



## МЕТОДИКА РАСЧЕТА НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ МОНОЛИТНОГО ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ ГОСТИНИЦЫ В ПК SCAD

*О. Б. Завьялова, Д. Д. Виноградов*

**Завьялова Ольга Борисовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: +7(927)661-04-05; e-mail: zavyalova\_ob@aucu.ru;

**Виноградов Дмитрий Дмитриевич**, магистрант, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: +7(917)196-60-53; e-mail: dimawin1@gmail.com

Рассмотрены четырнадцать наиболее опасных расчетных ситуаций локальных разрушений несущих элементов конструкций монолитного высотного здания гостиницы. Для каждой из рассмотренных ситуаций была произведена количественная оценка разрушения. Расчет прогрессирующего обрушения выполнен в программном комплексе SCAD для пространственной расчетной схемы с учетом геометрической нелинейности последовательными итерациями, учитывающими поэтапный выход из строя несущих конструкций вышележащих этажей, до полной остановки процесса разрушения. Введены наиболее целесообразные, с экономической точки зрения, конструктивные мероприятия, повышающие сопротивляемость здания прогрессирующему обрушению, сделаны выводы о применении конструктивных мер для усиления ключевых конструкций, выполнен анализ увеличения расхода стали при увеличении живучести здания.

**Ключевые слова:** прогрессирующее обрушение, аварийная ситуация, прочность.

## CALCULATION METHOD FOR PROGRESSIVE FAILURE MONOLITHIC HIGH-RISE BUILDING HOTEL IN PC SCAD

*O. B. Zavyalova, D. D. Vinogradov*

**Zavyalova Olga Borisovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation, phone: +7(927)661-04-05; e-mail: zavyalova\_ob@aucu.ru;

**Vinogradov Dmitriy Dmitriyevich**, undergraduate, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation, phone: +7(917)196-60-53; e-mail: dimawin1@gmail.com

Fourteen most dangerous design situations of local destruction of bearing elements of monolithic high-rise building of the hotel are considered. Damage was quantified for each of the situations considered. The calculation of the progressive collapse is made in the SCAD software system for the spatial design scheme taking into account geometric nonlinearity by sequential iterations, taking into account the phased failure of the bearing structures of the overlying floors, until the complete shutdown of the destruction process. The most expedient, from an economic point of view, structural measures were introduced that increase the resistance of the building to progressive collapse, conclusions were made about the use of structural measures to strengthen key structures, an analysis of the increase in steel consumption with an increase in building survivability was made.

**Keywords:** progressive encirclement, emergency, strength.

Целью работы является разработка оптимальной методики расчета высотного здания на прогрессирующее обрушение с учетом требований нормативной базы РФ, а также выявление наиболее рациональных и действенных методов защиты высотного здания от прогрессирующего обрушения на основе результатов расчета строительных конструкций здания. Законодательство Российской Федерации регламентирует при проектировании зданий и сооружений повышенного уровня ответственности учет аварийных расчетных ситуаций (в том числе – отказ одной из несущих строительных конструкций) [1–3]. Причем, необходимо отметить, что отказ одной из несущих конструкций происходит в результате техногенного воздействия, а не вследствие опасных природных воздействий.

Аварийная расчетная ситуация непосредственно после отказа одной из несущих строительных конструкций является особым аварийным воздействием, которое необходимо устано-

вить на основе моделирования сценариев возникновения техногенных воздействий. При этом допустимо исходить из принципа «единичного» отказа, так как практически любое обрушение начинается с разрушения одного (первого) элемента, далее оно либо затухает в случае обеспечения живучести конструкции, либо развивается лавинообразно до полного обрушения (живучесть не обеспечена).

Расчет на прогрессирующее обрушение высотного здания гостиницы был произведен в ПК SCAD++, для пространственной расчетной схемы с учетом геометрической нелинейности.

Для проведения расчетов на устойчивость к прогрессирующему разрушению необходимо:

- по результатам проведенных статических расчетов выявить наиболее уязвимые места в конструктивной схеме сооружения и установить предполагаемые наиболее опасные схемы локальных разрушений:

- а) разрушение одного из несущих железобетонных пилонов типового этажа;

б) разрушение одного из вертикальных несущих пилонов нижнего яруса подземной части;

- расчетным способом проверить возможность возникновения прогрессирующего обрушения здания при каждой схеме локального гипотетического разрушения.

