления и метод возможных повреждений. Метод возможных повреждений включает:

- обеспечение требуемой общей неразрывности конструкции путем упрочнения соединений;
- усиление нагруженных элементов (например, перекрытий, ригелей и колонн) с помощью переходных элементов для обеспечения прочности и увеличения жесткости во избежание локального обрушения.

a) Метод локального сопротивления

В этом случае прочность, целостность и жесткость конструктивных «ключевых» элементов, способных в дополнение к существующим нагрузкам воспринимать аварийные воздействия, обеспечивается их усилением.[20]

Один из методов повышения устойчивости конструкции к прогрессирующему обрушению – это укрепление несущих ключевых элементов конструкции. Для рассмотрения аварийных воздействий на конкретное здание можно принять вероятностный подход. Интенсивные нагрузки могут быть включены в комбинированные нагрузки, приведенные ниже:

$$N = (0,9 \div 1,2) D + A_k + 0,5 L + 0,2 W, \quad (1.3)$$

где N – комбинированная нагрузка,

D – постоянная нагрузка,

A_k – интенсивная нагрузка,

L – временная нагрузка,

W – ветровая нагрузка.

Интенсивная нагрузка может возникать, например, от взрыва или наезда на здание транспортных средств.

Недостаток этой методики заключается в том, что особая нагрузка (интенсивная) для расчета должна быть определена в первую очередь. Но сложно рассчитать величину нагрузки и площадь воздействия.

При сравнении прямых методов в литературе [56] отмечается, что метод локальной прочности является более универсальным, поскольку не имеет методического ограничения на учёт воздействия только на один элемент, и при этом приводит к более экономичным и технологичным проектным решениям.

б) Метод возможных повреждений

Сутью этого метода является детальный анализ состояния конструкции после выхода из строя отдельного элемента.

Необходимо, чтобы конструкция после локального разрушения могла выдержать нагрузки, предотвратив или замедлив процесс прогрессирующего обрушения.

Согласно методу, удаляется один несущий элемент и производится расчет параметров конструкции здания, с учетом необрушения.

Этот метод считается одним из популярных и соответственно наиболее эффективным методом против прогрессирующего обрушения.

Применение этого метода требует, строго говоря, выполнения динамических расчетов на особые нагрузки, не предусмотренные обычным проектированием. При этом рассматриваются деформационные и прочностные характеристики материалов, которые меняются в течение кратковременного динамического нагружения.

Недостаток этого метода – это сложность и не однозначность расчетов.

Прогрессирующее обрушение – это нелинейный динамический процесс, который обычно имеет место после очень быстрого разрушения несущего элемента; кроме того, поврежденная конструкция испытывает большие деформации перед разрушением. При этом происходит потеря устойчивости элементов, разрыв соединений, удары и падение разрушенных элементов и т. д. Нелинейный динамический расчет, необходимый для решения таких задач, довольно трудоемок, часто его результаты сложно оценить. В работах Руденко и Алмазова [1-3] применяется для

предотвращения прогрессирующего обрушения переходные этажи. Согласно результатам их работ – этот метод является наиболее экономичным и надежным. Устройство таких переходных этажей по высоте здания через некоторое количество этажей позволяет изолировать зоны повреждения. Именно такой прием применен в некоторых зданиях Москва-Сити в виде системы 5–10-этажных рамных блоков над связевым этажом. А, например, в здании «Бурдж Халифа» В ОАЭ к связевому блоку «подвешивается» до 20 этажей.

Альтернативный путь распределения нагрузки.

Конструктивную систему проектируют так, чтобы перекрыть потерю одного или нескольких несущих элементов, обеспечивая альтернативные пути передачи нагрузок за счет перераспределения усилий, ограничивая и локализуя область повреждения. Принимают допустимую минимальную площадь или объем повреждения сооружения.[20]

Когда поврежденные несущие элементы не способны выдерживать постоянные и временные нагрузки, соседние элементы помогают перераспределить эти нагрузки. Схематично это показано на рисунках 1.4–1.6.

Направление нагрузки до повреждения передается через перекрытия к балкам, а затем к колоннам. После повреждения в колонне направление нагрузки будет существенно изменяться в соседних элементах. Если соседние элементы имеют достаточную несущую способность и пластичность, конструктивная система будет развивать альтернативные пути распределения нагрузки, и это даст возможность эвакуировать жителей такого здания.

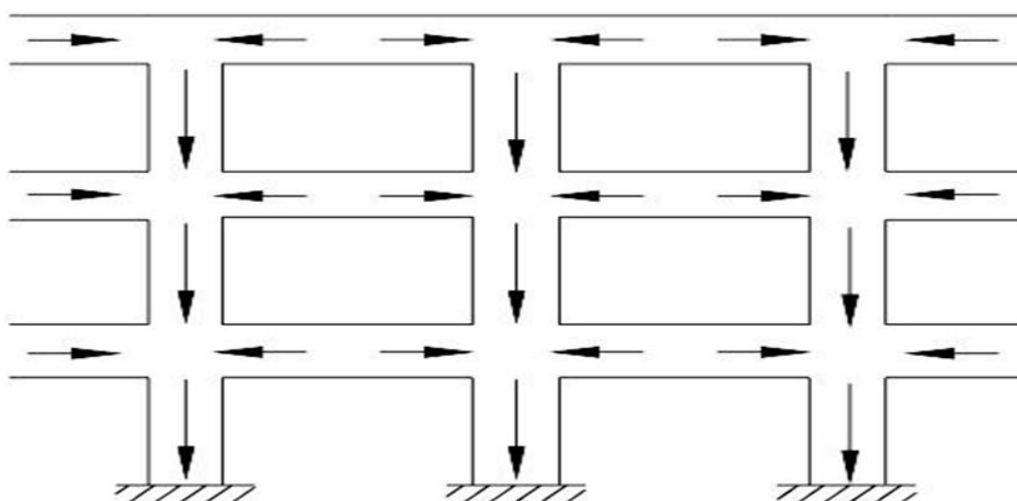


Рисунок 1.4 – Распределение нагрузки в элементах конструкции до повреждения

Альтернативные пути распределения нагрузки должны рассматриваться в аспекте предотвращения прогрессирующего обрушения, как временные, потому что, как правило, это не эффективно – предлагать такой путь для предотвращения падения всех элементов под внезапными нагрузками. Например, на рисунке 1.5 показано, как плита будет прогибаться, когда колонна будет удалена. Пролеты на месте отсутствующей колонны могут быть поддержаны цепным эффектом. Кроме того, если выше удаленной колонны присутствует несколько этажей, нагрузка на этажах может передаваться выше через напряжение в верхних колоннах, и оставшаяся конструкция будет способствовать перемещению нагрузки на соседние, неповрежденные пролеты, как показано на рисунке 1.6.

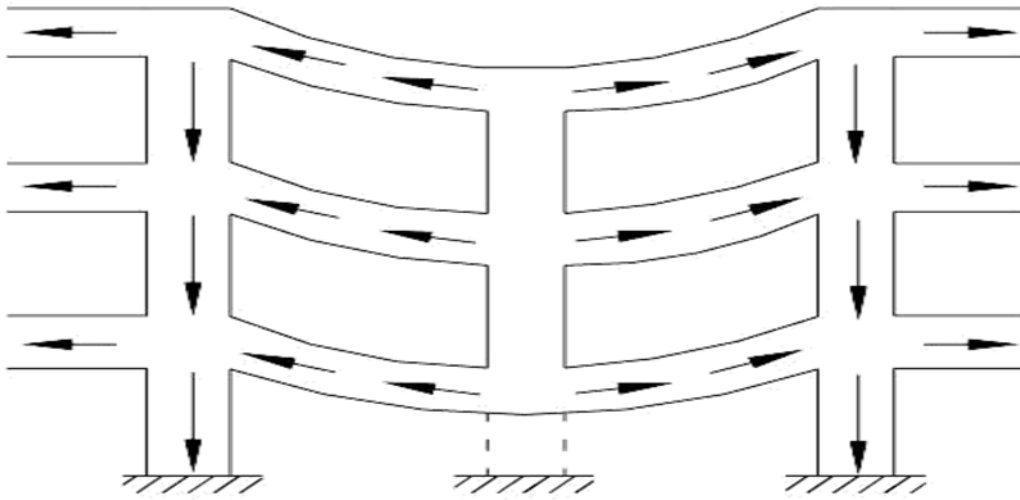


Рисунок 1.5 – Распределение нагрузки в элементах конструкции после повреждения («цепной эффект»)

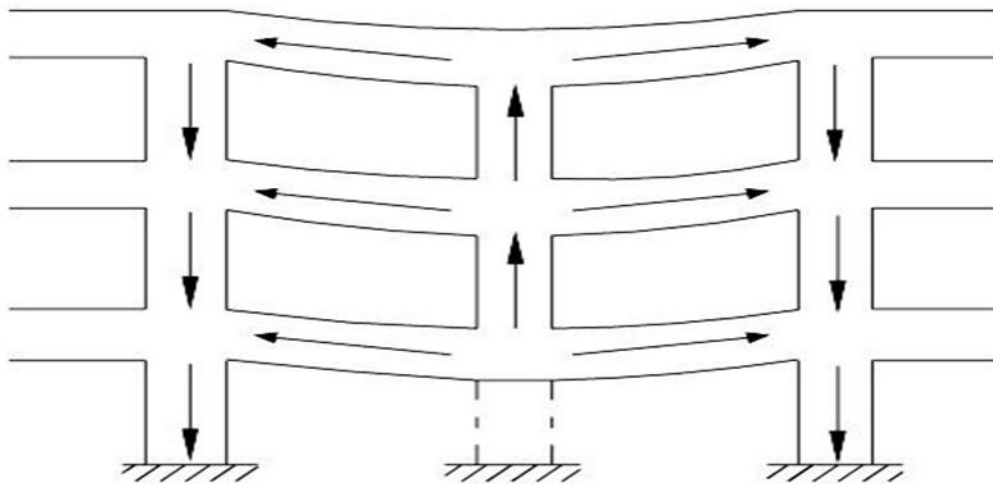


Рисунок 1.6 – Распределение нагрузки в элементах конструкции после повреждения (напряжение в колоннах)

1.5 Выводы по 1 главе

За последний век произошло значительно количество событий связанных с аварийными воздействиями и их последствиями. Последствия аварийных воздействий всегда непредсказуемы. Но за последние несколько десятилетий введением новых норм и поправок контролировать объем последствий становится проще. Так в результате обрушения секции жилого дома в Англии в 1968 году вводится такое понятие как прогрессирующее обрушение. Прогрессирующее обрушение характеризуется лавинообразным разрушением значительной части конструкции или же всего здания.

Международная нормативная литература регламентирует необходимость расчетов на прогрессирующее обрушение и предлагает возможные конструктивные решения для его недопущения. Однако есть спорные между собой документы, предписывающие разные требования для разных категорий зданий.

Устойчивость здания от прогрессирующего обрушения проверяется расчетом на особое сочетание нагрузок, исключаящее кратковременные нагрузки, с введением коэффициентов на временные нагрузки и включающее воздействие локальных разрушений. Расчет на устойчивость к прогрессирующему обрушению предпочтительно проводить нелинейный динамический. Но нелинейный динамический расчет достаточно трудоемкий и требует конкретных указаний о силе воздействия. Наиболее простой подход для достижения необходимых результатов - это нелинейный статический расчет с введением коэффициента динамичности.

Основными методами защиты от прогрессирующего обрушения являются применение превентивных методов защиты, косвенное проектирование, прямое проектирование. Прямое проектирование подразумевает несколько методов:

- Увеличение связности конструкции

- Метод локального сопротивления;
- Альтернативный путь распределения нагрузки.

В российских нормах и рекомендациях предлагается метод добавочной прочности.

2 Расчетная часть

2.1 Выбор объекта исследования

Согласно [35], к объектам, разрушение которых может привести к большим социальным, экологическим и экономическим потерям и при проектировании которых должно быть обеспечено недопущение прогрессирующего обрушения, относятся:

- а) здания жилые высотой более 10 этажей;
- б) здания общественные с пребыванием 200 чел. и более одновременно (в пределах деформационных блоков)
 - учебно-воспитательного назначения;
 - здравоохранения и социального обслуживания;
 - сервисного обслуживания;
 - культурно-досуговой;
 - административного и пр. назначения;
 - для временного пребывания (гостиницы, санатории, общежития и т.п.).
- в) здания производственные и вспомогательные с пребыванием 200 чел. и более одновременно (в пределах деформационных блоков).

