

5. Селенок С. Г. Механическое оборудование предприятий строительных материалов и изделий. М. : Стройиздат, 2012. 215 с.

6. Александров М. П. Грузоподъемные машины. М. : Высшая школа, 2010. 158 с.

УДК 624.42.2

МЕТОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ УНИКАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

О. Б. Завьялова, И. М. Омармагомедов

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (Россия)

В статье рассмотрена методика расчета многоэтажного монолитного каркасного здания на устойчивость к прогрессирующему обрушению. Даны рекомендации по определению конструкций, подлежащих усилению, и предложены меры, повышающие жизнеспособность уникальных зданий.

Ключевые слова: прогрессирующее обрушение, высотные здания, резервирование прочности.

This article describes the method of estimating the resistance to progressive collapse of multi-storey monolithic frame buildings. It also gives recommendations for the structures to be strengthened and proposes measures that increase the viability of unique buildings.

Keywords: progressive collapse, high-rise buildings, reservation of strength.

«Высотное» строительство на территории нашей страны набирает все большие обороты, несмотря на отсутствие опыта как проектирования, так и строительства. Одной из главных проблем, связанных с проектированием уникальных зданий, является малоразвитая и недостаточно проработанная база нормативно-технической документации, что требует глубокого изучения и решения проблем еще на стадии проработки эскизного проекта.

Имеющаяся на данный момент база нормативной документации [1–3] требует особого внимания к прочностным расчетам по обеспечению достаточной несущей способности и устойчивости зданий в целом, а также их отдельных конструктивных элементов. Особое внимание должно быть уделено устойчивости здания на прогрессирующее обрушение.

Как известно, прогрессирующим обрушением называется последовательное разрушение несущих конструкций здания или сооружения, возникающее в результате локального повреждения и выхода из работы отдельных несущих конструкций, что приводит к разрушению отдельной части здания, а в худшем случае – всего здания в целом.

Согласно [1], расчет на прогрессирующее обрушение необходимо производить на особое сочетание нагрузок, которое включает нормативные значения постоянных и временных длительно действующих нагрузок, с учетом коэффициента сочетания $\psi = 1$. Все нагрузки рассматриваются

как статические. Некоторые временные нагрузки принимаются с понижающими коэффициентами [1]:

- для нагрузок от автотранспорта – 35 % от полной нормативной нагрузки;
- для снеговой – 50 % от полной нормативной.

Необходимо обратить внимание, что согласно [4] в особых сочетаниях нагрузок (воздействие взрыва, столкновения транспорта с несущими конструкциями здания) временные и кратковременные нагрузки допускаются не учитывать.

В большинстве случаев удаление одной из несущих конструкций приводит к перегрузке соседних, вызывая тем самым прирост напряжений, превышающих их несущую способность. Основным и наиболее простым методом защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения является резервирование прочности несущих конструкций.

Согласно [2] и [3], при локальном обрушении одной из вертикальных несущих конструкций, которая является опорой для монолитного перекрытия, не должно произойти обрушение последнего. Однако величины раскрытия трещин в перекрытии и его прогиб не ограничиваются. Таким образом, можно заранее позаботиться о резервировании прочности не только вертикальных несущих конструкций, но и горизонтальных – плит перекрытий, установкой дополнительного армирования.

Постановка задачи расчета на прогрессирующее обрушение

В качестве примера рассмотрим расчет высотного жилого здания с монолитным железобетонным каркасом, имеющего 42 этажа (без учета технических) в высотной части, и четыре этажа в стилобатной части. Вертикальные несущие элементы представлены пилонами. В средней части здания имеется монолитное ядро жесткости. Монолитное ребристое перекрытие имеет толщину 25 см. Расчет здания на устойчивость от прогрессирующего обрушения произведен на особое сочетание нагрузок, включающее постоянные нагрузки при возможных схемах локальных разрушений. В принятом сочетании нагрузок для данного расчета учтены только постоянные нагрузки и собственный вес конструкций в соответствии с требованиями [4]. Для расчета на прогрессирующее обрушение предусмотрены следующие схемы локальных разрушений:

- разрушение колонн-пилонов, находящихся в угловой части планировки высотной части здания;
- разрушение колонн, находящихся на второй или предпоследней продольной оси в стилобатной части здания.