Расчет на прогрессирующее обрушение рассматриваемого здания был выполнен на особое сочетание нагрузок и воздействий, включающих постоянные и длительные временные нагрузки с коэффициентом надежности, равным единице, и одну из нагрузок, возникающих от локального разрушения (п. 8.3.2.1 и 8.3.2.2 [3]).

Характеристики материалов на прочность и жесткость приняты нормативной величины, согласно действующим нормам на стальные и железобетонные конструкции.

- коэффициент надежности по ответственности здания принят равным 1,1 (п. 6.3 [4]).

В расчете оценивалось выполнение условий первого предельного состояния.

На первом этапе расчета, в расчетной схеме здания было определено напряженно-деформированное состояние (НДС) конструкций. В элементах конструктивной схемы было рассчитано и задано армирование, необходимое по первой и второй группам предельных состояний, а также требуемое конструктивное армирование.

После этого, согласно требованиям СП 385.1325800.2018 и анализа НДС конструкции, были выделены наиболее опасные расчетные ситуации, среди которых рассматривались:

- удаление наиболее нагруженных элементов конструкций, расположенных преимущественно в нижней части здания;
- удаление элементов конструкции, испытывающих не самые большие нагрузки, выход из строя

которых может повлечь перераспределение усилий на соседние, более нагруженные элементы расчетной схемы и, как следствие, выход их из строя;

- удаление элементов в местах резкого изменения жесткости конструктивной схемы (места перехода от каркасной системы к каркасно-стеновой);

- удаление элементов конструктивной схемы, подверженных повышенной вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций, вызванных случайными авариями либо террористическими действиями (места вблизи от траекторий движения транспорта, загрузочные помещения и проезды с примыкающими к ним элементами, угловые наружные стены и пилоны).

На втором этапе были сформированы группы удаляемых конечных элементов из числа конструкций, подлежащих внезапному удалению.

В качестве расчетных ситуаций выбраны разрушения несущих элементов конструкции, наиболее нагруженные и уязвимые при авариях транспорта и возможных террористических воздействиях (рис. 1–2).

Далее производились статические расчеты измененных конструктивных систем здания с выбывшими в результате аварии конструктивными элементами (вторичные конструктивные схемы) на действие особого сочетания нагрузок. Для учета внезапности удаления конструкций, а также для учета веса обрушившихся конструкций вводился коэффициент динамичности, равный двум. Мгновенное удаление разрушенных элементов моделируется усилиями (определенными при расчете по первичной схеме) в узлах, с которыми удаляемые элементы действуют на всю остальную схему и приложенными с обратным знаком, что соответствует алгоритму квазистатического расчета при мгновенном удалении элемента согласно приложению Б [4].

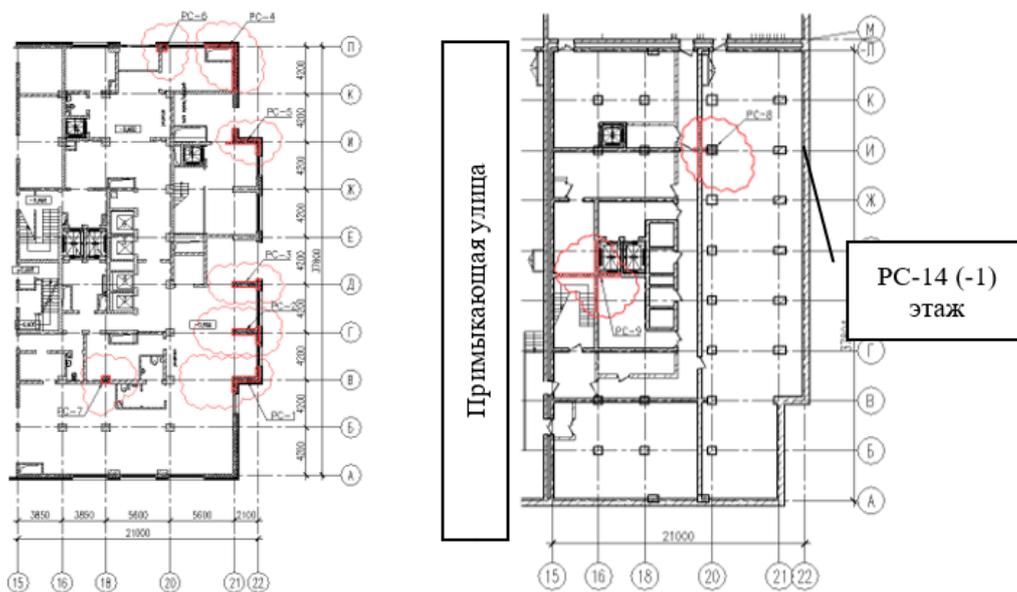


Рис. 1. Расчетные ситуации на первом этаже 1–7 (слева) и на (-3)-м и (-1) этажах (справа)