Большую долю массового строительства в городе Тольятти занимают жилые здания, поэтому обеспечение конструктивной безопасности жилых зданий должно быть в первую очередь.

Для исследований был выбран объект, расположенный в жилой зоне, на берегу реки Волги. Жилое здание состоит из трех секций разной этажности с подземной парковкой и с первым этажом, предназначенным под нежилые помещения (рисунок 2.1).

В качестве расчетной модели рассматривается четырнадцатипятиэтажная секция здания с подземной парковкой и нежилыми помещениями на 1 этаже – блок Б (рисунок 2.2).

Каркас здания – монолитный железобетонный из бетона кл.В30 F75, F50. арматура кл.А500. Высота надземных этажей – 2,8м, высота технического подвала – 2м, высота подземной парковки – 3,1м. В центре здания расположено ядро жесткости с лифтовой кабиной и лестничной клеткой. Плиты перекрытия безригельные толщиной 180мм. Шаг колонн различный. Основные колонны в надземной части сечением 400х400. Вдоль осей В и Р через 1-2 шага пилоны сечением 1300х400, вдоль внешних осей колонны с круглым сечением диаметром 31,5см. В подземной части за границами здания на парковке колонны сечением 600х600.



Рисунок 2.1 – Общий вид жилого здания разной этажности по адресу ул.Коммунистическая, г.Тольятти

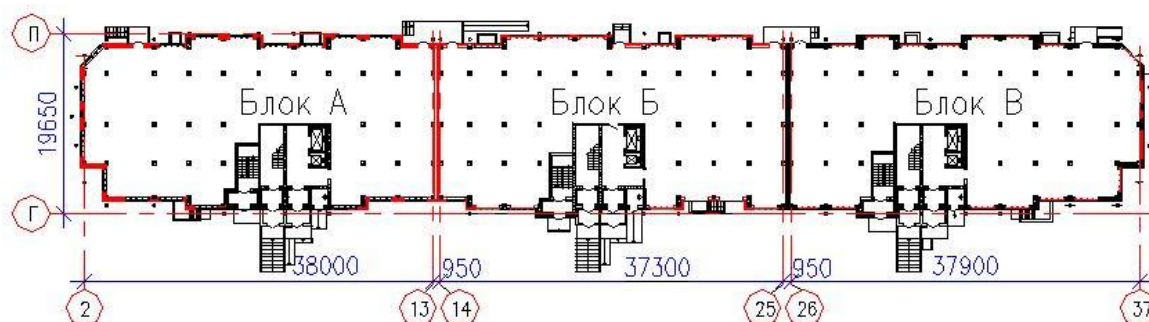


Рисунок 2.2 – План жилого здание разной этажности по адресу ул.Коммунистическая, г.Тольятти

2.2 Расчет первичной конструктивной системы

В ПК «Ли́ра» объект представляет собой пространственную модель из набора пластинчатых и стержневых элементов. Фундаментная плита при расчете не учитывалась. Закрепление элементов в отметке фундамента – жесткое.

Здание согласно [40] относится к нормальному уровню ответственности.

Первичная конструктивная система здания – система, принятая для условий нормальной эксплуатации здания. Расчет проводился по первой группе предельных состояний для определения наиболее нагруженных элементов схемы.

Нагрузки и воздействия на здание определены согласно [34]. В расчете были учтены постоянные (собственный, вес перегородок, вес пола, вес наружных ограждений, кровля) и временные длительные (снег, снеговой мешок, вес от людей и оборудования) и кратковременные (ветровые) Расчетные нагрузки принимались с коэффициентом надежности по нагрузке 1,1. Армирование плит перекрытия по результатам расчета:

- в пролете верхнее и нижнее армирование А500Ø12 с шагом 200мм;
- в приопорной зоне верхнее армирование А500Ø18 с шагом 200мм, нижнее А500Ø12 с шагом 200мм.

Выбор самых нагруженных элементов производился исходя из загрузения по расчетным сочетаниям усилий.

2.3 Варианты схем гипотетических разрушений

Для проверки на устойчивость от прогрессирующего разрушения проверяются наиболее опасные расчетные схемы разрушения. Задача на данном этапе научной работы проверить наиболее уязвимые элементы для аварийных воздействий. Рассматриваются запроектные воздействия, которые не учитываются при проектировании здания.

В данном случае, при удалении элементов с подземной парковки, рассматривается ситуация выхода из строя колонны (или пилона) под действием удара от автомобильной аварии или же в результате взрыва (подрыва) автомобиля. По расчету наиболее нагружены пилоны с сечением 130x40. Вероятность разрушения пилона в первую очередь в случае аварийных воздействий относительно мала. Поэтому наиболее уязвимыми для аварийных воздействий можно считать колонны сечением 400x400 в осях Л и К. Разрушение будет моделироваться для колонны в осях К-23 (рисунок 2.3) – так как данная колонна имеет наибольшие усилия. Гипотетическое разрушение колонны К-23 представлено на рисунке 2.4.

Так же необходимо проверить одну из крайних колонн выше отметки земли. Первый этаж проектируется под нежилые помещения. Основная часть площади этого этажа будет использоваться под торгово-офисные помещения – что подразумевает большую проходимость и открытый доступ. Исходя из этого, можно предположить, что первый этаж наиболее подвержен рискам, связанным с терроризмом. Вторая моделируемая аварийная ситуация – выход из строя колонны первого этажа – Н-18 – рисунок 2.5.

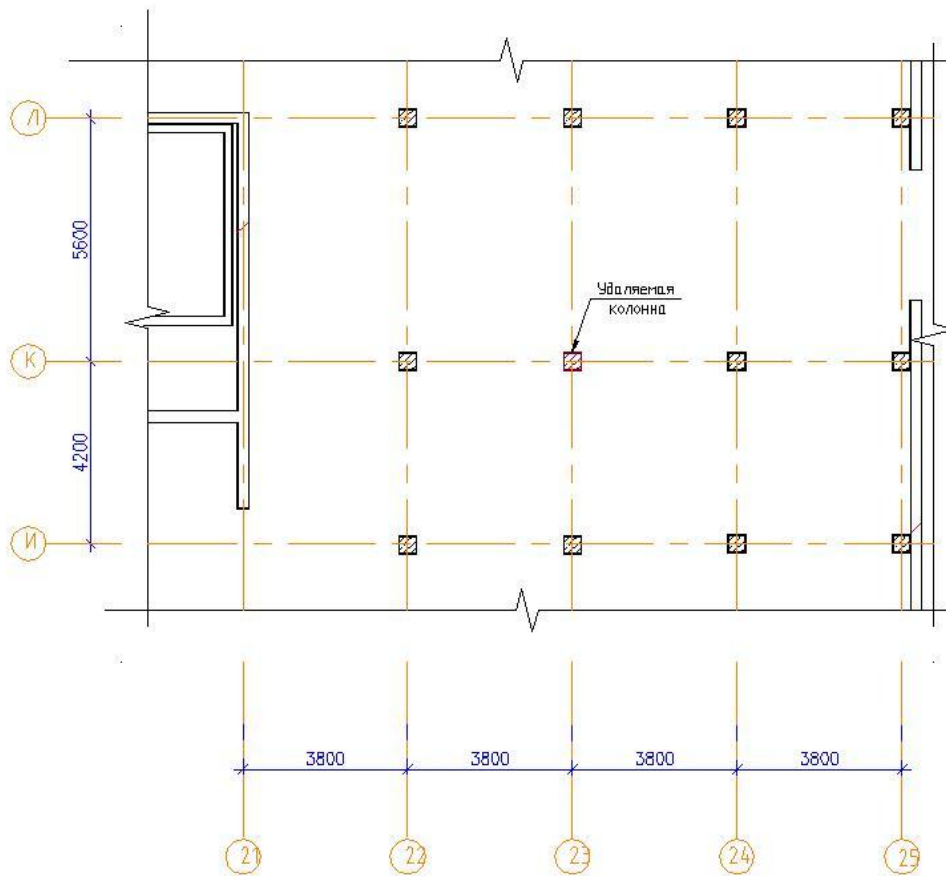


Рисунок 2.3 – Обозначение на плане подземной парковки удаляемой колонны К-23

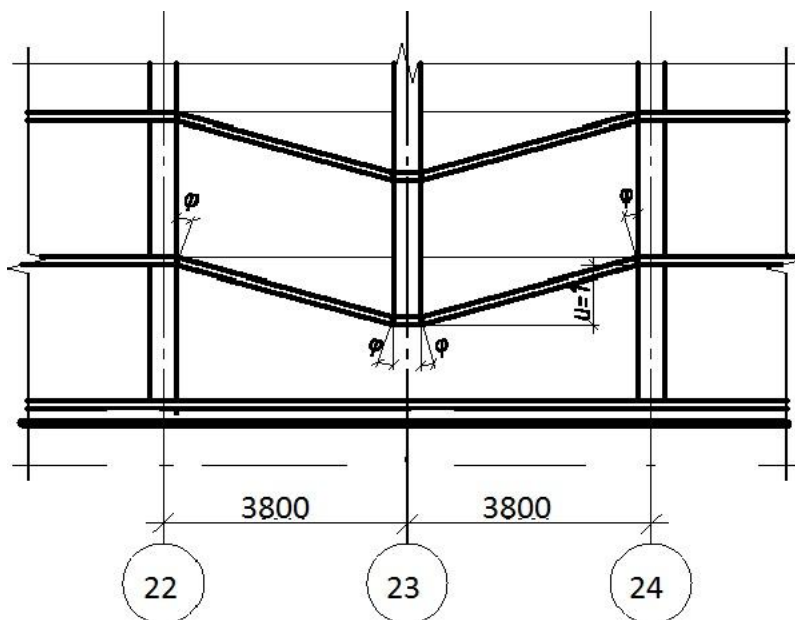


Рисунок 2.4 – Гипотетическая схема обрушения для колонны К-23

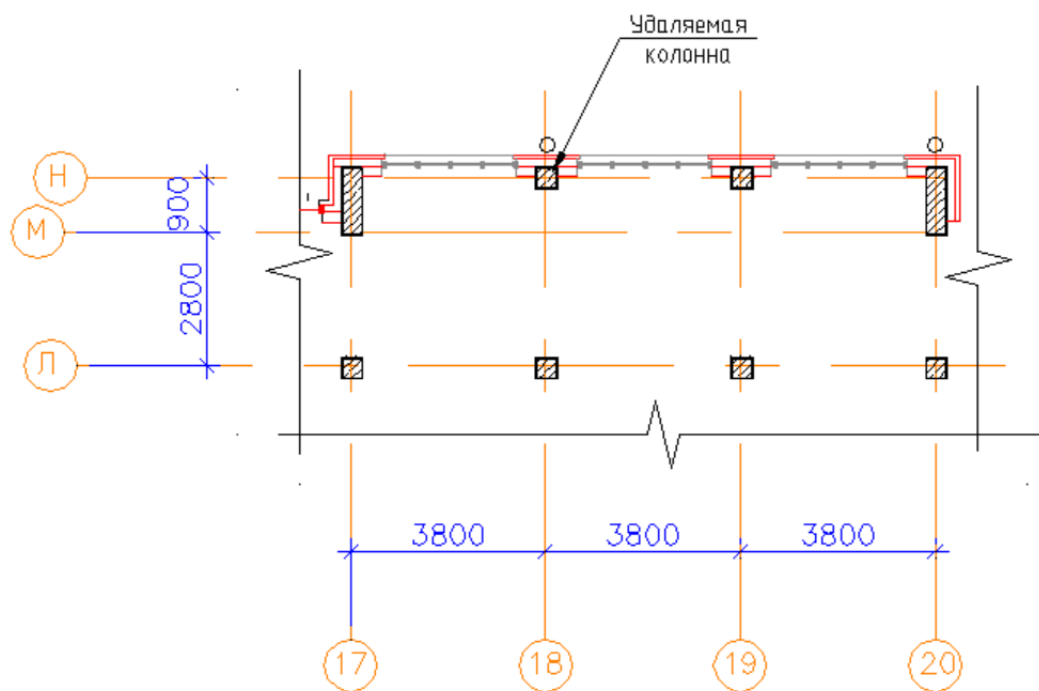


Рисунок 2.5 – Обозначение на плане 1 этажа удаляемой колонны Н-18

Обеспечение безопасности жизни людей является главной целью расчета. Огромные потери в случае разрушений и в результате взрывов от терактов, бытовых взрывов и в результате крупных аварий могут быть сокращены, если обеспечить достаточную устойчивость от прогрессирующего обрушения. Необходимо уменьшить объем разрушений в здании, тем самым продлив время эвакуации для людей.

