

РАСЧЕТ ВЕРТИКАЛЬНЫХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ И РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ИХ ПРОЧНОСТИ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВОЗМОЖНОГО ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ

О. Б. Завьялова, И. М. Омармагомедов

*Астраханский государственный архитектурно-строительный
университет, г. Астрахань (Россия)*

На сегодняшний день проблема роста городов с точки зрения высокой плотности населения является острой. Поэтому, интенсивное развитие мегаполисов и рост численности населения требует решения этой проблемы необходимостью строительства высотных зданий с рациональным использованием подземного пространства.

Решение одной проблемы порождает множество других. В России пока накоплен небольшой опыт строительства высотных зданий – это и есть одна из основных проблем их проектирования и строительства. Проблемой также является отсутствие достаточной базы нормативно-технической документации по проектированию уникальных зданий высотой более 75 м.

В прочностных расчетах необходимо обратить особое внимание на требования соответствующих нормативных документов [1–3] по обеспечению несущей способности и устойчивости как отдельных частей здания, так и всего здания в целом. Одним из этих требований является расчет на прогрессирующее обрушение при возможном локальном обрушении одной из вертикальных несущих конструкций здания. Кроме того, при выходе из строя какой-либо отдельной вертикальной несущей конструкции (колонна, пилон, часть стены) оставшаяся часть здания должна быть геометрически неизменяемой.

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.

Расчет на прогрессирующее обрушение необходимо производить на особое сочетание нагрузок [1], которое включает нормативные значения постоянных и временных длительно действующих нагрузок, с учетом коэффициента сочетания нагрузок $\psi = 1$. Все нагрузки рассматриваются как статические. Согласно [1], временные нагрузки принимаются с понижающими коэффициентами:

- 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 допускается не учитывать.

В результате расчета определяются усилия или соответствующие им напряжения в несущих конструкциях сооружения от локального повреждения одного из несущих элементов здания. Полученные результаты сравниваются с результатами расчета заданной системы без локальных повреждений.

В программных комплексах пространственная расчетная схема для расчета на прогрессирующее обрушение моделируется удалением одной из наиболее нагруженных вертикальных несущих конструкций (колонна, пилон), имитируя тем самым локальное повреждение.

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.

Расчет 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.

Разрушение какой-либо конструкции здания моделируется ее удалением в расчетной схеме. Все расчеты выполнены в учебной версии программного комплекса «Лира-САПР». На рисунках 1 и 2 показаны архитектурный план здания и его фрагмент для указания удаляемой конструкции.

Расчет на устойчивость от прогрессирующего обрушения включает расчет конструкций по предельным состояниям первой группы. При этом величина допустимых трещин и деформаций не ограничивается.

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.