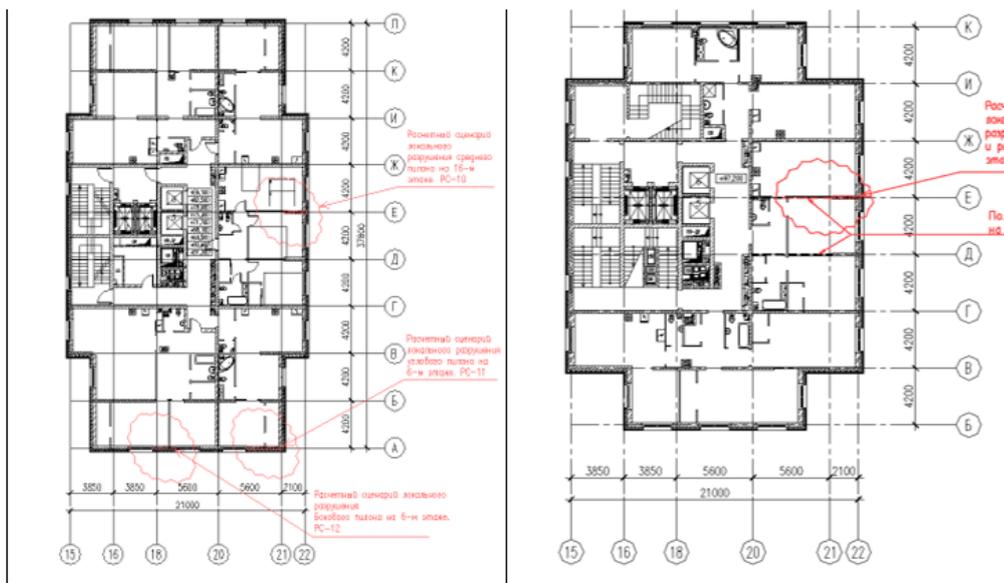


Рис. 2. Расчетные ситуации локальных разрушений несущих элементов на 6-м, 16-м этажах. РС-11, РС-12 и РС-10 в месте перехода от стеновой системы к опорам в виде пилона (слева) и на 27-м этаже в месте уменьшения площади этажа (справа)

Так как при частичном разрушении конструкций в оставшейся системе возникают значительные перемещения, расчет конструкций производился в геометрически нелинейной постановке.

Результаты расчета по ряду аварийных ситуаций представлены ниже.

РС-1. Разрушение пилона в осях 21-22/В на первом этаже. Пилон расположен возле траектории проезда вдоль улицы, примыкает к главному вестибюлю здания и играет значительную роль в геометрической неизменяемости конструкции. Площадь поперечного сечения удаляемого пилона – 1,53м. кв. Масса удаляемого пилона – 24,3т.

Результаты для РС-1 при первой итерации расчета приведены на рисунке 3. Красным выделены элементы, прочность которых превышена. Из результатов расчета по первому сценарию локального разрушения видно, что в результате перераспределения нагрузок, вызванного выбыванием из работы пилона в осях В/22-21 на первом этаже, соседние несущие элементы (стены, пилоны, колонны), воспринимающие на себя дополнительную нагрузку, имеют достаточный запас прочности, препятствующий цепному выбыванию несущих элементов из работы.