Повышение устойчивости от прогрессирующего обрушения – главная задача расчета.

2.3 Особенности расчета на устойчивость от прогрессирующего обрушения в ПК «Лира»

Устойчивость здания против прогрессирующего обрушения проверяется расчетом на особое сочетание нагрузок и воздействий, включающее постоянные и временные длительные нагрузки, а также воздействие гипотетических локальных разрушений несущих конструкций.

Расчетные прочностные и деформационные характеристики материалов принимаются равными их нормативным значениям, согласно действующим нормам проектирования железобетонных и стальных конструкций.

Для расчета монолитных жилых зданий рекомендуется использовать пространственную расчетную модель.

Удаление одного или нескольких элементов изменяет конструктивную схему и характер работы элементов, примыкающих к месту разрушения либо «зависших» над ним, что необходимо учитывать при назначении жесткостных характеристик элементов и их связей.

При каждом выбранном локальном разрушении необходимо рассмотреть все механизмы прогрессирующего обрушения согласно [30].

Статический расчет вторичной системы следует производить как упругой системы по сертифицированным программным комплексам (SCAD, Лира, STARK – ES и др.) с учетом геометрической и физической нелинейности.

При расчете с учетом геометрической и физической нелинейности жесткость сечений конструктивных элементов следует принимать в соответствии с указаниями [35] с учетом продолжительности действия нагрузок и наличия или отсутствия трещин. Реализация такого расчета применима только относительно нормальных сечений изгибаемых элементов в зоне с максимальным изгибающим моментом, поскольку не учитывает влияние поперечной силы.

Главным преимуществом ПК ЛИРА по сравнению с ПК SCAD является реализация расчётов с учётом физической нелинейности работы материала. Нелинейный процессор позволяет решать задачи, связанные с физической нелинейностью материала в рамках нелинейной теории упругости и в упруго-пластической постановке.

Результатом расчёта являются усилия, напряжения и перемещения на каждом из этапов приложения нагрузки, картины трещин в стенах и плитах, места образования пластических шарниров, информация об элементах, разрушающихся в первую очередь. Также имеется возможность определить нагрузку, при которой разрушается первый элемент конструкции и по ней судить об имеющихся запасах по несущей способности.

2.3 Расчет вторичной конструктивной системы

Вторичная конструктивная система здания – это измененная первичная система, с исключением одного вертикального несущего конструктивного элемента. Нагрузки и характеристики материалов при этом учитываются нормативные.

Моделирование прогрессирующего обрушения необходимо для исследования устойчивости здания в целом и живучести единичных конструкций, при выходе из строя отдельных конструктивных элементов. Анализ рекомендуется проводить в рамках нелинейного динамического расчета, такой расчет требует больших знаний, навыков и опыта в области динамики. Привлекать таких специалистов для расчетов при проектировании многоэтажных жилых зданий, относящихся к нормальному уровню ответственности, нерационально. В то же время, можно считать несостоятельной и попытку моделирования процесса «прогрессирующего» разрушения конструкции на основе линейно–упругого статического расчета, предпринятую в некоторых работах и программных комплексах. Для решения этого класса задач предлагается применение математического моделирования процесса нагружения на основе уточненного шагового метода, как основного метода при моделировании процессов жизненного цикла конструкций. Реализация такого расчета возможна в программном комплексе Лира САПР через «монтажные таблицы».

При проектировании защиты зданий от прогрессирующего обрушения следует выделять два типа неповрежденных конструктивных элементов – без изменения напряженного состояния и с качественным изменением напряженного состояния.

Основной задачей проектирования является обеспечение прочности и устойчивости конструкций, потерявших опору в результате локального разрушения.

Для расчета выбранного объекта – жилого многоэтажного здания на устойчивость к прогрессирующему обрушению использовались материалы из следующих источников:

- Лира-Сапр 2013, Учебное пособие, пример 16 [8];
- Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения [30];
- Стандарт организации «Предотвращение прогрессирующего обрушения железобетонных монолитных конструкций зданий. Проектирование и расчет» СТО-00802495342-2009 [36];

Вертикальные конструкции системы следует считать жестко защемленными на уровне верха фундаментов.

Физическая нелинейность учитывается введением нелинейных диаграмм зависимости напряжения. Согласно пособию Лира САПР 2013, физическая нелинейность задается следующим способом:

Для каждого из элементов задается жесткость. Через параметры материала задается закон нелинейного деформирования, в пособии предлагается выбрать тип – экспоненциальный (нормативная прочность) закон деформирования для бетона и арматуры.

Далее задаются параметры арматуры в сечении. Для сжатых элементов – стержней, задается точечное армирование. Конструктивно было принято:

- арматура А500 $\varnothing 25$ для сечения 400x400
- арматура А500 $\varnothing 25$ для сечения 400x1300
- арматура А500 $\varnothing 22$ для круглого сечения $d=31,5\text{см}$

Для изгибаемых элементов – пластин, задается арматура стержневого типа (физический эквивалент сетки) А500 $\varnothing 12$.

В таблице 2.1 демонстрируется задание жесткостей и физической нелинейности для каждого из сечений.

Таблица 2.1 – Таблица жесткостей

Тип жестк	Имя	Параметры (сечения-(см) жесткости-(т,м) расп.вес-(т,м))
1*	Пластина Н 35	V=0.2,H=35,Ro=2.75
		Закон основного материала 31
		Класс бетона В30 Тип бетона ТБ
		Закон армирующего материала 11
		E- =2e+007 Sig- =-37500.0 E+ =2e+007 Sig+ =37500.0
		Тип армирования 2
		Hy=0.12 Hx=0.12 Z=-14.5
		Hy=0.12 Hx=0.12 Z=14.5
2*	Пластина Н 18	V=0.2,H=18,Ro=2.75
		Закон основного материала 31
		Класс бетона В30 Тип бетона ТБ
		Закон армирующего материала 11
		E- =2e+007 Sig- =-37500.0 E+ =2e+007 Sig+ =37500.0
		Тип армирования 2
		Hy=0.12 Hx=0.12 Z=-7
		Hy=0.12 Hx=0.12 Z=7
3*	Пластина Н 30	V=0.2,H=30,Ro=2.75
		Закон основного материала 31
		Класс бетона В30 Тип бетона ТБ
		Закон армирующего материала 11
		E- =2e+007 Sig- =-37500.0 E+ =2e+007 Sig+ =37500.0
		Тип армирования 2
		Hy=0.12 Hx=0.12 Z=-13
		Hy=0.12 Hx=0.12 Z=13
4*	Пластина Н 40	V=0.2,H=40,Ro=2.75
		Закон основного материала 31
		Класс бетона В30 Тип бетона ТБ
		Закон армирующего материала 11
		E- =2e+007 Sig- =-37500.0 E+ =2e+007 Sig+ =37500.0
		Тип армирования 2
		Hy=0.12 Hx=0.12 Z=-17
		Hy=0.12 Hx=0.12 Z=17

5*	Пластина Н 15	V=0.2,H=15,Ro=2.75
		Закон основного материала 31
		Класс бетона В30 Тип бетона ТБ
		Закон армирующего материала 11
		E- =2e+007 Sig- =-37500.0 E+ =2e+007 Sig+ =37500.0
		Тип армирования 2
		H _y =0.1 H _x =0.1 Z=-6
		H _y =0.1 H _x =0.1 Z=6
6*	Пластина Н 13	V=0.2,H=13,Ro=2.75
		Закон основного материала 31
		Класс бетона В30 Тип бетона ТБ
		Закон армирующего материала 11
		E- =2e+007 Sig- =-37500.0 E+ =2e+007 Sig+ =37500.0
		Тип армирования 2
		H _y =0.1 H _x =0.1 Z=-5
		H _y =0.1 H _x =0.1 Z=5
7*	Пластина Н 25	V=0.2,H=25,Ro=2.75
		Закон основного материала 31
		Класс бетона В30 Тип бетона ТБ
		Закон армирующего материала 11
		E- =2e+007 Sig- =-37500.0 E+ =2e+007 Sig+ =37500.0
		Тип армирования 2
		H _y =0.12 H _x =0.12 Z=-10
		H _y =0.12 H _x =0.12 Z=10
8*	Пластина Н 20	V=0.2,H=20,Ro=2.75
		Закон основного материала 31
		Класс бетона В30 Тип бетона ТБ
		Закон армирующего материала 11
		E- =2e+007 Sig- =-37500.0 E+ =2e+007 Sig+ =37500.0
		Тип армирования 2
		H _y =0.1 H _x =0.1 Z=-8
		H _y =0.1 H _x =0.1 Z=8
9*	Пластина Н 25	V=0.2,H=25,Ro=2.75
		Закон основного материала 31
		Класс бетона В30 Тип бетона ТБ
		Закон армирующего материала 11
		E- =2e+007 Sig- =-37500.0 E+ =2e+007 Sig+ =37500.0
		Тип армирования 2
		H _y =0.12 H _x =0.12 Z=-8
		H _y =0.12 H _x =0.12 Z=8

10*	Брус 20 X 26	Ro=2.75,GF=0
		B=20,H=26
		Закон основного материала 31
		Класс бетона В30 Тип бетона ТБ
		Закон армирующего материала 11
		E- =2e+007 Sig- =-37500.0 E+ =2e+007 Sig+ =37500.0
		Тип армирования 3
		Fa=3.8 Y=-5 Z=5
		Fa=3.8 Y=5 Z=5
		Fa=3.8 Y=-5 Z=21
		Fa=3.8 Y=5 Z=21
		Дробление на прямоугольники
		NZ = 5 NY = 5
11*	Брус 60 X 60	Ro=2.75,GF=0
		B=60,H=60
		Закон основного материала 31
		Класс бетона В30 Тип бетона ТБ
		Закон армирующего материала 11
		E- =2e+007 Sig- =-37500.0 E+ =2e+007 Sig+ =37500.0
		Тип армирования 3
		Fa=3.8 Y=-25 Z=5
		Fa=3.8 Y=25 Z=5
		Fa=3.8 Y=-25 Z=55
		Fa=3.8 Y=25 Z=55
		Дробление на прямоугольники
		NZ = 5 NY = 5
12*	Брус 130 X 40	Ro=2.75,GF=0
		B=130,H=40
		Закон основного материала 31
		Класс бетона В30 Тип бетона ТБ
		Закон армирующего материала 11
		E- =2e+007 Sig- =-37500.0 E+ =2e+007 Sig+ =37500.0

12*	Брус 130 X 40	Тип армирования 3
		Fa=6.158 Y=-56 Z=7
		Fa=6.158 Y=56 Z=7
		Fa=6.158 Y=-20 Z=7
		Fa=6.158 Y=-20 Z=33
		Fa=6.158 Y=-56 Z=33
		Fa=6.158 Y=56 Z=33
		Fa=8.04 Y=20 Z=33
		Fa=8.04 Y=20 Z=7
		Дробление на прямоугольники
		NZ = 5 NY = 5
13*	Кольцо 31.5 X 0	Ro=2.75,GF=0
		D=31.5,d=0
		Закон основного материала 31
		Класс бетона В30 Тип бетона ТБ
		Закон армирующего материала 11
		E- =2e+007 Sig- =-37500.0 E+ =2e+007 Sig+ =37500.0
		Тип армирования 9
		F=3.801 D=25 U0=0 U=30
		Радиально-секторальное дробление
		NK = 6 NS = 6
14*	Брус 40 X 40	Ro=2.75,GF=0
		B=40,H=40
		Закон основного материала 31
		Класс бетона В30 Тип бетона ТБ
		Закон армирующего материала 11
		E- =2e+007 Sig- =-37500.0 E+ =2e+007 Sig+ =37500.0
		Тип армирования 3
		Fa=4.909 Y=-15 Z=5
		Fa=4.909 Y=15 Z=5
		Fa=4.909 Y=-15 Z=35
		Fa=4.909 Y=15 Z=35
		Дробление на прямоугольники
		NZ = 5 NY = 5

17*	Пластина Н 20	V=0.2,H=20,Ro=2.75
		Закон основного материала 31
		Класс бетона В30 Тип бетона ТБ
		Закон армирующего материала 11
		E- =2e+007 Sig- =-37500.0 E+ =2e+007 Sig+ =37500.0
		Тип армирования 2
		H _y =0.1 H _x =0.1 Z=-6
		H _y =0.2 H _x =0.2 Z=6
18*	Брус 37 X 26	Ro=2.75,GF=0
		B=37,H=26
		Закон основного материала 31
		Класс бетона В30 Тип бетона ТБ
		Закон армирующего материала 11
		E- =2e+007 Sig- =-37500.0 E+ =2e+007 Sig+ =37500.0
		Тип армирования 3
		Fa=3 Y=-14 Z=5
		Fa=3 Y=14 Z=5
		Fa=3 Y=-14 Z=21
		Fa=3 Y=14 Z=21
		Дробление на прямоугольники
		NZ = 5 NY = 5

Следующий этап – смена типа конечных элементов. ПК Лира САПР предлагает заменить обычные конечные плоские элементы на физически нелинейные конечные элементы. В состав библиотеки нелинейных конечных элементов входят также элементы, позволяющие производить одновременный учет физической и геометрической нелинейности. Так конечные элементы типа 21 становятся типом 241 – физически нелинейный универсальный прямоугольный КЭ оболочки. Стержневые элементы из типа 10 в тип 210 – физически нелинейный универсальный пространственный стержневой КЭ.