Всего было рассмотрено три варианта удаления колонн в высотной части и три варианта – в стилобатной. Поскольку эти части разделены деформационным швом, усилия с одной части на другую не передаются.

На рис. 1 и 2 показаны архитектурный план здания и его фрагмент для указания удаляемой конструкции. Все расчеты выполнены в учебной

версии программного комплекса «Ли́ра-САПР». На рис. 3 изображен характер деформаций перекрытий при удалении пилона первого этажа.

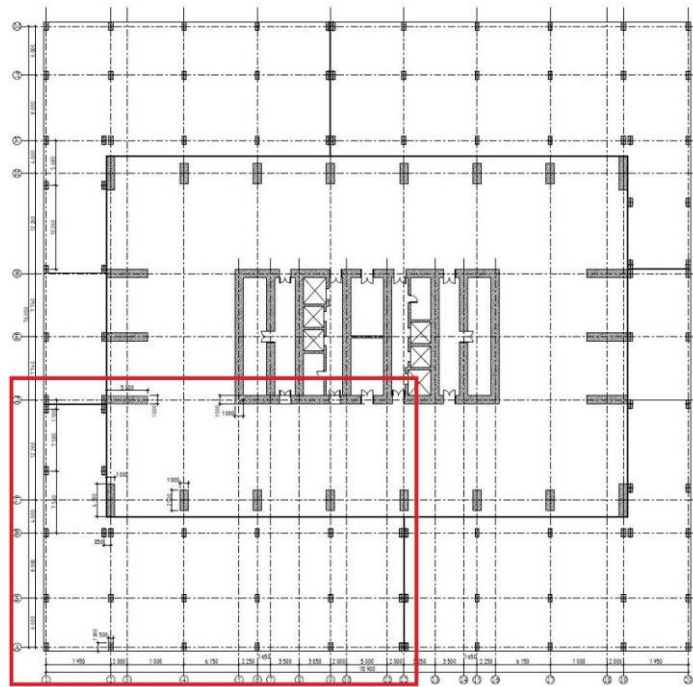


Рис. 1. Архитектурный план несущих конструкций высотного здания на уровне -3 этажа. В выделенном фрагменте будет моделироваться локальное разрушение вертикальных несущих конструкций