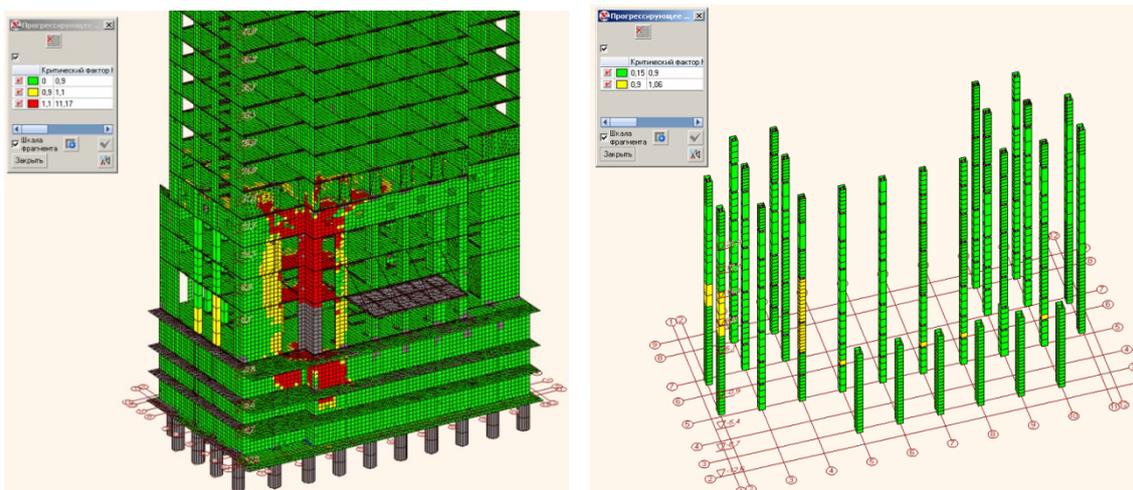


Рис. 3. Результаты расчета по первой аварийной ситуации

Повреждение конструкции распространяется до четвертого технического этажа, имеющего повышенную жесткость и перераспределительную способность за счет наличия дополнительных наружных и внутренних стен, образующих коробчатую конструкцию. В ходе проведения расчетов оказалось, что для обеспечения запаса

прочности внутренних колонн около ядра жесткости и крайних колонн потребовалось дополнительное армирование. Было принято решение установить дополнительное армирование колонн, обеспечивающее достаточный запас прочности, в виде стального сердечника из колонного

двугавра 30К3. Таким образом, повреждения здания при РС-1 носят локальный характер и не приводят к прогрессирующему обрушению.

РС-4. Разрушение угловой стены в осях 21-22/Л на первом этаже, расположенной вблизи траектории движения транспорта по улице и проектируемого проезда вдоль оси «Л». Площадь поперечного сечения удаляемой стены – 1,94 м<sup>2</sup>. Масса стены – 30,7 т. Результаты расчета для РС-4 при первой итерации расчета на рисунке 4.

По результатам расчета для первой итерации видно, что в результате перераспределения усилий во вторичной расчетной схеме, прочность сечения соседней со стеной колонны не обеспечена. Возникает превышение коэффициента использования для колонны в осях 20/Л на

участке от 1-го этажа до 4-го и для колонны в осях 20/И на (-2) этаже. Это может привести к цепному выбыванию несущих элементов из работы. Для уточнения расчета необходимо произвести следующую итерацию расчета, исключив из работы поврежденные элементы. В результате второй итерации расчета из работы выключаются колонна в осях 18/Л на участке от 1-го этажа до 4-го и колонна в осях 20/К на (-1) этаже (рис. 5).

Результат расчета для третьей итерации по стенам, перекрытиям и колоннам (рис. 6).

В следующей итерации выключается из работы колонна в осях 20/В на -2 этаже. Результаты для четвертой итерации расчета по колоннам, стенам и перекрытиям на рисунке 7.