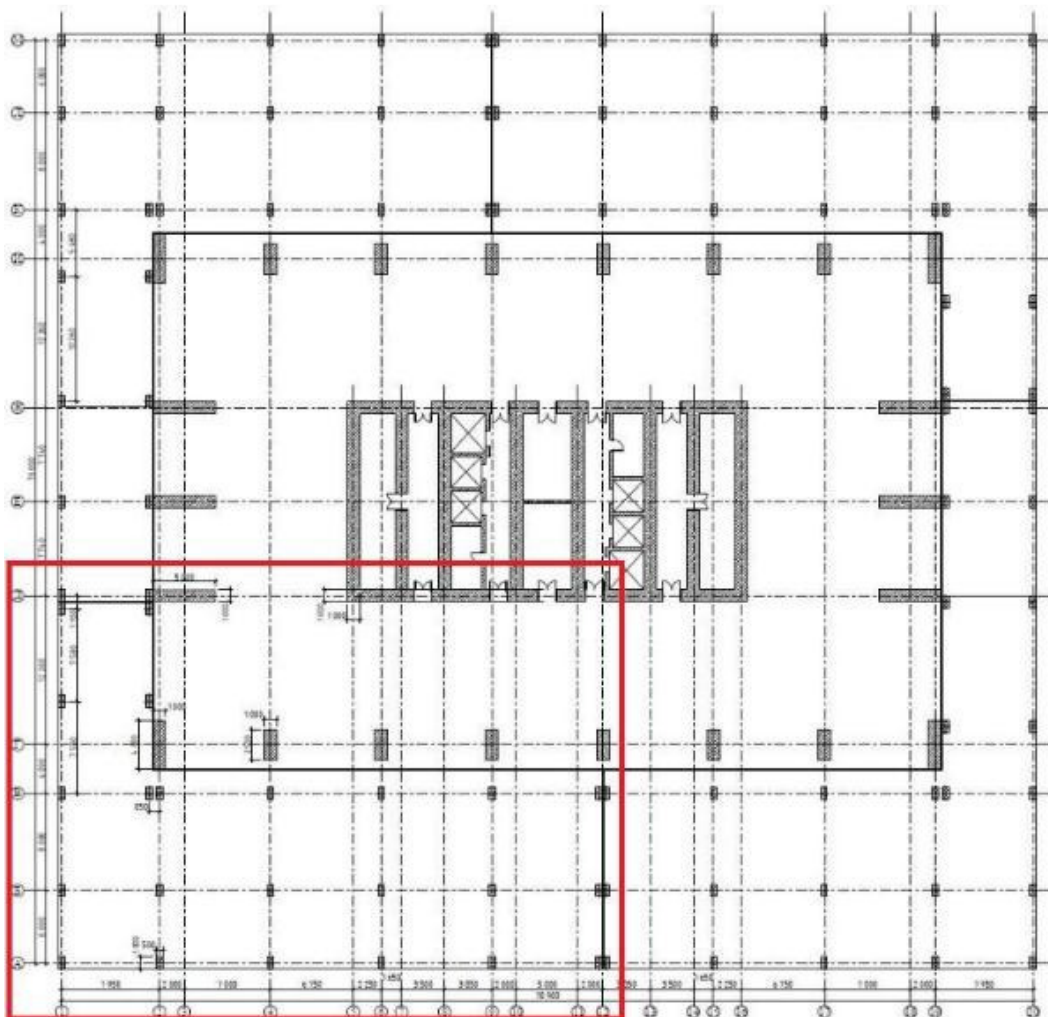


Рис. 1. Архитектурный план несущих конструкций высотного здания на уровне -3 этажа.

В выделенном фрагменте будет моделироваться локальное разрушение вертикальных несущих конструкций

Таблица 1

Результаты основного расчета и расчета на прогрессирующее обрушение

Положение колонны, пилона	6-Б	12-Б	9-А	9-В	2-Г	6-Г
Усилие сжатия в колонне или пилоне, тс	-772/	-360/	-376/	-657/	-7288/	-7572/
Обычный расчет/прогр. обруш.	-663	-375	-540	-615	-8034	-8074

Удаление колонны стилобатной части здания привело к перегрузке следующих колонн: колонна 12-Б (перегрузка 4 %); колонна 9-А (перегрузка 30,4 %).