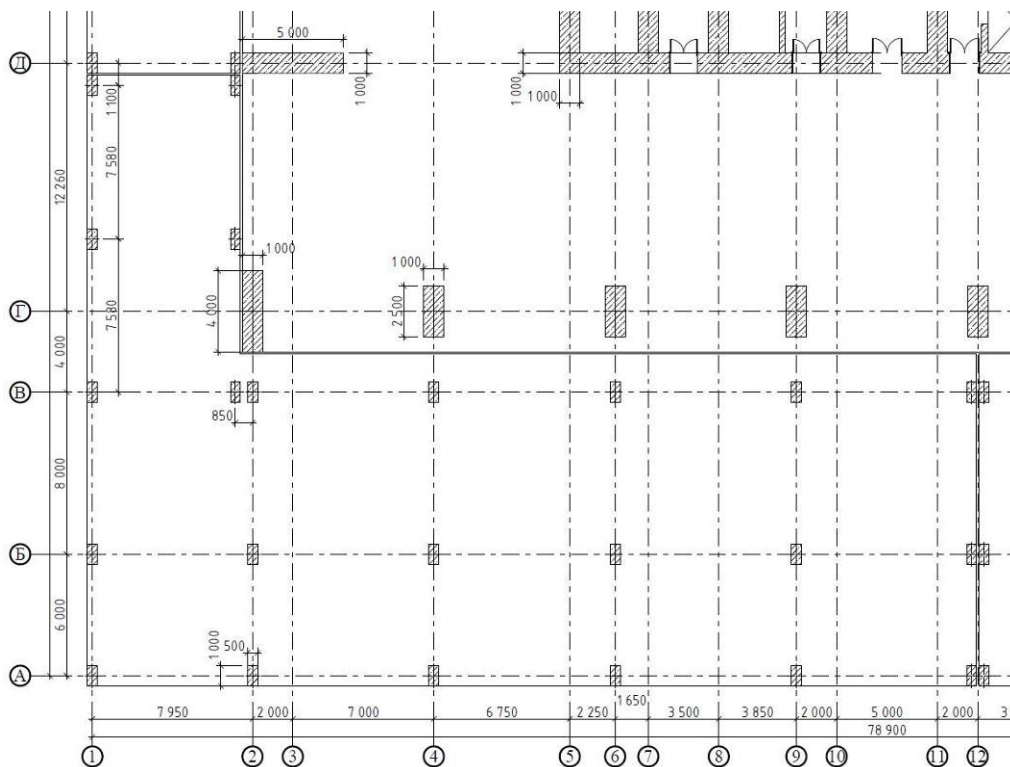


Рис. 2. Архитектурная планировка конструкций в рассматриваемом фрагменте здания

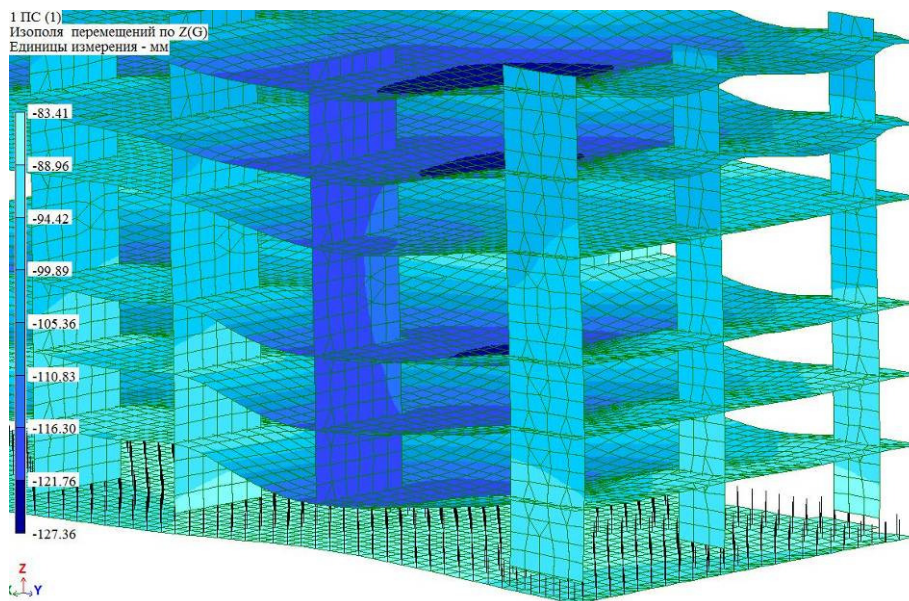


Рис. 3. Характер деформации перекрытий при удалении пилона первого этажа

Результаты расчета на прогрессирующее обрушение

I вариант: удалена колонна в уровне -3 этажа стилобатной части здания на пересечении осей 9-Б; удалена колонна-пилон в уровне -3 этажа высотной части здания на пересечении осей 4-Г.

Полученные усилия в колоннах и пилонах, расположенных в непосредственной близости от удаленных, представлены в табличной форме.