Расчет на устойчивость к прогрессирующему обрушению будет проводиться на примере разрушения одной из колонн подземной парковки.

Во избежание геометрической изменяемости вышележащих колонн вокруг оси Z, в расчетной схеме на все узлы плиты перекрытия технического подвала накладываются дополнительные граничные условия.

К постоянным нагрузкам следует относить собственный вес несущих железобетонных конструкций, вес частей здания (пола, перегородок, подвесных потолков и коммуникаций, навесных и самонесущих, парапет и кровля) и боковое давление от веса грунта.

К длительно действующим временным нагрузкам следует относить:

- пониженные нагрузки от людей и оборудования;
- 35% полной нормативной нагрузки от автотранспорта;
- 50% полной нормативной снеговой нагрузки.

Пониженные нагрузки выбирались согласно устаревшим нормам по табл.3 СНИП 2.01.07-85*, в актуализированной версии СП 20.13330.2011[33] нормативные значения пониженных нагрузок не указываются.

Расчет на устойчивость к прогрессирующему обрушению производится от нормативных нагрузок. Все нагрузки следует рассматривать как статические с коэффициентом надежности по нагрузке равным 1,0.[36]

В особых сочетаниях нагрузок, включающих взрывные воздействия, нагрузки, вызываемые пожаром, столкновением транспортных средств с частями сооружений, кратковременные нагрузки допускается не учитывать. [34]

В загрузении, в котором моделируется разрушение колонны, задается коэффициент динамичности равный 1.1-1.2. Для этого в верхний узел колонны нужно задать 10-20% от усилия в этой колонне от сочетаний предыдущих загрузений.

Предполагается, что после удаления несущего элемента реализуются одновременно и полностью пластические свойства материалов для всех перекрытий.

Выбор коэффициента динамичности – в данной ситуации спорный вопрос. В зарубежных источниках приводится более укрупненный

показатель динамичности – в нормах UFS и GSA динамический коэффициент равен 2,0. Для высотных зданий, согласно [29], коэффициент динамичности $k_f=1,5$. В общем случае за коэффициент динамичности принимают какой-то процент от расчетного сочетания усилий по нагрузкам в узле удаляемого элемента, либо применяют квазистатический метод расчета, где коэффициент динамичности зависит от относительной высоты сжатой зоны при действии динамических нагрузок.

Далее через «монтажные таблицы» моделируются все стадии монтажа и демонтажа. Стадии монтажа – должны соответствовать количеству загрузений. Так первая стадия – это монтаж конструкций с приложением собственного веса. Вторая стадия – задание всех постоянных нагрузок – вес перегородок, пола, ограждающих конструкций. Далее прикладываются временные длительные нагрузки. С переходом в новую стадию нагрузки накладываются, и усилия в конструкциях от предыдущих загрузений остаются. На каждом шаге нагружение статической нагрузкой и вызываемое им напряженно-деформированное состояние конструкции рассматривается относительно ее напряженного состояния на предыдущем этапе нагружения.[8]

Третья стадия – демонтаж выбранного элемента, куда в соответствующем загрузении приложена нагрузка к верху узла равная 20% от усилий в этом узле по расчету по первой группе предельных состояний.

Для выполнения нелинейного расчета системы с учетом процесса монтажа необходимо задать количество нелинейных загрузений равное количеству стадий монтажа.

В каждом загрузении применяется простой шаговый метод расчета, только на этапах монтажа и демонтажа указывается количество равномерных шагов равное 10.

2.4 Результаты расчетов

Моделировалось 2 аварийные ситуации:

- выход из строя колонны подземной парковки (выбиралась наиболее нагруженная рядовая колонна)
- выход из строя колонны на 1 этаже, где расположены нежилые помещения (была выбрана крайняя колонна)

В результате расчета можно оценивать следующие характеристики:

- прогибы в плите;
- максимальные моменты;
- трещины и ширина раскрытия;
- образование пластических шарниров;
- разрушенные элементы;
- поворот элементов.

Далее приводятся таблица 2.2 по результатам расчета на 1 аварийную ситуацию.

По результатам расчета при моделировании 2 аварийной ситуации – удаление крайней колонны 1 этажа по осям Н-18 прогрессирующего разрушения не происходит. На данном участке обеспечена необходимая устойчивость. При удалении колонны усилия распределяются по соседним пилонам и колоннам, и часть усилий принимает примыкающая по оси пилонов стена. Прогибы в плите минимальны. Разрушается соседняя колонна круглого сечения – согласно [36] такой объем разрушений не характеризует прогрессирующее обрушение. Резервирования прочности и применения каких либо других мер от прогрессирующего обрушения не требуется.

В результате удаления колонны в осях К-23 в перекрытиях образуются пластические шарниры с растяжением верхней и нижней арматуры, колонны технического подвала поворачиваются вместе с нижним перекрытием вокруг мгновенной оси вращения, совпадающей с пластическим шарниром в перекрытии. Происходит разрушения связей сдвига колонн с перекрытием.

Таблица 2.2 – Результаты расчета с моделированием выхода из строя колонны К-23

	Парковка	Подвал	1 этаж	2 этаж	3 этаж	4 этаж	5-14 этажи	Покрытие
Полностью разрушенные элементы	Колонны в осях К-22, К-24	Колонны в осях К-22, К-24, Л-23, И-23	Колонны в осях К-22, К-24	Колонны в осях К-22, К-24	-	-	-	-
Максимальный прогиб, см	-	3.34	3.15	3.13	2.15	2.1	2-1.6	1.6
Разрушение перекрытия при растяжении, % разрушения основного материала	-	до 65%	до 65%	до 45%	до 30%	до 20%	5-20%	до 15%
Образование пластических шарниров, кол-во	-	9	6	2	-			
Максимальные продольные силы N, кН	-4200	-3850	-3400	-3050	-2440	-2200		-342
Максимальные моменты в вертикальных элементах, кН*м								
M _y	24.5	-59	+86	-93.6	-100	-105		131
M _x	33.6	-312	+135	+90.3	+96.6	+103		130
Максимальные моменты в горизонтальных элементах, кН*м								
M _x		-90.7	-64.4	-80.6	-79.4	-77.6		+38.2
M _y		-84.5	-82.5	-73.9	-73.4	-72.8		-54
Максимальные разрушающие напряжения по верхнему слою, МПа	-	-14.4	-13.8	-14.8	-13.4	-12.5		-7.62
Максимальные разрушающие напряжения по нижнему слою	-	-8.75	-10.3	-10.7	-10.5	-10.2		14.9

В результате расчета физически нелинейных задач, кроме перемещений узлов и напряжений (усилий) в элементах, вырабатывается

информация о состоянии материала в элементах конструкции. Эта информация размещается в таблице сведений о состоянии материала и содержит сообщения о поведении физически нелинейного материала в процессе пошагового приложения нагрузки. Причем таблица формируется в том случае, если в процессе решения задачи материал сечения был частично или полностью разрушен, а также, если в процессе шагового расчета в каком-либо сечении образовался пластический шарнир. В сообщениях указывается процент разрушения сечений элементов по основному материалу. Процент разрушения материала вычисляется на основании заданной величины дробления.

По данным результатам расчета, задавая через монтажные таблицы стадии монтажа можно определить по таблице сведений о состоянии материала последовательность возникновения разрушений. Так же можно оценить при каком предельном моменте условно конструкция выходит из строя. Можно проследить начало стадии текучести, когда конструкция достигает максимальных деформаций при максимальной нагрузке.

На первом шаге при удалении колонны в подземной парковке образуются трещины от растяжения в плите перекрытия в пролетах рядом с удаленной колонной, разрушая до 35% основного материала.

В течении 2 и 3 шагов разрушается до 60% основного материала. В перекрытие образуются пластические шарниры по направлению трещин. В приопорной части колонн рядом с удаляемой разрушается бетон при растяжении по высоте сечения на 35-45%.

На 6 шаге армирование в колоннах по оси К-24 в подземной парковке и на техническом этаже достигает площадки текучести.

На 7 шаге армирование в колоннах по оси К-22 в подземной парковке и на техническом этаже достигает площадки текучести.

Далее в результате выхода из строя колонн К-24 и К-22 на подземной парковке разрушаются вышестоящие колонны (рисунок 2.6).

В течении следующего шага выключается из работы колонна технического этажа в осях И-23.

Последними из строя выходят колонны К-22 и К-24 на 1, 2 этажах.

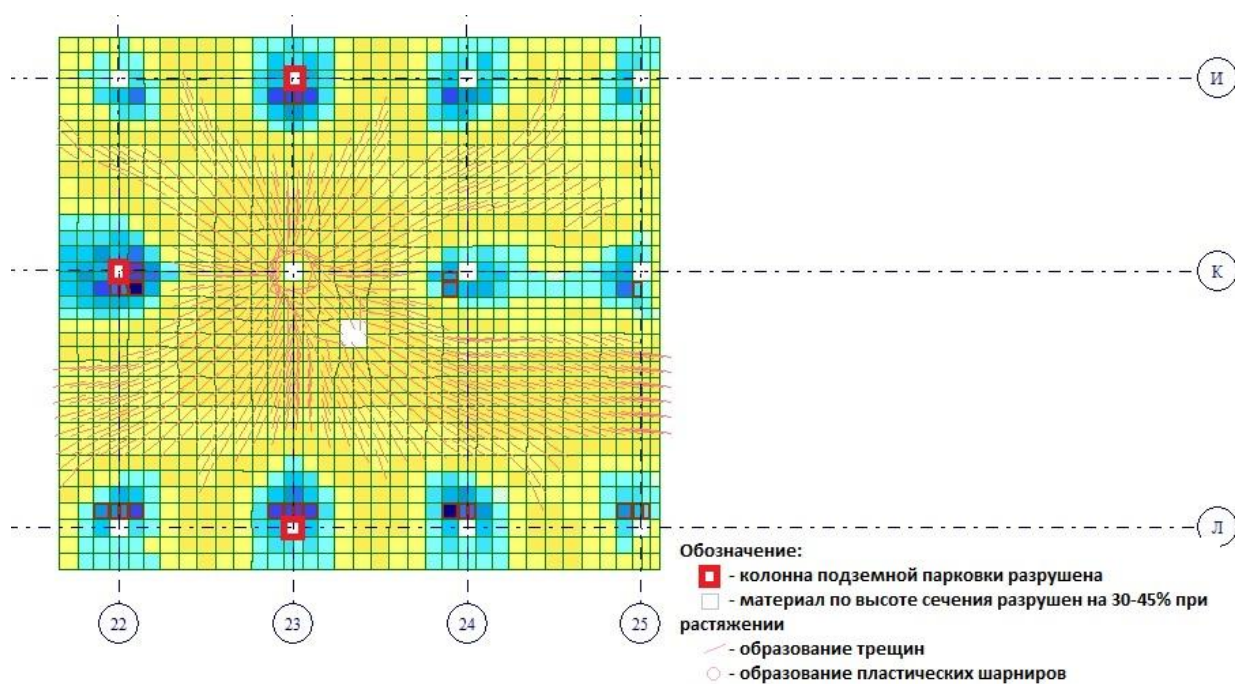


Рисунок 2.6 –Разрушения в отметке пола технического подвала после удаления колонны К-23

2.5 Выводы по 2 главе

Расчет производился в программном комплексе Лира САПР 2013. Расчет нелинейный статический с включением динамического коэффициента. Динамический коэффициент – достаточно спорная величина и подлежит большей проработки, поскольку в разных источниках она отличается. Нет конкретных указаний в нормативной документации РФ для применения коэффициента динамичности. Необходимо так же проведение и последующее сравнение результатов нелинейных динамических расчетов для полной оценки картины разрушений. Оценка результатов расчета – весьма трудоёмкая и сложная задача, прежде всего по причине того, что нет конкретных методик проведения оценки сопротивляемости конструктивной системы прогрессирующему обрушению. Однако, в том же [32] рекомендуют проводить условно такую оценку.