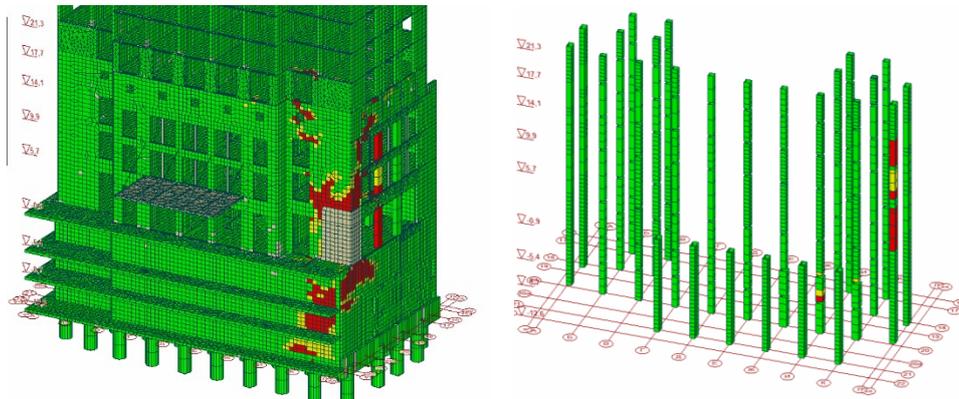


Рис. 4. Результаты расчета РС-4 по первой итерации

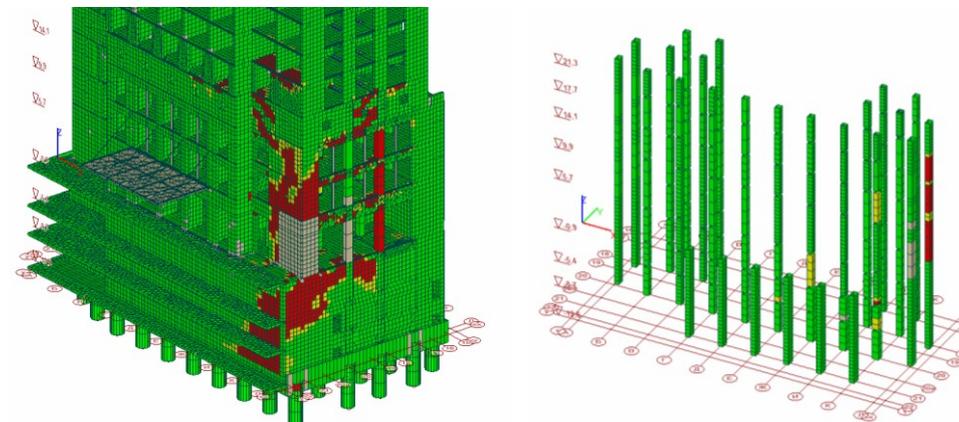


Рис. 5. Результаты расчета РС-4 по второй итерации

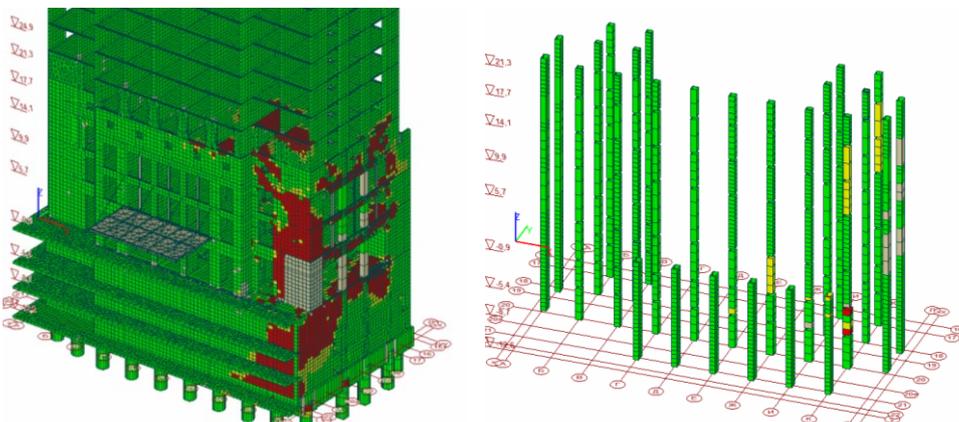


Рис. 6. Результаты расчета РС-4 по третьей итерации

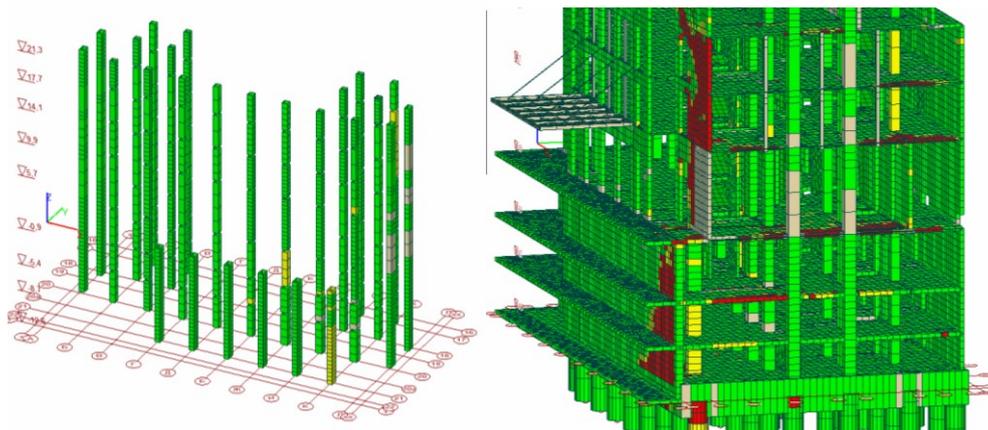


Рис. 7. Результаты расчета РС-4 по четвертой итерации

По результатам расчета РС-4 видно, что при разрушении угловой стены происходит перераспределение усилий, в результате которого последовательно выбывают еще несколько вертикальных несущих элементов конструкции. Процесс останавливается на четвертой итерации расчета и охватывает пространство до 4-го технического этажа, который имеет повышенную жесткость, частично локализуясь на 5-м этаже. Оставшиеся несущие элементы (пилоны,