Таблица 1

Усилия сжатия в колонне или пилоне, тс

Положение колонны, пилона	6-Б	12-Б	9-А	9-В	2-Г	6-Г
Обычный расчет/ прогрессирующее обрушение	-772/ -663	-360/ -375	-376/ -540	-657/ -615	-7288/ -8034	-7572/ -8074
Прирост усилия, %		4,2	43,6		10,3	6,6

Оценим несущую способность колонн, получивших дополнительные усилия. Известно, что коэффициент надежности по бетону составляет 1,3 [5]. Таким образом, для перехода с расчетного сопротивления на нормативное следует увеличить расчетное в 1,3 раза. Кроме того, можно учесть нарастание прочности бетона во времени (примерно 1,25) [6]. Общий увеличивающий коэффициент несущей способности колонны составит $1,3 \times 1,25 \times 0,9 = 1,46$, где $\gamma = 0,9$ – принятый в расчете коэффициент запаса прочности. Таким образом, предельно допустимую нагрузку на колонну можно увеличить по отношению к расчетной на 46 %.

Вывод: при разрушении колонны и пилона, расположенных на пересечении осей 4-Г и 9-Б, разрушение рядом стоящих колонн и пилонов не прогнозируется, так как прирост сжимающих усилий в них не превышает

46 %. Таким образом, резервы несущих способностей колонн и пилонов достаточны.

II вариант: удалена колонна в уровне -3 (подземного) этажа стилобатной части здания на пересечении осей 6-Б; удалена колонна-пилон в уровне -3 этажа высотной части здания на пересечении осей 2-Г. Результаты в таблице 2.

Таблица 2

Усилие сжатия в колонне или пилоне, тс

Положение колонны, пилона	4-Б	9-Б	6-А	6-В	3-Д	4-Г
Обычный расчет/ прогрессирующее обрушение	-776/ -667	-814/ -677	-351/ -511	-610/ -591	-11261/ -10976	-7649/ -9158
Прирост усилия, %			31,3			16,5

Ранее, при расчете на обрушение по первому варианту, был получен увеличивающий коэффициент несущей способности, равный 1,46.

Вывод: разрушение рассмотренных конструкций (колонна и пилон) приводит к перегрузке некоторых соседних, но, несмотря на это, обеспечивается достаточная несущая способность. Необходимости в усилении конструкций нет.

III вариант: удалена колонна в уровне -3 этажа стилобатной части здания на пересечении осей 4-Б; удалена колонна-пилон в уровне -3 этажа высотной части здания на пересечении осей 3-Д. Результаты в таблице 3.

Таблица 3

Усилие сжатия в колонне или пилоне, тс

Положение колонны, пилона	2-Б	6-Б	4-А	4-В	2-Г	4-Г	3-Е
Обычный расчет/ прогрессирующее обрушение	-734/ -884	-772/ -894	-356/ -682	-623/ -826	-7288/ -9411	-7649/ -8590	-10303/ -15474
Прирост усилия, %	20,4	15,8	91,6	32,6	29,1	12,3	50,2

Вывод: запас прочности недостаточен для колонны 4-А и пилона 3-Е, в связи с чем конструирование их сечений необходимо выполнить по полученным усилиям от возможного обрушения рассмотренных конструкций.

Расчет и резервирование прочности монолитных перекрытий. Необходимо обратить внимание на то, что, несмотря на отсутствие поставленных ограничений по величине раскрытия трещин и прогибов в плитах перекрытий [4], необходимо зарезервировать прочность не только вертикальных несущих конструкций, но и горизонтальных, тем самым обеспечив их достаточной несущей способностью не только по 1 группе предельных состояний, но и по возможности – по 2 группе. Усиление плит перекрытий установкой дополнительной арматуры, сравнение их прогибов, а

также возможные методы предотвращения их разрушения от локального повреждения одной из вертикальных несущих конструкций будет рассмотрено далее.