Оценка результатов проводилась исходя из наибольших напряжений и усилий в конструкциях и перемещения в узлах. Так же в программном комплексе есть возможность узнать при шаговом расчете о состоянии материала и выходе из строя элемента.

Обращая внимание на объем разрушений можно сделать вывод, что конструкция подвергается прогрессирующему обрушению при удалении колонны К-23 с этажа подземной парковки. Колонны поэтажно выходят из строя, чем провоцируют лавинообразное разрушение. Согласно расчету, конструкция здания не разрушается полностью, но в результате локального разрушения выходит из строя значимый объем конструкций высотой более 2 этажей и площадью около 80м^2 . Устойчивость здания против прогрессирующего обрушения не обеспечена. Требуется повышение устойчивости за счет повышения прочности элементов или иных конструктивных мер.

3 Мероприятия по защите от прогрессирующего обрушения объекта исследования

3.1 Повышение устойчивости конструктивными мерами для предотвращения прогрессирующего обрушения

Конструктивная система представляет собой взаимосвязанную совокупность вертикальных и горизонтальных несущих конструкций здания, которые совместно обеспечивают его прочность, жесткость и устойчивость.

При возникновении аварийных воздействий в системе здания должны быть обеспечены необходимые прочность и жесткость для сопротивления возникающим нагрузкам. На данный момент разработано несколько вариантов увеличения жесткости каркаса.

Например, для увеличения общей жесткости здания использование балочного железобетонного перекрытия в замен безбалочного. Как вариант – увеличение жесткости здания диафрагмами по всей высоте здания. Ещё один способ проектирования – устройство стальных и железобетонных поясов по периметру перекрытия.

Применяются пространственные системы из металла и железобетона. Система раскосов позволит наиболее равномерно распределять усилия между конструктивными элементами.

В смешанных конструктивных системах пространственная жесткость здания обеспечивается с помощью элементов переходных этажей (жестких этажей).

Наилучшие результаты на устойчивость от прогрессирующего обрушения дает применение жестких блоков на верхних этажах, в высотных зданиях повторение блоков через несколько этажей. На последнем этаже по контуру здания возводится железобетонная стена, толщиной 250-300мм. При ЧС этот жесткий блок начинает работать как балка-стенка, воспринимая усилия от растянутой колонны, а перекрытия этажей оказываются подвешенными.

Другой вариант выполнения жестких блоков – аутригерные этажи. Между колоннами устраиваются конструкции металлических ферм. Такие конструкции не занимают большой площади, что дает возможность использования на любом этаже.

Использованные переходных этажей дает большую жесткость и увеличивает сопротивляемость при горизонтальных и вертикальных нагрузках, потому такие конструкции рекомендуются при строительстве высотных зданий.

Наиболее простой и, тем не менее, эффективный способ резервирование прочности элементов. По результатам расчета оценивают наибольшие усилия, и уже относительно предельных усилий подбирается арматура. Такой подход зарекомендован во многих источниках, однако, основной минус этого метода – это значительное удорожание конструкций.

Выбор способа повышения устойчивости конструкции индивидуален. В соответствии с типом здания, его каркасом и назначением определяется наиболее подходящий метод проектирования.

Для исследуемого объекта нет необходимости применять сложные конструктивные решения, которые в свою очередь ведут к удорожанию объекта. Наличие проемов и невозможность уменьшения жилой площади по 14 этажу препятствует возведению жесткого блока. Возведение нового этажа, для его устройства ведет к неоправданному удорожанию объекта. Увеличение прочности элементов так же ведет к неоправданным расходам, так как нельзя заранее предугадать место аварийного воздействия. Основная задача при усилении объекта – это повышение устойчивости от прогрессирующего разрушения.

В качестве способа, позволяющего защитить каркасные здания от обрушения без значительного увеличения расхода материалов, предлагается использовать монолитную разгружающую плиту на отметке пола технического подвала. Разгрузочная плита представляет собой монолитную плиту перекрытия с высокой жесткостью. Мы в работе принимаем плиту

толщиной 500мм с верхним и нижним армированием $\varnothing 18$ шаг 200мм в обоих направлениях.

В таком случае плита после выключения из работы вертикального элемента парковки начинает воспринимать усилия от растянутой колонны. Увеличение жесткости по техническому подвалу позволят разграничить разрушения подземной парковки от надземной части здания, что позволит обеспечить безопасную эвакуацию для жильцов многоэтажного дома.

3.2 Результаты применения конструктивных мер

По результатам расчета был проведен сравнительный анализ показателей и характеристик. Сравнялось три состояния вертикальных конструкций:

-Усилия и напряжения при расчете на расчетное сочетание усилий по 1 группе предельных состояний;

-Усилия и напряжения при расчете на нормативные нагрузки с учетом выхода из строя элемента;

-Усилия и напряжения при расчете на нормативные нагрузки с учетом выхода из строя элемента и разгрузочной плитой перекрытия в отметке пола подвала.

Результаты анализа по стреевым элементам сведены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Сравнение усилий и напряжений в колоннах вдоль оси К и вдоль оси 23

Этаж	Колонна	Стадия	Усилия от поперечной нагрузки, N, кН	Усилия от момента, Mu, кН*м	Усилия от момента, Mx, кН*м	Max напряжения, Мпа	Усилие в стержнях арм., кН	Rs,ser/Rmax
К-22	Парковка	без повреждений	-3400	-1.4	-2.89			
		удаление колонны	-3990	-16.2	-3.33	Элемент разрушен		
		с изменениями	-3900	-15	-1	Элемент разрушен		
	Тех. подвал	без повреждений	-3120	-2.37	-30.9			
		удаление колонны	-3590	-78	-30	Элемент разрушен		
		с изменениями	-2280	-49	-83	-19.7	-227.3	-3.17

Продолжение таблицы 3.1

К-22	1 этаж	без повреждений	-2807	-9.56	-43.9			
		удаление колонны	-3150.6	-65	-43.6	Элемент разрушен		
		с изменениями	-2009	-30	-21	-15.1	-189.3	-3.81
	2 этаж	без повреждений	-2397	-17.7	-36.02			
		удаление колонны	-2790	-92	-44	Элемент разрушен		
		с изменениями	-1830	-31	-39	-15.1	-169.2	-4.26
	3 этаж	без повреждений	-2231	-24.6	-38.62			
		удаление колонны	-2460	-96	-48			
		с изменениями	-1652	-39	-41	-14.8	-328.4	-2.196
К-23	Тех. подвал	без повреждений	-3670	1.89	-26.5			
		удаление колонны	-273	-5	-63	-7.3	-53.5	-13.48
		с изменениями	-2371	-8	-54.5	-17.6	-281.4	-2.56
	1 этаж	без повреждений	-3147	5.64	-30.8			
		удаление колонны	-340	-1.3	-49	-6.1	-51.8	-13.9
		с изменениями	-2230	-11.6	-54.2	-15.8	-255.4	-2.8
	2 этаж	без повреждений	-3052	5.23	-33.6			
		удаление колонны	-408	-9.92	-52.6	-8.3	-35.2	-20.5
		с изменениями	-2072	-7.1	-46.1	-14.8	-226.2	-3.19
К-24	Парковка	без повреждений	-3503	1.92	1.15			
		удаление колонны	-4263	13.71	-24.4	Элемент разрушен		
		с изменениями	-4200	9.01	0.1	Элемент разрушен		

Продолжение таблицы 3.1

К-24	Тех. подвал	без повреждений	-3210	-1.09	-24.3			
		удаление колонны	-3845	67	0.6	Элемент разрушен		
		с изменениями	-3300	67	-25	20.1	-332.8	-2.17
	1 этаж	без повреждений	-2600	12.1	-30.2			
		удаление колонны	-2876	85.88	-42.52	Элемент разрушен		
		с изменениями	-3035	26.5	-28	20.1	-332.8	-2.17
	2 этаж	без повреждений	-3009	17.5	-29.4			
		удаление колонны	-2620	81	-41.2			
		с изменениями	-2636	41.6	-33.9	-19.7	-290.7	-2.48
	3 этаж	без повреждений	-2512	11.4	-33			
		удаление колонны	-2707	74.7	-42	-20.6	-282.1	-2.55
		с изменениями	-2480	34	-39	-18.5	-269.1	-2.68
К-25	Парковка	без повреждений	-3061	12.3	3.24			
		удаление колонны	-3200	14.09	0.93			
		с изменениями	-3100	11.9	3.2	-18.8	-354.4	-2.03521
	Тех. подвал	без повреждений	-3081	42.3	-18.1	-14.7	-250	-2.88512
		удаление колонны	-3120	-11	-2.9	-18.8	-356.9	-2.021
		с изменениями	-2980	49	-17.8	20.4	-326.1	-2.21
	1 этаж	без повреждений	-2836	39.54	-24.16			
		удаление колонны	-2872	47.75	-19.41	-19.2	-294.2	-2.45
		с изменениями	-2752	40.14	-19.6	-19	-285.5	-2.52

Продолжение таблицы 3.1

Л-23	Парковка	без повреждений	-3100	1.9	13.84			
		удаление колонны	-3241	0.86	21	-16.7	-378.6	-1.90
		с изменениями	-3340	-0.43	19	20.3	-397.4	-1.81
	Тех. подвал	без повреждений	-2800	1.8	43.78			
		удаление колонны	-3015	1.03	80	Элемент разрушен		
		с изменениями	-2781	0.2	79	20.5	-455.4	-1.58
	1 этаж	без повреждений	-2604	8.83	36.18			
		удаление колонны	-2670	1.46	64.2	19.6	-278.8	-2.58
		с изменениями	-2440	1.8	55.5	-18.1	-248.8	-2.89
	2 этаж	без повреждений	-2360	8.52	55.19			
		удаление колонны	-2414	1.2	88.78	-19.8	-247.8	-2.91
		с изменениями	-2250	0.9	74	-18.3	-223	-3.23
И-23	Парковка	без повреждений	-2800	3.45	2.14			
		удаление колонны	-3370	1.3	14	-20	-393.4	-1.83
		с изменениями	-2780	-0.17	-4	-16.2	-289.4	-2.49
	Тех. подвал	без повреждений	-2700	0.45	-10.24			
		удаление колонны	-3046	0.75	-79	Элемент разрушен		
		с изменениями	-2580	-0.44	-32	-17.2	-262.6	-2.74669
	1 этаж	без повреждений	-2516	7.07	-15.1			
		удаление колонны	-2690	-1.8	-59	-19.5	-280.6	-2.57049
		с изменениями	-2340	-0.3	-14	-14.6	-228.4	-3.15797
	2 этаж	без повреждений	-2214	5.34	-24.23			
		удаление колонны	-2426	-3	-82	-19.7	-248.4	-2.9037
		с изменениями	-2140	-2	-30	14.7	-203.1	-3.55135

Результатом расчета для горизонтальных элементов – является мозаика главных напряжений с отображением трещин и пластических шарниров в результате расчета. Сравнение мозаик напряжений обычной схемы и схемы с разгрузочной плитой при локальном разрушении по этажам представлены в приложении 1. Так же в таблицах 3.2, 3.3 приведены напряжения от действия моментов M_x и M_y для трех состояний, как и для вертикальных элементов. В приложении Б приводится сравнение эпюр моментов для трех состояний конструкций по оси $K(x)$ в плитах перекрытия в отметках пола технического подвала, 1 и 2 этажей.

Таблицы 3.2 и 3.3 условно разделены для сравнения напряжений в середине пролёта и в приопорной части соответственно.