колонны, стены) имеют достаточный запас прочности, препятствующий дальнейшему цепному выбыванию несущих элементов из работы. Разрушения конструкции ограничиваются до 5-го этажа. По результатам расчета всех РС приняты конструктивные меры, повышающие живучесть здания. После чего был выполнен контрольный расчет всего здания на каждую аварийную ситуацию, результат представлен на рисунке 8.

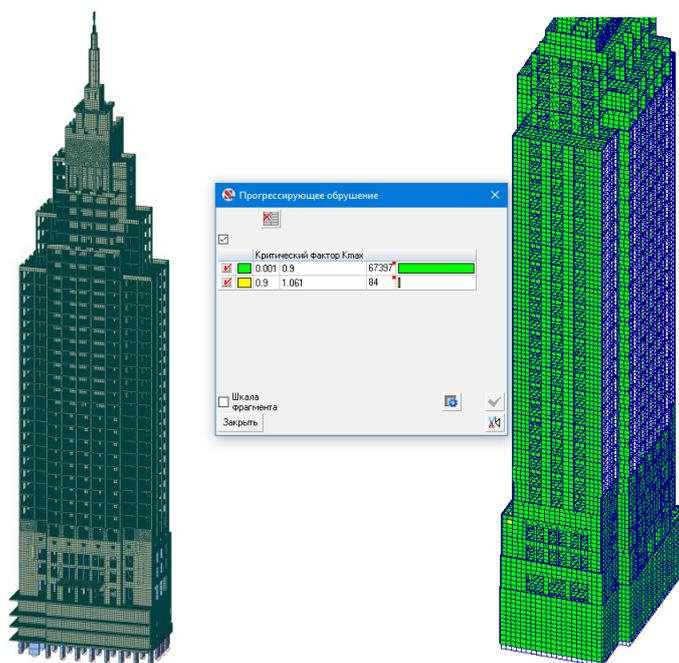


Рис. 8. Общий вид расчетной схемы высотной гостиницы и результат расчета здания после принятия конструктивных мер

В-общем, принятые конструктивные меры можно сформулировать так:

- для исключения хрупкого разрушения и обеспечения образования в плите пластических шарниров (в случае обрушения опоры) установить (кроме расчетной) фоновую верхнюю арматуру не менее  $\phi 12A500C$  с шагом 200 мм;
- в надпроемные перемычки, работающие как связи сдвига, устанавливать арматуру на 30

% более расчетной, чтобы увеличить прочность на действия поперечной силы;

- обеспечивать достаточность длины анкеровки арматуры во взаимоперпендикулярных конструкциях (стенах и перекрытиях);
- вдоль свободного края плиты увеличить на 50 % длину перехлеста всех продольных стыков арматуры, а также установить П-образные стержни, удерживающие край плиты от разрушения;

- обеспечить минимальную площадь сечения горизонтальной арматуры (суммарно для нижней и верхней арматуры), как продольной, так и поперечной в железобетонных перекрытиях и покрытии не менее 0,25 % от площади сечения бетона;
- обеспечить непрерывность арматуры несущих конструкций;
- выполнять стыки и нахлесты арматуры в соответствии с требованиями действующих нормативных документов, с запасом не менее 30

% в местах, указанных в проекте, стыкуя в одном сечении не более 30 % стержней;

- устанавливать вертикальную рабочую арматуру пилона (колонны, стены) с расчетом, что она должна воспринимать растягивающие усилия не менее 10 кН на каждый квадратный метр грузовой площади этого пилона (колонны, стены).

Сравнительный анализ расхода стали с учетом введенных конструктивных мер представлен в таблице.