Сравним максимальные прогибы монолитных плит перекрытий высотной части здания при обычном расчете и от ранее рассмотренных вариантов локальных повреждений колонн-пилонов в основании высотной части. Результаты показаны на рисунке 3 для -3 (подземный этаж), 1, 10, 20, 30 и 40-го этажей. На всех диаграммах одинаковые обозначения:

Ряд 1 – перемещения при обычном расчете;

Ряд 2 – перемещения при расчете на обрушение по I варианту;

Ряд 3 – перемещения при расчете на обрушение по II варианту;

Ряд 4 – перемещения при расчете на обрушение по III варианту.

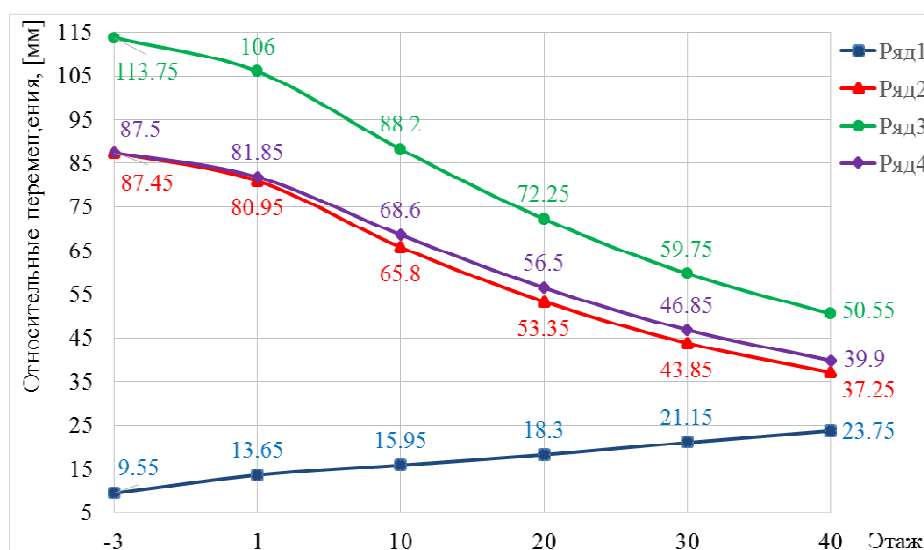


Рис. 3. График изменения максимальных перемещений плит перекрытий по высоте здания при различных вариантах локальных разрушений

Сравнивая полученные результаты, замечаем, что дополнительные перемещения от локальных обрушений получили все рассмотренные перекрытия по высоте здания, причем дополнительный прогиб на вышележащих этажах уменьшается за счет включения в работу всех ниже лежащих перекрытий.

Кроме того, расчетами получены требуемые площади армирования рассмотренных перекрытий при обычном расчете и при расчетах по ранее рассмотренным вариантам локальных повреждений колонн-пилонов высотной части. Результаты показаны на рис. 4–7 (обозначения те же).

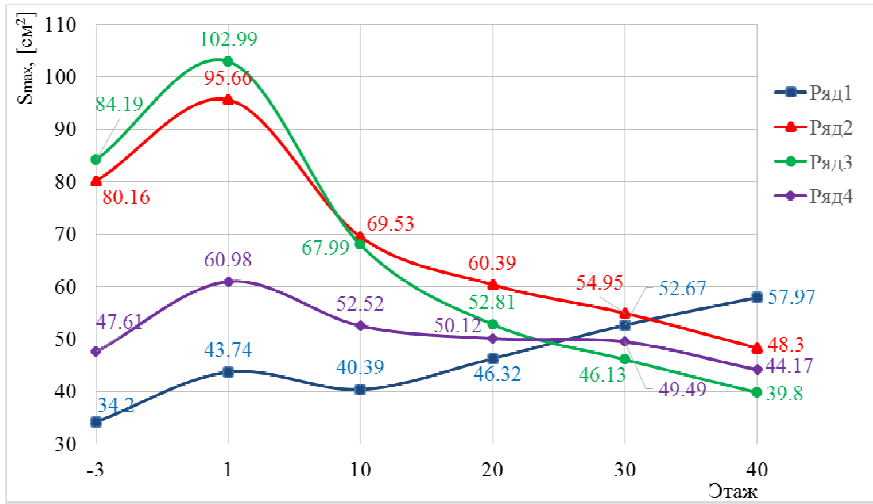


Рис. 4. График изменения требуемой площади армирования плиты по верхней плоскости вдоль оси X, [см²/м]