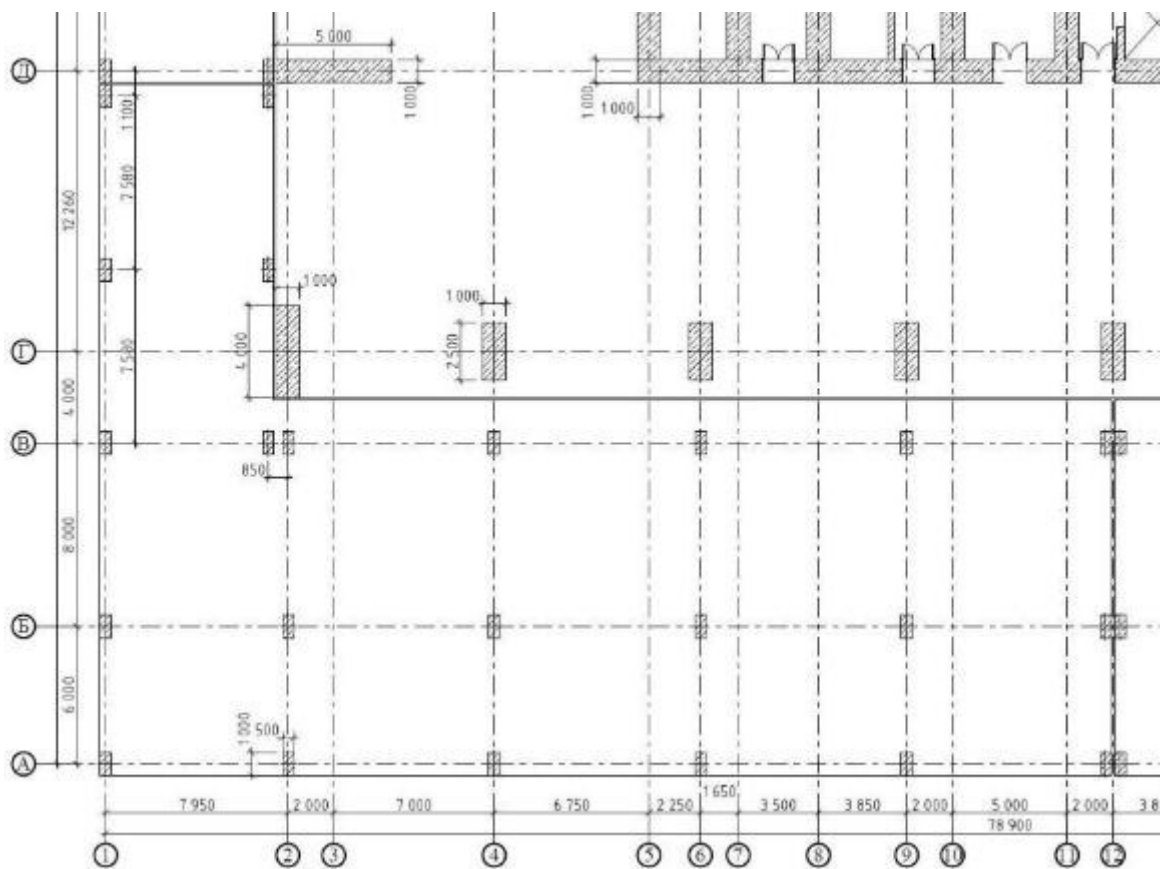


Рис. 2. Архитектурная планировка конструкций в рассматриваемом фрагменте здания

Оценим несущую способность колонны, имеющей усилие 540 тс с учетом рекомендуемых особенностей работы материалов при расчетах на устойчивость к прогрессирующему разрушению. Известно, что коэффициент надежности по бетону составляет 1,3. Т. е. 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). Тогда, общий увеличивающий коэффициент несущей способности колонны составит $1,3 \times 1,25 \times 0,9 = 1,46$, где $\gamma = 0,9$ – коэффициент запаса прочности. Таким образом, предельно допустимую нагрузку на колонну можно назначить $376 \times 1,46 = 548,96$ тс, что по отношению к усилию

540 тс выявляет резерв несущей способности около 1,6 %. Можно сделать вывод, что прочность рассматриваемой колонны достаточна даже при обрушении соседней.

Удаление пилона высотной части здания приводит к перегрузке обоих пилонов, стоящих рядом. Перегрузка пилонов следующая: пилон 2-Г – 9,3 %; пилон 6-Г – 6,2 %. Основываясь на увеличивающемся коэффициенте несущей способности (1,46) без пересчета можно заранее сделать вывод, что прочность пилонов вполне достаточна для восприятия дополнительных нагрузок в результате обрушения пилона 4-Г.

Вывод: при разрушении колонны и пилона, расположенных на пересечении осей 4-Г и 9-Б, разрушение рядом стоящих колонн и пилонов не прогнозируется. Таким образом, положительно решается вопрос об отсутствии необходимости усиления рассмотренных колонн и пилонов, поскольку резервы несущих способностей колонн и пилонов достаточны.

II вариант:

удалена колонна в уровне -3 этажа стилобатной части здания на пересечении осей 6-Б;

удалена колонна-пилон в уровне -3 этажа высотной части здания на пересечении осей 2-Г.

Усилия, полученные в результате основного расчета и расчета на прогрессирующее обрушение, сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты основного расчета и расчета на прогрессирующее обрушение

<i>Положение колонны, пилона</i>	<i>4-Б</i>	<i>9-Б</i>	<i>6-А</i>	<i>6-В</i>	<i>3-Д</i>	<i>4-Г</i>
Усилие сжатия в колонне или пилоне, тс Обычный расчет/прогр. обруш.	-776/ -667	-814/ - 677	-351/ - 511	-610/ - 591	-11261/ - 10976	-7649/ -9158

Удаление колонны стилобатной части здания привело к перегрузке колонны на пересечении осей 6-А на 31,3 %.

Ранее, при расчете на обрушение по первому варианту, был получен увеличивающий коэффициент несущей способности равный 1,46. Используем его для определения предельно допустимой нагрузки на данную колонну. $351 \times 1,46 = 512,5$ тс. Полученное значение обеспечивает достаточную несущую способность рассматриваемой колонны при ее перегрузке в результате обрушения колонны в осях 6-Б.