Таблица 3.2 – Сравнение напряжений и перемещений в середине пролета вдоль оси K и вдоль оси 23

Этаж	Стадия	Расположение	Усилия от момента, M_x , кН*м на полосу 1 м	Усилия от момента, M_y , кН*м на полосу 1 м	Главные напряжения N_1 верхний слой, МПа	Главные напряжения N_1 нижний слой, МПа	Прогиб, см
Технический подвал	без повреждений	По оси y	-1.63	7.98			
		по оси x	7.9	-8.15			
	Удаление колонны	По оси y	25.17	11.1	-4.6	1.8	-3.1
		по оси x	10.1	18.9	2.67	1.4	
	С изменениями	По оси y	115	38	1.09	1.64	
		по оси x	40	165	1.5	-1.1	-95
1 этаж	без повреждений	По оси y	12.7	-11.4			
		по оси x	15.3	-12.2			
	Удаление колонны	По оси y	22.71	18.17	-5.62	1.19	
		по оси x	18	10.3			-2.87
	С изменениями	По оси y	22.2	1.067	-1.64	1.07	
		по оси x	19.9	-1.44			-0.8
2 этаж	без повреждений	по оси y	22.4	-9.2			
		по оси x	16.24	13	1.19	-2.99	-2.84
	Удаление колонны	по оси y	16	21			
		По оси y	9.3	25	1.19	-1.74	-0.7
	С изменениями	по оси x	16.8	1.5			

Таблица 3.3 – Сравнение напряжений в приопорной части плиты.

Этаж	Стадия	Название колонны	Усилия от момента, Мх, кН*м на полосу 1 м	Усилия от момента, Му, кН*м на полосу 1 м	Главные напряжения N1 верхний слой, МПа	Главные напряжения N1 нижний слой, МПа
Технический подвал	без повреждений	К23	-20.6	-29.2		
		К24	-23.24	-14.2		
		Л23	-20.6	-31.8		
	Удаление колонны	К-23	38	79	-9	1.8
		К24-22	-71.4	-23.8	-6.9	-8.53
		Л23	-20.9	-77.4	-7.04	-6.3
	С изменениями	К-23	470	211	1.19	1.14
		К24	-290	-30	-1.6	-1.8
		Л23	-48	-313	-2.1	-1.8
1 этаж	без повреждений	К-23	-30	-19.7		
		К24	-35.7	-21.6		
		Л23	-29	-48		
	Удаление колонны	К-23	52.4	53.1	-14.75	1.19
		К24	-45.7	-23.4	-4.4	-11.4
		Л23	-34.9	-49.6	-8.4	-11.4
	С изменениями	К-23	6.44	-2.9	0.23	1.63
		К24	-53.8	-24.3	1.19	-5.63
		Л23	-27	-55	1.19	-6.8
2 этаж	без повреждений	К-23	-34.3	-19.2		
		К24	-38.6	-20.1		
		Л23	0.019	1.11		
	Удаление колонны	К-23	55.4	24	-14.75	1.19
		К24	-80.4	50	1.8	-11
		И-23	-20.1	-73.8	1.19	-6.77
	С изменениями	К23	-6.68	-23	1.19	-0.99
		К24	-52.9	-20.7	1.19	-4.95
		И-23	-14.6	-47.2	1.19	-4.1

На основе таблиц, можно сделать следующие выводы при применении разгрузочной плиты:

– Величина продольной сжимающей силы в колоннах рядом с удаляемой колонной уменьшилась, и значения стали даже меньше, чем при расчете по 1 группе предельных состояний без аварийного воздействия и без применения разгрузочной плиты.

- Разрушения элементов в здании в процентном соотношении уменьшились на 70%.
- Усилия от моментов M_x , M_y в приопорной части плиты перекрытия над удаляемой колонной заметно возросли.
- Прогобы в плитах перекрытия сократились в два раза.
- Уже в отметке второго этажа в приопорной зоне над удаленной колонной главные напряжения в верхнем армирующем слое стали знакоположительными.

3.3 Резервирование прочности

Добавочная прочность реализуется при помощи коэффициента надежности по ответственности (0,95..1,2). Все элементы конструкции проектируются с запасом до 120%. Все Российские нормы и рекомендации ставят этот метод основополагающим, так как он является наиболее надежным и универсальным. В результате расчетов на устойчивость к прогрессирующему обрушению при необходимости увеличивают площадь армирования за счет увеличения диаметров и количества стержней в сечении элемента.

Для определения необходимости резервирования прочности выполняется расчет по предельным усилиям. Расчет на предельные нагрузки по наиболее опасным сечениям производится согласно пособию по проектированию к СП 52-101-2003 [25].

Расчет сжатых элементов выполняется для сечения колонны подземной парковки.

Для колонн сечением 400х400мм

$b=400\text{мм}$

$h=400\text{мм}$

$a=a' = 50 \text{ мм}$

Бетон класса В30 ($R_b= 29 \text{ МПа}$, $E_b= 3 \cdot 10^5 \text{ МПа}$)

Арматура симметричная класса А500 ($R_s=R_{sc}= 400 \text{ МПа}$)

Наибольшие продольная сила и изгибающие моменты в опорном сечении колонны подземной парковки: $N_y= 4200 \text{ кН}$, $M_x=34 \text{ кНм}$, $M_y=30 \text{ кНм}$

Высота этажа 3м.

Требуется определить площадь сечения арматуры и сравнить с существующей.

Расчет:

$$h_0 = 400 - 50 = 350 \text{ мм.} \quad (3.1)$$

В соответствии с п.3.53 принимаем $\eta_v = 1,0$, а согласно п.3.55, расчетную длину колонны принимаем равной $l_o = 3$ м.

Усилия от всех нагрузок равны

$$M = M_v + M_h = 34 + 30 = 64 \text{ кНм}; \quad (3.2)$$

$$N = 4200 \text{ кН}$$

Из табл. 3.2 находим $a_R = 0,372$, $\xi_R = 0,493$

$$a_n = \frac{N}{R_b b h_0} = \frac{4200 \cdot 10^3}{29 \cdot 400 \cdot 350} = 1,03 \quad (3.3)$$

$$a_{m1} = \frac{M + \frac{N h_0 - a'}{2}}{R_b b h_0^2} = \frac{64 \cdot 10^6 + 4200 \cdot 10^3 \cdot \frac{350 - 50}{2}}{29 \cdot 400 \cdot 350^2} = 0,488 \quad (3.4)$$

$$\delta_1 = \frac{a'}{h_0} = \frac{50}{350} = 0,143 \quad (3.5)$$

Так как $a_n > \xi_R$, значение $A_s = A'_s$ определяем по формуле (3.94). При этом, поскольку здесь определяющим прочностью является сжатая арматура, принимаем $R_s = R_{sc} = 400$ МПа. Значение ξ определяем по формуле (3.92), вычисляя a_s по формуле (3.95) при:

$$\xi_1 = \frac{a_n + \xi_R}{2} = 1,5 \quad (3.6)$$

$$a_s = \frac{a_{m1} - \xi_1 (1 - \frac{\xi_1}{2})}{1 - \delta} = \frac{0,488 - 1,5 (1 - \frac{1,5}{2})}{1 - 0,143} = 0,13 \quad (3.7)$$

$$\xi = \frac{a_n (1 - \xi_R) + 2 a_s \xi_R}{1 - \xi_R + 2 a_s} = \frac{1,03 \cdot (1 - 0,493) + 2 \cdot 0,13 \cdot 0,493}{1 - 0,493 + 2 \cdot 0,13} = 0,85 \quad (3.8)$$

$$A_s = A'_s = \frac{R_b b h_0}{R_{sc}} \cdot \frac{a_{m1} - \xi (1 - \frac{\xi}{2})}{1 - \delta} = \frac{29 \cdot 400 \cdot 350}{400} \cdot \frac{0,488 - 0,85 (1 - \frac{0,85}{2})}{1 - 0,143} = 1175 \text{ мм}^2 \quad (3.9)$$

Необходимая площадь сечения армирования 23,5 см.

Исходное армирование, принятое в проекте 4Ø25, что соответствует площади 19,63. Из чего делаем вывод, что необходимо резервирование прочности колонн подземной парковки. Необходимое армирование 4Ø28.

При расчете колонны типового этажа и технического подвала на действие максимального момента при удалении элемента было установлено, что увеличения прочности не требуется.

Расчет площади армирования для горизонтальных элементов произведен от действия максимальных напряжений в приопорной зоне над удаляемой колонной на полосу шириной 1 м.

$$b=1000\text{мм}$$

$$h=180\text{мм}$$

$$a=a'=30\text{ мм}$$

Бетон класса В30 ($R_b=29\text{ МПа}$, $E_b=3\cdot 10^5\text{МПа}$)

Арматура симметричная класса А500 ($R_s=R_{sc}=435\text{ МПа}$)

Изгибающий момент: $M=71,3\text{ кНм}$

Расчет:

$$h_0=180-30=150\text{ мм} \quad (3.1)$$

$$a_m = \frac{M}{R_b b h_0^2} = \frac{71,3 \cdot 10^6}{29 \cdot 1000 \cdot 150^2} = 0,011 \quad (3.10)$$

По табл. 3.2. находим $a_r=0,371$. Так как $a_m=0,011 < a_r$, сжатая арматура по расчету не требуется.

Требуемую площадь сечения растянутой арматуры определяем по формуле (3.23):

$$A_s = R_b b h_0 * \frac{1 - \sqrt{1 - 2a_m}}{R_s} = 29 \cdot 100 \cdot 150^2 * \frac{1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,011}}{435} = 1478,32\text{мм}^2 \quad (3.11)$$

Необходимая площадь сечения армирования $29,74\text{ см}^2$.

Исходное армирование, принятое в проекте А500Ø12 с шагом 200, что соответствует площади $9,04\text{см}^2$. Делаем вывод, что необходимо резервирование прочности. Необходимое армирование А500Ø25 с шагом 150.

По результатам расчетов можно прийти к следующим выводам:

При аварийных воздействиях требуется увеличение армирования горизонтальных элементов, в несколько раз превышающее армирование по первой группе предельных состояний.

Резервирование вертикальных элементов не является необходимым в типовых этажах и техническом подвале. Однако прочности в колоннах технического подвала недостаточно. Требуется увеличение армирования в колоннах сечением 400х400мм в техническом подвале.

3.4 Экономическое сравнение резервирования прочности и разгрузочной плиты

Для обеспечения конструктивной безопасности любой из методов защиты ведет к удорожанию отдельных конструкций и здания в целом.

На данном этапе сравнивалось увеличение по затратам при возведении здания с разгружающей плитой и при возведении здания с требуемым армированием по расчету, относительно здания без мероприятий по конструктивной безопасности от аварийных воздействий.

Сравнение в таблице 3.4 проводилось относительно горизонтальных элементов по арматуре.

Таблица 3.4 – Сравнение стоимости армирования плит перекрытия.

	Основная сетка	Арматура, м	Арматура, кг	Цена за кг, руб.	Итого на этаж, руб.	Итого на здание, руб.	Удорожание, %
Без изменений	A500Ø12 с шагом 200	7296.1	6478.9	27	174931.294	2623969.404	100
Резервирование прочности	A500Ø25 с шагом 150	9703.3	37357.7	27	1008658.04	3025974.105	195.3
Разгрузочная плита	A500Ø18 с шагом 200	7296.1	14592.2	27	393989.4	393989.4	108.3

Добавочная прочность плит перекрытия необходима, согласно расчету, в отметке пола технического подвала, 1,2 этажей. Резервирование плит считалось для указанных плит перекрытия – поскольку именно в этих этажах напряжения от моментов достигали максимальных величин.

Для разгрузочной плиты не учитывался расход бетона, условно примем, что бетонирование плиты высотой в 500мм увеличит расходы на 8-10% с учетом устройство опалубки и расхода материалов.

Исходя из данной таблицы, можно заключить, что удорожание объекта с разгрузочной плитой незначительно, по сравнению с удорожанием при резервировании прочности плит перекрытия.

3.5 Выводы по главе 3

При выборе способа повышения устойчивости нужно опираться на назначение и функциональность здания. Исследованы некоторые способы повышения устойчивости, однако применение каждого из способов выбирается индивидуально для здания. Нет унифицированного способа повышения устойчивости для многоэтажных жилых зданий, кроме резервирования прочности.

По результатам расчета можно заключить, что применение разгрузочной плиты в качестве защиты от прогрессирующего обрушения предотвращает лавинообразное разрушение. В результате удаления вертикального элемента из конструктивной схемы с разгрузочной плитой выходят из строя близстоящие колонны, но последующего разрушения не наблюдается. Поскольку прогрессирующее обрушение характеризуется лавинообразным разрушением всей конструктивной системы или его значимой части – более 2 этажей или площадь разрушения более 80м^2 , можно заключить, что в данной ситуации в здании обеспечена устойчивость против прогрессирующего обрушения.

По результатам расчета по предельным усилиям определено армирование, превышающее принятое в проекте. В плитах перекрытия и в колоннах подземной парковки требуется увеличение прочности. Значительное увеличение площади армирования требуется в плитах перекрытия в отметках пола технического подвала, первого и второго этажей.

По цене армирование разгружающей плиты в отметке пола технического подвала во много раз ниже, чем армирование плит перекрытия в отметках пола технического подвала, первого и второго этажей.