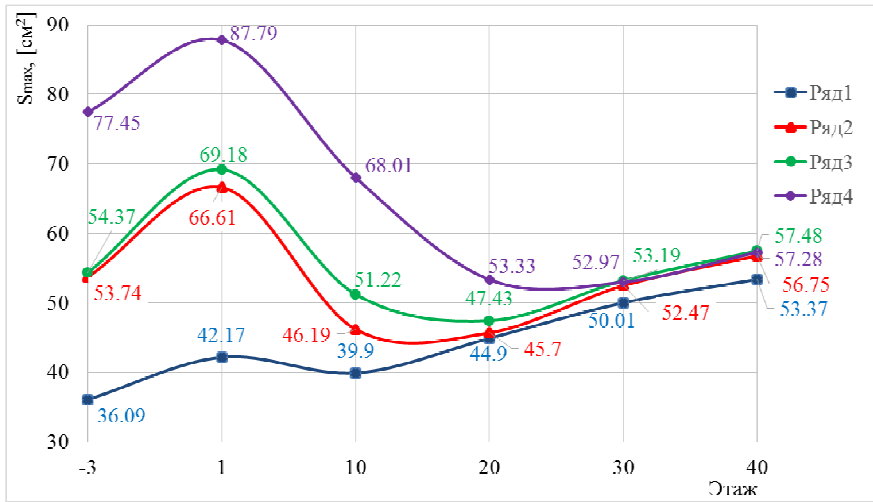


Рис. 5. График изменения требуемой площади армирования плиты по верхней плоскости вдоль оси Y, [см²/м]

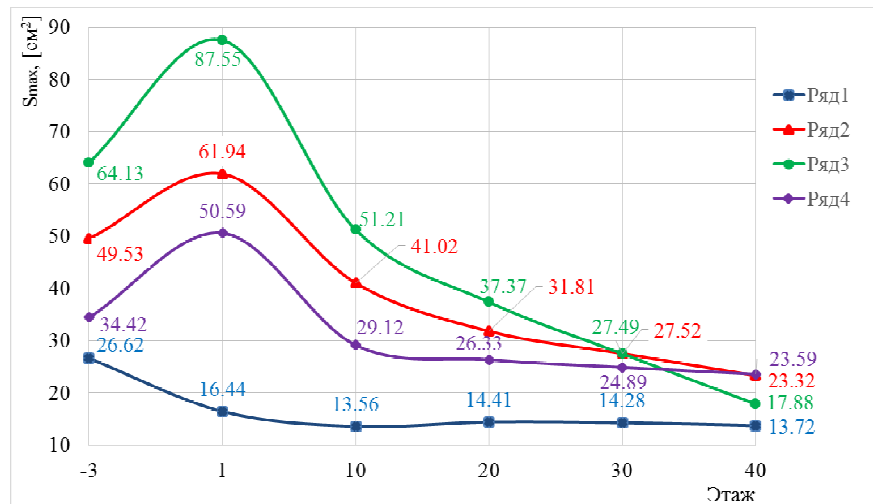


Рис. 6. График изменения требуемой площади армирования по нижней плоскости вдоль оси X, [см²/м]