Удаление пилона на пересечении осей 2-Г привело к перегрузке пилон в осях 4-Г на 16,5 %. Выполним пересчет несущей способности пилон с учетом коэффициента, увеличивающего несущую способность. $7649 \times 1,46 = 11167$ тс. Полученный резерв прочности пилон (примерно 18 %) обеспечивает достаточную несущую способность.

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.

Полученные усилия в колоннах и пилонах, расположенных в непосредственной близости от удаленных представлены в таблице 3. Результаты получены в основном расчете и расчете на прогрессирующее обрушение.

Таблица 3

Результаты основного расчета и расчета на прогрессирующее обрушение

Положение колонны, пилона	2-Б	6-Б	4-А	4-В	2-Г	4-Г	3-Е
Усилие сжатия в колонне или пилоне, тс Обычный расчет/прогресс. обрушение	-734/ -884	-772/ -894	-356/ -682	-623/ -826	-7288/ -9411	-7649/ -8590	-10303/ -15474

Удаление колонны стилобатной части здания привело к перегрузке следующих колонн: колонна 2-Б – 17 %; колонна 6-Б – 13,6 %; колонна 4-А – 47,8 %; колонна 4-В – 24,6 %.

Воспользуемся увеличивающим несущую способность коэффициентом, получим следующие результаты. Колонна 4-А: $356 \times 1,46 = 519,7$ тс, что намного меньше усилия, возникающем при обрушении колонны 4-Б (запас прочности недостаточен); колонна 4-В: $623 \times 1,46 = 909,6$ тс – запас прочности 9 % (прочность колонны обеспечена). В остальных колоннах перегрузка не превышает 20 %, пересчет прочности можно не выполнять.

Удаление пилона в осях 3-Д приводит к перегрузке: пилон 2-Г – 22,6 %; пилон 4-Г – 10,9 %; пилон 3-Е – 33,4 %. Выполним пересчет прочности пилонов с использованием полученного ранее коэффициента. Пилон 3-Е: $10303 \times 1,46 = 15042$ тс – запас прочности недостаточен; пилон 2-Г: $7288 \times 1,46 = 10640$ тс – прочность колонны обеспечена. Пересчет прочности пилона 4-Г можно не выполнять.

Вывод: обрушение рассмотренных конструкций, а именно колонны 4-Б и пилона 3-Д, приводит к значительной перегрузке стоящих рядом. 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.

Напомним, что основным средством защиты зданий от прогрессирующего обрушения является резервирование прочности несущих элементов по рассмотренной методике в данной работе.

Необходимо обратить внимание на то, что, не смотря 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 [5-8]. 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 в следующей нашей работе.

Список литературы

1. СТО-008-02495342-2009. Предотвращение прогрессирующего обрушения железобетонных монолитных конструкций зданий. Проектирование и расчет.
2. ТСН 31-332-2006. Санкт-Петербург.
3. МГСН 4.19-05. Многофункциональные высотные здания и комплексы. Том II.
4. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия.
5. Завьялова О. Б. Уточнение напряжений в рабочей арматуре монолитных плит безригельных каркасов // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 5. С. 58.
6. Завьялова О. Б. Приближенный расчет многоэтажных зданий на вертикальную нагрузку при образовании карстового провала // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 38 (297). С. 4–8.
7. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Прогнозирование надежности здания при исследовании динамики его напряженно-деформированного состояния // Вестник МГСУ. 2015. № 10. С. 20–31.
8. Пшеничкина В. А., Золина Т. В., Дроздов В. В., Харланов В. Л. Методика оценки сейсмической надежности зданий повышенной этажности // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2011. № 25. С. 50–56.

УЧЕТ ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНА И ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО УПРУГОМГНОВЕННОГО МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РАСЧЕТЕ СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КАРКАСА

О. Б. Завьялова, В. И. Новицкая

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань (Россия)

Предложен алгоритм расчета железобетонных рамных каркасов монолитных зданий с учетом ползучести бетона и изменения его модуля мгновенной упругости по [1]. Рассмотрен пример определения реальных напряжений в арматуре пилонов при учете возраста бетона к моменту нагружения.

Объемы монолитного строительства в последние годы значительно возросли и в России, и за рубежом. Преимущества такого строительства очевидны: независимость от заводов-поставщиков сборной железобетонный