Заключение

Прогрессивное обрушение – тот вид аварии, который может унести огромное количество жизней людей. Совершенно точно можно сказать, что мы не можем рассчитать вероятность возникновения той или иной чрезвычайной антропогенной ситуации, но мы можем уменьшить потери при её возникновении.

При строительстве новых объектов – зданий высоток, сооружений для культурно-зрелищных мероприятий и прочих зданий и сооружений с массовым пребыванием людей закладывается величина риска возникновения аварии, просчитываются все возможные локальные аварийные воздействия. Но не стоит забывать, что в многоэтажных жилых зданиях могут с такой же вероятности произойти те же самые аварийные ситуации.

В результате расчета многоэтажного жилого каркасного здания на прогрессирующее обрушения доказано, что в здании не обеспечивается достаточная устойчивость. Разрушается основной материал в плитах перекрытия, и выходят из строя колонны в пределах соседних осей от локального разрушения. При обычном каркасе обрушение происходит при заданной аварийной ситуации на 3 этажа, включая технический подвал.

При моделировании аварийной ситуации с разгрузочной плитой в отметке пола технического подвала разрушения ограничиваются выходом из строя двух соседних колонн от удаленной колонны. Такие разрушения допускаются и не характеризуют прогрессирующее обрушение, так как объемы разрушений не достигают значительной части. Устойчивость от прогрессирующего обрушения обеспечена. Но есть необходимость резервирования вертикальных элементов – колонн 400х400 на подземной парковке, так как при перераспределении нагрузок в сечении колонны рядом с удаленным элементом не обеспечивается достаточной прочности.

По результатам исследования можно заключить, что такое простое конструктивное решение, как разгружающая плита заметно снижает объем

разрушений после выхода из строя одного из вертикальных элементов. Устройство разгружающей плиты предотвращает большие деформации и способствует перераспределению нагрузок на вертикальные элементы конструкции. С экономической стороны удорожание объекта всего на 15-20%, что сравнительно с резервированием прочности для обеспечения устойчивости от прогрессирующего обрушения - 95%, очень незначительно.

Сравнительно с применением других конструктивных решений, таких как проектирование железобетонных поясов по периметру перекрытия или устройство аутригерных этажей, применение разгружающей плиты является самым простым технологическим и конструктивным решением. Исходя из этого, можно заключить, что использование разгружающей плиты в качестве способа повышения устойчивости здания от прогрессирующего разрушения является рациональным решением.

В научной работе доказано, что применение разгружающей плиты повышает устойчивость жилых многоэтажных зданий от прогрессирующего обрушения при аварийных воздействиях. За счет устройства разгружающей плиты в отметке пола технического подвала нагрузки перераспределяются по конструкциям до отметки жилой части здания. Это позволяет обеспечить безопасную эвакуацию жильцов и предотвратить огромные людские потери.

Результаты исследования показали, что такое конструктивное решения для предотвращения прогрессирующего обрушения, как разгружающая плита, можно применять при проектировании любых многоэтажных жилых зданий для обеспечения устойчивости без неоправданного увеличения затрат.

Список используемой литературы и источников

1. Алмазов, В. О. Динамика прогрессирующего разрушения монолитных многоэтажных каркасов / В.О. Алмазов, Као Зуй Кхой // Промышленное и гражданское строительство, № 4, 2010. –С. 52-56.
2. Алмазов, В. О. Сопротивление прогрессирующему обрушению: расчеты и конструктивные мероприятия / В.О. Алмазов // Вестник ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко «Исследования по теории сооружений» №1 (XXXVI), 2009. – С.179–194.
3. Алмазов, В. О. Сопротивление прогрессирующему разрушению – путь обеспечения безаварийности капитальных сооружений / В.О. Алмазов // Бетон и железобетон – взгляд в будущее. III Всероссийская (II Международная) конференция по бетону и железобетону. Том II. М., –2014.– С. 13–24.
4. Байбурин, Д.А. Контроль риска аварии зданий и сооружений как способ обеспечения конструкционной безопасности / Д.А.Байбурин, Е.А. Казакова// Вестник ЮУрГУ. Серия Строительство и архитектура №16 – 2011 – С. 4-6.
5. Бекиев, М.Ю. Оценка надежности реконструируемых зданий и сооружений с учетом сейсмических рисков/ М.Ю.Бекиев, А.М. Блягоз//Новые технологии. 2012. №2. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-nadezhnosti-rekonstruiruemyh-zdaniy-i-sooruzheniy-s-uchetom-seysmicheskikh-riskov> (дата обращения: 08.03.2016).
6. Ведяков, И.И. О причинах обрушения автоматизированного холодильного складского комплекса в Домодедовском районе Московской области и мероприятиях, обеспечивающих его несущую способность при восстановлении / И.И. Ведяков // Предотвращение аварий зданий и сооружений. – № 9. РААСН, М., 2010. – С. 704.
7. Гениев, Г. А. Вопросы конструктивной безопасности железобетонных конструкций при внезапных запроектных воздействиях /

Г.А. Гениев [и др.] // Бетон и железобетон – пути развития. Научные труды 2-й Всероссийской (Международной) конференции по бетону и железобетону. Т.2. – М.: 2005. – С.359–367

8. Городецкий, Д.А. ЛИРА-САПР 2013. Учебное пособие/ Городецкий Д.А., Барабаш М.С., Водопьянов Р.Ю. – К.–М.: Электронное издание, 2013г., – 376 с

9. Грошева, Е.С. Мероприятия по повышению безопасности эксплуатации жилых домов с газовым оборудованием/ Е.С.Грошева// Вестник магистратуры №4-3, 2016. – С.120-123

10. ГОСТ 27.002.89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам. – 1989. – 39 с.

11. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения

12. Егоров, П.И. Способы защиты зданий каркасного типа от прогрессирующего обрушения/ Егоров П.И., Милевская О.Ю // Ученые заметки ТОГУ. 2014. Т. 5. № 2. С. 12-20.

13. Еремин, К.И., Обеспечение безопасной работы зданий и сооружений / К.И. Еремин, С.А. Нищета, М.Б. Пермяков, М.В. Нащекин, Д.Л. Алферов, О.Ю. Ильина // Современные методы исследований строительных конструкций, технологий и систем. Магнитогорск, 1998. с. 30 – 37.

14. Иващенко, Ю.А. Обеспечение надежности при проектировании зданий и сооружений с применением железобетона/ Ю.А. Иващенко// Академический вестник УралНИИпроект РААСН – 1-2012. – С. 92-94.

15. Ключева, Н. В. Основы теории живучести железобетонных конструктивных систем при запроектных воздействиях: дис. д-ра техн. наук. / Ключева Н.В. //– Орел, 2009. – С. 454.

16. Ключева, Н.В., Андросова Н.Б. Некоторые предложения для конструктивной защиты зданий и сооружений от прогрессирующего

разрушения / Н.В. Ключева, Н.Б. Андросова // Строительство и реконструкция. – 2015. – №4. – С. 72-78.

17. Комаров, А.А. Разрушения зданий при аварийных взрывах бытового газа/ А.А.Комаров//Журнал Пожаровзрывобезопасность. – М.: МГСУ, 2002.

18. Леденев, В.В. Аварии в строительстве. Т.1. Причины аварий зданий и сооружений / В.В. Леденев//Методический совет ТГТУ- Тамбов.: 2014.

19. МГСН 4.19-05 Временные нормы по проектированию многофункциональных высотных комплексов – М. 2005

20. МДС 20-2.2008 Временные рекомендации по обеспечению безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного (прогрессирующего) обрушения при аварийных воздействиях. М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 2008

21. Мельчаков, А.П. О правилах по регулированию риска аварии зданий и сооружений на стадии возведения и эксплуатации / А.П. Мельчаков, Г. А. Беззубкова, В. Г. Косогоров, Д. В.Чебоксаров // Вестник ЮУрГУ. Серия Строительство и архитектура №25 – 2008 – С. 4-8

22. Мельчаков, А.П. «Оценка и обеспечение конструктивной безопасности строящихся зданий и сооружений» / А.П. Мельчаков// Академический вестник УралНИИпроект РААСН – 1-2012. – С. 72-75

23. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций Из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003) – М: НИИЖБ, 2005.

24. Приступок, Д.Н. Огнестойкость зданий из железобетонных конструкций при комбинированных особых воздействиях с участием пожара/ Д.Н. Приступок – М.: 2013.

25. Рамазанова, Г.А. Учет нелинейности свойств материалов при расчете железобетонных конструкций // Научное сообщество студентов XXI столетия. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: сб. ст. по мат. VI междунар. студ. науч.-

практ. конф. № 6. URL: sibac.info/archive/technic/6.pdf (дата обращения: 01.06.2017)

26. Расторгуев, Б.С. Проектирование зданий и сооружений при аварийных взрывных воздействиях: Учебное пособие/ Б.С.Расторгуев, А.И. Плотников, Д.З. Хуснутдинов – М.: Изд. АСВ, 2007. -152 с.

27. Расторгуев, Б. С. Обеспечение живучести зданий при особых динамических воздействиях. / Б. С. Расторгуев // Сейсмостойкое строительство Безопасность сооружений. №4, 2003. – С. 45– 48.

28. Рекомендации по предотвращению прогрессирующих обрушений крупнопанельных зданий. М.:ГУП "НИАЦ", 1999.

29. Рекомендации по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях / Москомархитектура.- М.: ГУП "НИАЦ", 2002.- 20 с.

30. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. М.: ГУП "НИАЦ", 2005.

31. Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения. М.:ГУП "НИАЦ", 2006.

32. СП 52-103-2007. Железобетонные монолитные конструкции зданий. М., 2007.

33. СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах СНиП II-7-81* (актуализированного СНиП II-7-81* "Строительство в сейсмических районах" (СП 14.13330.2011)) (с Изменением N 1) – М.: Минстрой России, 2016. – 125с.

34. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия (с приложениями-картами). Актуализированная редакция СНиП 2.01.07.-85*. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 85 с.

35. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 (с Изменениями N 1, 2). М.: НИИЖБ, 2013. – 152 с.

36. Стандарт организации. Предотвращение прогрессирующего обрушения железобетонных монолитных конструкций зданий. Проектирование и расчет СТО-00802495342-2009. – Москва: ОАО«ЦНИИПромзданий». – 21с.

37. Тамразян, А. Г. Несущая способность конструкций высотных зданий при локальных изменениях их физико-механических характеристик / А.Г. Тамразян, В.А. Томилин// Жилищное строительство, №11, 2007. – С. 24– 26.

38. Теличенко, В.И. Обеспечение стойкости зданий и сооружений при комбинированных особых воздействиях с участием пожара – базовый элемент системы комплексной безопасности/ В.Н. Теличенко, В.М.Ройтман// – М.: МГСУ, 2009

39. ТСН 31-332-2006 Жилые и общественные высотные здания / Санкт-Петербург, 2006

40. Федеральный закон Технический регламент о безопасности зданий и сооружений 30 декабря 2009 года № 384-ФЗ

41. Шлейков, И.Б. Регулирование уровня конструктивной безопасности зданий и сооружений на стадии проекта / И.Б.Шлейков// Челябинск – 2006

42. ACI 318, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, January. 2005.

43. BS EN 1991-1-7:2006 Eurocode 1. Actions on structures. General actions. Accidental actions.

44. Comite Europeen de Normalisation (2002), Draft pr EN 1992-1-1: July 2002, Eurocode 2 : Design of concrete structures, Part 1: General and rules for buildings, Brussels.

45. Comite Europeen de Normalisation (2002), Draft prEN 1991-1-7: March 2002, Eurocode 1 : Actions on Structures. Part 1.7: General Actions – Accidental actions due to impact and explosions. First Project Team (stage 32) draft, Amended version 8, Brussels.

46. Design of Buildings to Resist Progressive Collapse. The Unified Facilities Criteria(UFC) 4- 023- 03, Department of Defense, Approved for public release. 2003, 176p.

47. FEMA- 273, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Federal Emergency Management Agency, Oct. 1997.

48. ISO 2394. General principles on reliability for structures. ISO, 1998

49. Kokot, S. Static and dynamic analysis of a reinforced concrete flat slab frame building for progressive collapse/Kokot S., Anthoine A., Negro P., Solomos S.//Engineering Structures, Volume 40, July 2012, p.205-217.