Таблица

Сравнительный анализ расхода стали

Конструкция	До усиления		После усиления		Увеличение расхода стали, %
	Наименование	Масса всего, кг	Наименование	Масса всего, кг	
Плиты перекрытия	Арматура А500С	24956,5	Арматура А500С	32082	28,55
	Арматура А500С	61639,2	Арматура А500С	61639,2	
Колонны К1			Двутавр 30 КЗ	13068	21,20

Как следует из таблицы, увеличение устойчивости здания к возможному прогрессирующему обрушению принятыми мерами резервирования прочности основных несущих конструкций приводит к перерасходу стали от 21 % в колоннах до 29 % в плитах перекрытий. Это при том, что для учета внезапности удаления конструкций, а также для учета веса обрушившихся конструкций в программном комплексе SCAD вводится коэффициент динамичности, равный двум, который, согласно новому СП 385.1325800.2018 с поправками 2019 года, можно не учитывать. Таким образом, полученные цифры увеличения расхода стали являются несколько завышенными.

**Вывод:** В работе предложена методика расчета последовательными итерациями, исключая поврежденные элементы, и сформулированы конструктивные меры, препятствующие развитию сценариев прогрессирующего обрушения с наиболее вероятными повреждениями, которые могут возникнуть в результате чрезвычайных ситуаций различного характера (наезд автотранспорта, террористический акт, дефект строительства и проектирования наиболее нагруженных элементов, играющих значительную роль в геометрической неизменяемости конструкции и т. п.), не предусмотренных условиями нормальной эксплуатации здания.

#### Список литературы

1. Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»
2. ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения»
3. СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные. Правила проектирования»
4. СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения».
5. СП 296.1326800.2017 «Здания и сооружения. Особые воздействия»
6. Завьялова, О. Б. Особенности создания расчетных схем, расчета и конструирования многоэтажного каркасного здания с соблюдением мер защиты от прогрессирующего обрушения / О. Б. Завьялова, В. В. Куликов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 1(39). – С. 58-65. – DOI 10.52684/2312-3702-2022-31-1-58-65. – EDN DHFLOI.
7. Рекунов С. С., Косова А. Ю., Иванов С. Ю., Завьялов И. С. Расчет многоэтажного здания на прогрессирующее обрушение при сейсмическом воздействии // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 3 (36). С. 15–20.
8. Завьялова, О. Б. Расчет многоэтажного ступенчатого пилона с учетом твердения и ползучести бетона раннего возраста / О. Б. Завьялова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 3(33). – С. 26-30. – EDN FWUVMS.
9. Проектирование строительных конструкций и оснований с учетом надежности и режимных воздействий / В. С. Федоров, Т. В. Золина, Н. В. Купчикова [и др.]. – Астрахань: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. – 209 с. – ISBN 978-5-93026-143-1. – EDN PWZTHR.
10. Zavyalova, O. The reinforced concrete frame calculation with allowance for the erection sequence, physical nonlinearity and the concrete creep / O. Zavyalova, A. Shein // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2019. – Vol. 14. – No 1. – P. 166-172. – EDN SBKEMH.
11. Гарькин, И. Н. Деформативно-прочностные свойства монолитных железобетонных перекрытий / И. Н. Гарькин, Д. С. Саженко // Региональная архитектура и строительство. – 2020. – № 1(42). – С. 126-129. – EDN BCZMWW.
12. Виноградов, Д. Д. Расчет балок трибун зрелищных сооружений с учетом изменения расчетной схемы в процессе возведения / Д. Д. Виноградов, О. Б. Завьялова // Перспективы развития строительного комплекса : Материалы XIII Международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов, Астрахань, 29–31 октября 2019 года / Под общей редакцией В.А. Гутмана, Т.В. Золиной. – Астрахань: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. – С. 173-175. – EDN AYQBMG.
13. Zavyalova, O. B. Calculation of internal efforts in combined multystoried frames taking into account changing settlement scheme / O. B. Zavyalova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Chelyabinsk, 26–28 сентября 2018 года. – Chelyabinsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 012057. – DOI 10.1088/1757-899X/451/1/012057. – EDN UXZOHB.