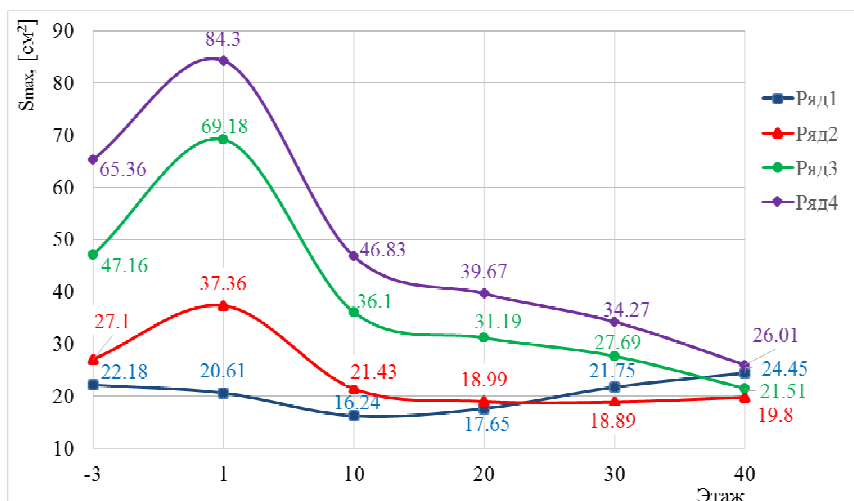


Рис. 7. График изменения требуемой площади армирования по нижней плоскости плиты вдоль оси Y, [см²/м]

На всех диаграммах экстремальные значения процентов армирования соответствуют плите перекрытия первого этажа, на которую действуют большие, по сравнению с остальными плитами, временные и постоянные нагрузки. По всем рассмотренным вариантам локальных повреждений значительное увеличение армирования требуется только до 20–22 этажа, дальнейший прирост внутренних усилий в плитах незначителен и не требует резервирования прочности. Однако такое решение упрочнения горизонтальных несущих конструкций может быть нерациональным в том, что возникает потребность в дополнительной арматуре для всех плит перекрытий, получивших большие деформации. В конечном итоге решение этой проблемы по всему зданию может оказаться очень дорогостоящим.

Рациональными методами решения таких проблем могут быть возведение этажа жесткости (аутригера) в нижней части высотного здания, а также устройство разгрузочной плиты. Последнее является наиболее простым конструктивным и технологическим решением. Разгрузочная плита представляет собой монолитную плиту перекрытия с высокой жесткостью (во много раз большей по сравнению с обычной плитой перекрытия), воспринимающую дополнительные изгибающие моменты, возникающие в результате локальных обрушений вертикальных несущих конструкций. В результате расположенные выше разгрузочной плиты конструкции этажей не получают чрезмерных деформаций. Такое решение является более рациональным и экономичным, чем резервирование прочности плит перекрытий на каждом этаже.

При трех различных расчетах на прогрессирующее обрушение максимальные перемещения были получены по II варианту локального повреждения. Поэтому рассмотрим этот же вариант, но уже с устройством разгрузочной плиты в уровне 1 этажа. Построим график изменения переме-

щений по высоте здания. Толщину плиты принимаем 2000 мм. Характеристики бетона и арматуры такие же, как и предыдущих расчетах.

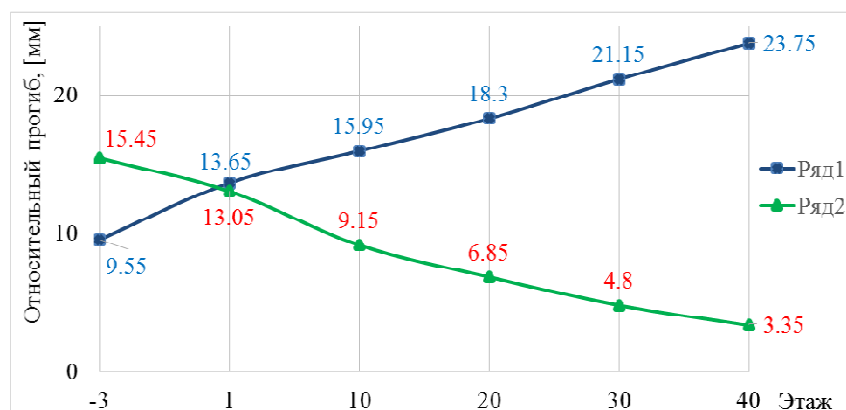


Рис. 8. График изменения максимальных перемещений плит перекрытий по высоте здания при обычном расчете и расчете на обрушение по II варианту с усилением разгрузочной плитой: ряд 1 – перемещения при обычном расчете; ряд 2 – перемещения при расчете на обрушение по II варианту