50. Popoff, A. Jr. Design against Progressive Collapse / A. Popoff // PCI Journal, Volume 20, № 2, 1975, p. 44- 57.

51. Powell G. Progressive collapse: Case study using nonlinear analysis / G. Powell // In: Proceedings of the 2005 structures congress and the 2005 forensic engineering symposium, 2005.

52. Pretlove, A.J. Dynamic Effects in Progressive Failure of Structures / A.J. Pretlove, M. Ramsden, A.G. Atkins // International Journal of Impact Engineering, Volume 11, № 4, p.539- 546.

53. Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines for New Federal Office Buildings and Major Expansion Projects, prepared by Applied Research Associates for GSA, Washington D.C., 2003, p. 119.

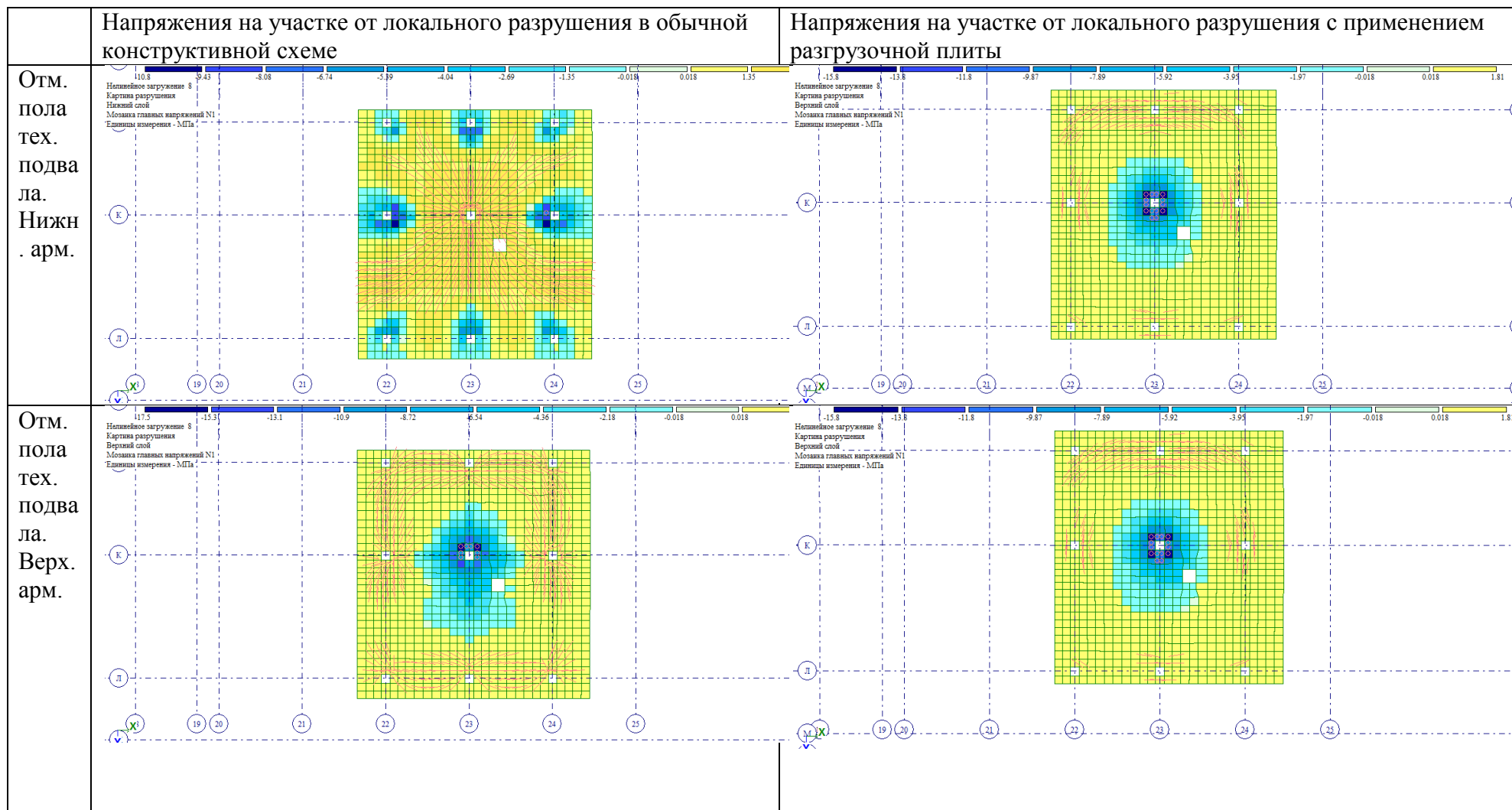
54. Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines for New Federal Office Buildings and Major Modernization Projects, U.S. General Services Administration, Nov. 2003.

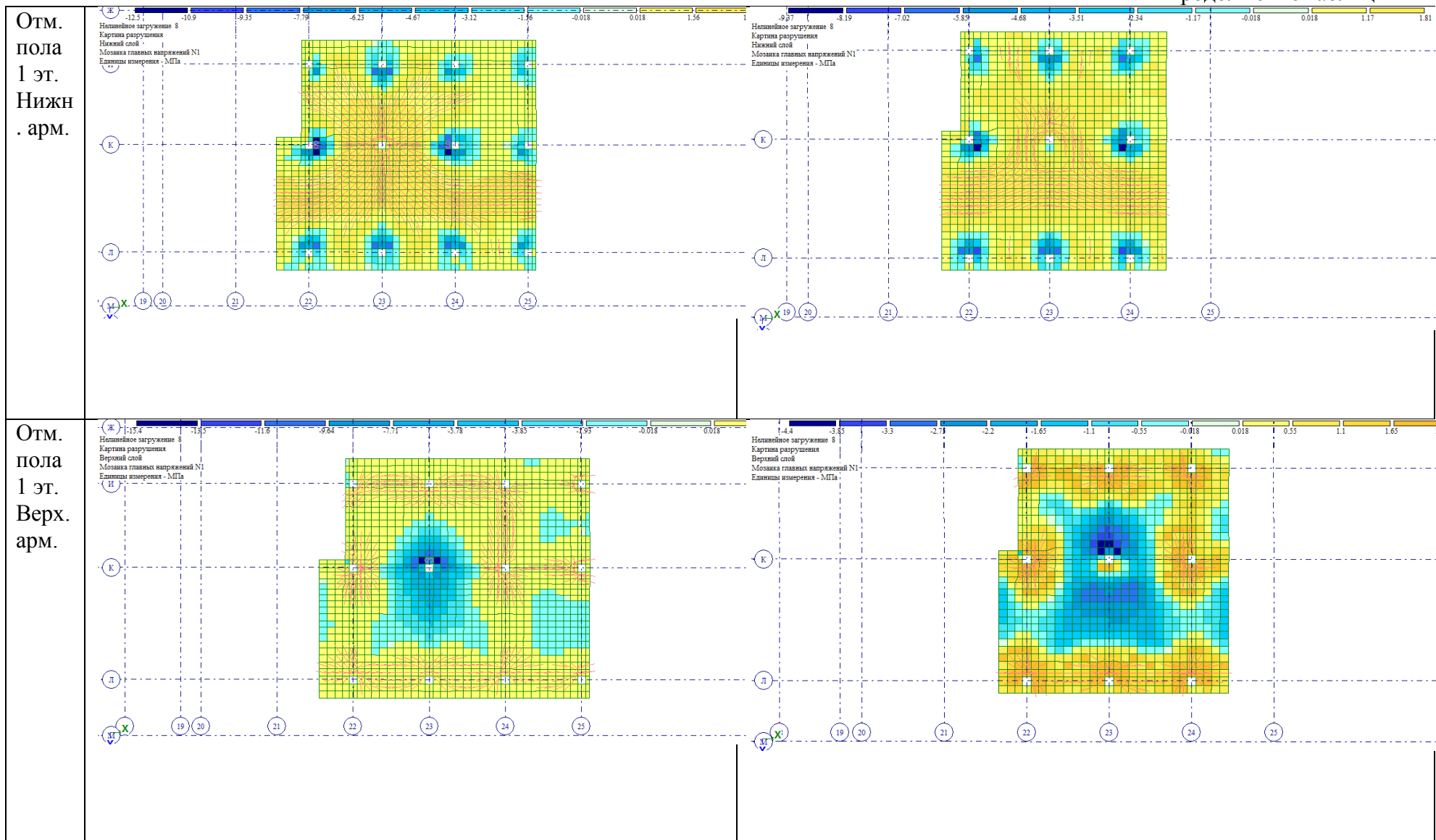
55. Strarosse U. Progressive collapse of structures, 2009

56. Mitigating the potential for progressive disproportionate structural collapse. ASCE. Journal of Performance of Constructed Facilities. Special issue. November 2006. Volume 20, number 4.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1А - Схемы разрушения горизонтальных элементов по этажам.





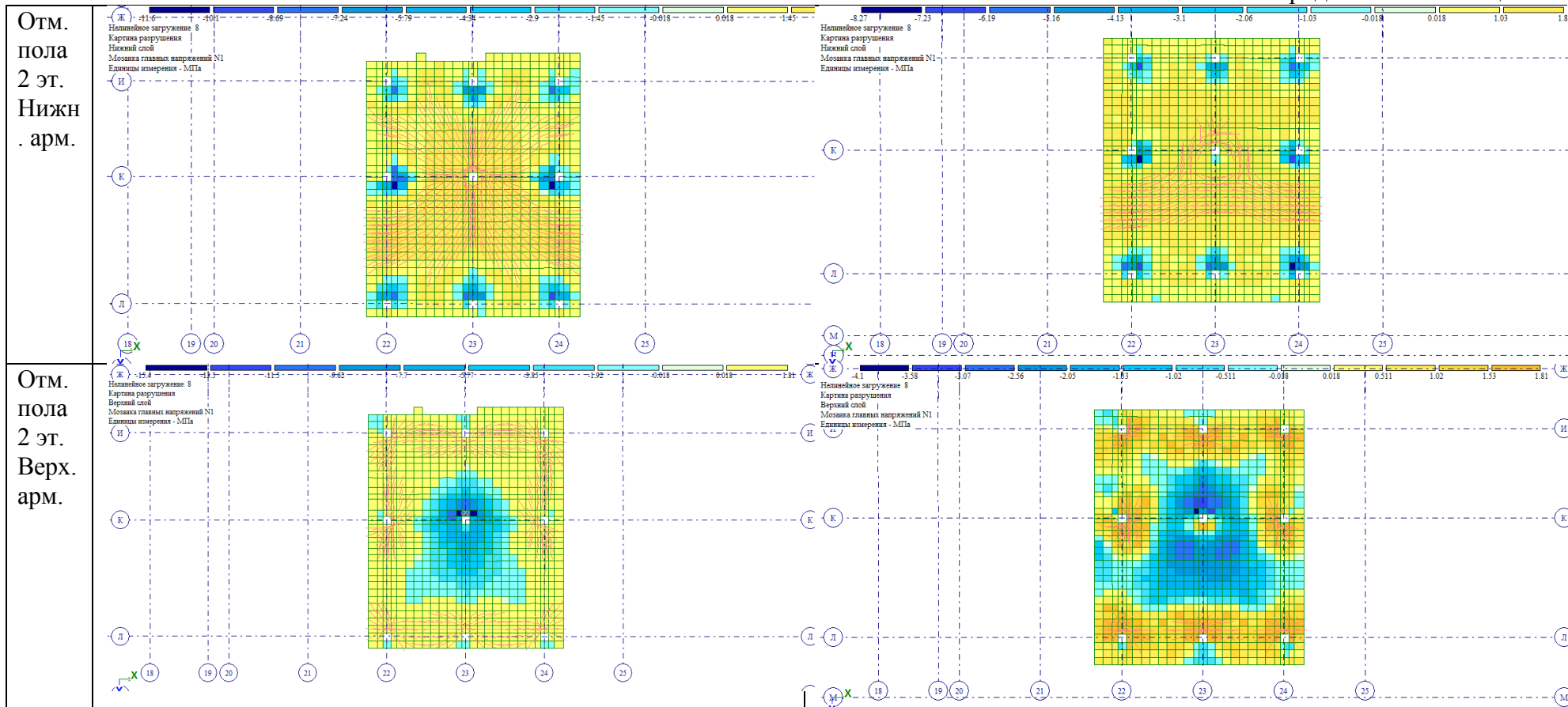


Таблица 1.Б - Эпюры моментов M_x по оси К на участке с локальным разрушением по этажам

	Технический подвал	1 этаж	2 этаж
При условиях нормальной эксплуатации			
Разрушение колонны в обычной конструктивной схеме			
Разрушение колонны с применением разгружающей плиты			