14. Zavyalova, O. Early concrete creep and its real modulus of elasticity consideration at calculations of multistorey frames raised in a relatively short time / O. Zavyalova, A. Shein // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 12. – No 15. – P. 4595-4600. – EDN SHQQED.
15. Омармагомедов, И. М. Резервирование прочности несущих конструкций высотного здания для предотвращения возможного прогрессирующего обрушения / И. М. Омармагомедов, О. Б. Завьялова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 6-1(37). – С. 53-58. – EDN UAVMBF. Завьялова, О. Б. Методы увеличения живучести уникальных зданий / О. Б. Завьялова, И. М. Омармагомедов // Перспективы развития строительного комплекса. – 2016. – № 1. – С. 240-249. – EDN WXPRDJ.
16. Кабанцев, О. В. Учет различных режимов работы конструкций при расчете несущих систем зданий / О. В. Кабанцев // Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия, Москва, 19–20 апреля 2016 года / Под редакцией А.Г. Тамразяна, Д.Г. Копаницы. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2016. – С. 146-154. – EDN VXXJZX.
17. Завьялова, О. Б. Учет истории возведения и нагружения сборных рамных каркасов / О. Б. Завьялова // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 4. – С. 34-39. – EDN SAZOJX.
18. Напряженно-деформированное состояние высотного здания с учетом последовательности возведения / А. А. Семенов, И. А. Порываев, Д. В. Кузнецов [и др.] // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2017. – № 12(63). – С. 49-70. – DOI 10.18720/CUBS.63.3. – EDN YNKKCZ.
19. Юзиков, В. П. Расчет тонкостенных стержней открытого профиля с учетом сдвига срединной поверхности / В. П. Юзиков, О. Б. Завьялова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2011. – № 1(625). – С. 108-115. – EDN OZNB RJ.
20. Завьялова, О. Б. Применение условного сдвига-изгибного стержня при расчете рам на устойчивость / О. Б. Завьялова, А. И. Шеин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2010. – № 1(613). – С. 99-105. – EDN OZHVVV.
21. Завьялова, О. Б. Исследование работы рам на горизонтальные нагрузки / О. Б. Завьялова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2004. – № 3(543). – С. 93-99. – EDN PIJSCH.

© О. Б. Завьялова, Д. Д. Виноградов

**Ссылка для цитирования:**

Завьялова О. Б., Виноградов Д. Д. Методика расчета на прогрессирующее обрушение монолитного высотного здания гостиницы в ПК SCAD // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 3 (41). С. 72–78.

УДК 628.512/628.166

DOI 10.52684/2312-3702-2022-41-3-78-81

## РОТАЦИЯ ЖИДКОГО ХЛОРА НА ГИПОХЛОРИТ КАК РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОГЕННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИИ ВОДЫ

*А. Ю. Скрябин*

**Скрябин Александр Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды», Южно-Российский государственный университет имени М. И. Платова, г. Новочеркасск, Российская Федерация, e-mail: 65613@mail.ru

Показано, что проблема санитарно-эпидемиологической безопасности питьевой воды традиционно решается хлорированием, которое продолжает оставаться самым распространенным в мире способом обеззараживания воды в силу своей санитарно-гигиенической надежности, пролонгированности бактерицидного действия, относительно простоты и экономичности. Однако, при использовании жидкого хлора бесспорной остается проблема его транспортировки через населенные территории и хранение многотонных запасов на водоочистных станциях, многие из которых уже стали опасно соседствовать с расширяющейся городской жилой застройкой. Рассматривается проблема экологической безопасности при использовании газообразного хлора на станциях водоподготовки, расположенных в селебных зонах населенных пунктов. Описаны причины и условия возникновения чрезвычайных ситуаций, а также показана необходимость прогноза последствий данных чрезвычайных ситуаций. Определены параметры для анализа последствий чрезвычайных ситуаций и оценки их масштаба. На контрольном примере приведены прогнозные оценки потерь в зоне заражения химически опасным веществом, рассмотрена институциональная составляющая регулирования действий по защите населения и территорий при чрезвычайных ситуациях. Даны рекомендации по замене газообразного хлора на безопасный гипохлорит натрия.

**Ключевые слова:** водопроводные сооружения, жидкий хлор, авария, химическая опасность, питьевое водоснабжение, население, чрезвычайная ситуация, выброс хлора, экономический ущерб, химико-биоцидная обработка воды.

## ROTATION OF LIQUID CHLORINE TO HYPOCHLORITE AS A SOLUTION TO THE PROBLEM OF MAN-MADE AND ENVIRONMENTAL SAFETY WHEN DISINFECTING WATER

*A. Yu. Skryabin*

**Skryabin Aleksandr Yuryevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Water Management, Engineering Networks and Environmental Protection, Platov South-Russian State University, Novocherkassk, Russian Federation, e-mail: 65613@mail.ru

The article shows that the problem of sanitary and epidemiological safety of drinking water is traditionally solved by chlorination, which continues to be the most common method of water disinfection in the world due to its sanitary and hygienic reliability, prolonged bactericidal action, relative simplicity and economy. However, when using liquid chlorine, the problem of its transportation through populated areas and the storage of multi-ton reserves at water treatment plants, many of which have already become