Сравнивая полученные результаты с обычным расчетом, делаем вывод, что перемещения плит перекрытий по высоте увеличиваются с меньшей интенсивностью по сравнению с результатами обычного расчета. Перемещения плит перекрытий выше 6 этажа (по графику) получаются меньше. Это объясняется перераспределением вертикальных нагрузок разгрузочной плитой на более жесткие вертикальные конструкции – в данном случае ядро жесткости.

Выводы

1. Основным средством защиты зданий от прогрессирующего обрушения является резервирование прочности несущих элементов.
2. Предложенная в статье методика выявления «проблемных» пилонов позволяет на стадии проектирования определить реальный и требуемый запас прочности вертикальных конструкций.
3. Резервирование прочности плит перекрытий с использованием дополнительной арматуры не всегда может быть рациональным, так как приводит к значительному удорожанию проекта, а также к повышению трудоемкости монтажных работ. Наиболее простым и экономически целесообразным решением является использование разгрузочной плиты, не только обеспечивающей прочность, но и предотвращающей большие деформации. С другой стороны, разгрузочная плита способствует перераспределению нагрузок на вертикальные конструкции пропорционально их жесткости, что обеспечивает более равномерные деформации фундамента и основания.

Список литературы

1. СТО-008-02495342-2009. Предотвращение прогрессирующего обрушения железобетонных монолитных конструкций зданий. Проектирование и расчет.

2. ТСН 31-332-2006.
3. МГСН 4.19-05. Многофункциональные высотные здания и комплексы. Т. II.
4. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия.
5. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры.
6. Шапиро Г. И., Коровкин В. С., Эйсман Ю. А. и др. Рекомендации по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях. М. : Москомархитектуры, 2002.

УДК 696

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ С УЧЕТОМ СОВРЕМЕННЫХ СТАНДАРТОВ

Г. Б. Сучилин, М. В. Березин

*Астраханский государственный архитектурно-строительный
университет (Россия)*

В данной статье на основе теоретических и эмпирических данных обобщается необходимый комплекс технических мероприятий по эксплуатации всех инженерных систем в многоквартирном доме, который позволит обеспечить безотказную и безаварийную работу приведенных инженерных систем. Целью работы является выработка и последующее установление мероприятий, реализация которых позволит обеспечить максимально комфортную эксплуатацию жилых многоквартирных домов.

Ключевые слова: эксплуатация, инженерные системы, водоснабжение, отопление, вентиляция, канализация, пожаротушение, мусороудаление, контроль, профилактика, мероприятия.

On the basis of theoretical and empirical evidence we generalize the necessary set of technical measures for operation of all engineering systems of the apartment house, which will ensure the continuous and trouble-free operation of given engineering systems. The aim of this work is the development and further establishment of measures, which implementation will enable to provide the most comfortable operation of apartment houses.

Keywords: maintenance, engineering systems, water supply, heating, ventilation, drainage, fire fighting, garbage disposal, control, prevention, events.

Безаварийность и эксплуатационная надежность инженерных систем в любом строительном объекте является одной из максимально приоритетных задач, возникающих при вводе объекта строительства в эксплуатацию и дальнейшем его использовании. Для успешной работы системы инженерного обеспечения здания требуется создание специализированного комплекса технических мероприятий, увязанных между собой – системы технической эксплуатации инженерного оборудования. Ее создание и дальнейшее использование позволяет реализовать функционирование инженерных систем объекта на требуемом уровне в течение полного срока жизни здания. Система технической эксплуатации инженерного оборудования характеризуется разнородностью выполняемых при ее реализации