

Процесс прогрессирующего обрушения высотных зданий и анализ решений, противодействующих ему

Н.И. Закиева, Д.В. Гранкина, К.А. Ким, Д.К. Васильева

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В современной строительной индустрии ведется активное внедрение новых технологий и инноваций в области возведения высотных зданий. Это диктует определенные требования к архитектурным и конструктивным особенностям каркасов зданий и укреплению фундаментов. Необходимо придать достаточную жесткость объекту, с целью противостояния внешним нагрузкам и воздействиям. Все мероприятия нацелены на обеспечение безопасности пребывания людей в высотном здании. В последние десятилетия увеличилось строительство небоскребов, и такое понятие как прогрессирующее обрушение стало актуальным. Поэтому в статье рассматривается и анализируется именно прогрессирующее обрушение как проблема, требующая внимания и научный подход к её устранению. В конце доклада приводятся определенные выводы и предлагаются рекомендации.

Ключевые слова: прогрессирующее обрушение, высотные здания, безопасность, схема каркаса, локальный участок, жесткость, устойчивость, демпфирование, внешняя нагрузка, процесс колебания, деформация.

Миром современной строительной индустрии активно исследуется проектирование высотных зданий. Это объясняется в первую очередь тем, что с годами плотность застройки крупного города увеличивается, и требуется необходимость более рационального, по современным меркам, подхода к распределению и использованию участков земли. В связи с ростом цен на землю, важную роль играет экономическая составляющая [1]. Когда застройщик планирует сконцентрировать свой бюджет на строительстве непосредственно самого здания, появляется смысл в покупке минимально возможной по нормам площади земельного участка с учетом благоустройства. В свою очередь влияние на строительство оказывает и следование мировым тенденциям современной архитектуры, построенной на конструктивизме форм и объемов, актуальной с начала 1990 годов и по сегодняшний день [2]. Застройщики всего мира, следуя динамике развития научного и технического прогресса в строительстве и архитектуре, стремятся создавать конкурентоспособные объекты.

Несмотря на очевидные преимущества высотных зданий, которые достаточно изучены и ясны, на практике нельзя полностью учесть все особенности эксплуатации зданий и их отдельных конструкций. Относительная новизна строительства высоток подразумевает недостаточный опыт их возведения, в большей мере он теоретический. На данный момент это не позволяет в точности прогнозировать и предварительно научно обосновать все возможности поведения конструктивных элементов каркаса, фундамента и всего небоскреба в целом в процессе эксплуатации. Последствия этого могут быть катастрофическими и, к несчастью, происходят по всему миру.

Прогрессирующее обрушение подразумевает под собой разрушение локального участка каркаса и (или) фундамента, влекущее за собой последовательное обрушение всего здания, по аналогии «карточного домика» [3]. Предотвращение прогрессирующего обрушения предполагается путём блокирования первоначальных разрушений локальных элементов каркаса и ограничения распространения на другие участки. Необходимо перераспределить нагрузку с конструкций, подвергнутых разрушению, на неповрежденные элементы каркаса. Осуществляется это с помощью повышения степени неразрывности и жесткости конструктивной схемы объекта [4]. Локальное разрушение может произойти по техногенным причинам (коррозионные, силовые), природным (сейсмические, геологические, стихийные) а также по чрезвычайным (аварии, пожары, столкновения, взрывы). Существует вероятность локального разрушения, в связи с ошибками по вине человека: нарушение при проектировании, строительстве или эксплуатации, дефекты материалов, несоблюдение требований и норм и др. Нужно отметить, что именно человеческий фактор можно минимизировать в большей мере, используя опыт отечественного и зарубежного строительства.

Одним из самых нашумевших примеров прогрессирующего обрушения считается теракт в Нью-Йорке, произошедший 11 сентября 2011 года. Это самый глубоко изученный пример, когда в результате столкновения с пассажирским авиалайнером обрушились «башни-близнецы» по принципу прогрессирующего обрушения. Его механизм можно разложить на этапы: столкновение - разлив топлива и его последующее возгорание - практически мгновенная потеря несущей способности колонн - прогрессирующее обрушение. Было выяснено, что удар пришелся в значительной степени на внутренние силовые колонны, периферийные же пострадали меньше. Также немаловажным фактором считалось обнажение огнеупорного покрытия конструкций, и они оказались под прямым воздействием огня и началась стремительная потеря несущей способности и деформация под влиянием веса верхних этажей. В связи с этим произошло неравномерное перераспределение нагрузки, что и повлекло за собой обрушение [5].

Обеспечение пространственной жесткости и боковой устойчивости (противостояние таким внешним нагрузкам, как ветровые и сейсмические) - одни из основных задач проектирования высотных зданий, противодействующих прогрессирующему обрушению. Варианты конструктивных систем, схем каркаса здания могут быть различными [6]. Для жесткости и устойчивости здания применяются такие пространственные элементы, как аутригеры, ядра (стволы) жесткости, демпферы, металлические и железобетонные фермы, вертикальные и горизонтальные связи и др.[7] Необходимо достичь неразрывности конструктивных элементов, чтобы передавать нагрузку на основание и распределять ее на каркас и фундамент здания. Выбор конструктивной схемы основывается на климатических особенностях предполагаемого района строительства, характеристиках грунтов основания, технико-экономическом анализе

конструктивных решений и сравнении альтернативных схем, а также на функциональном назначении будущего здания.

Важным фактором противодействия прогрессирующему обрушению является создание максимально эффективной формы здания, что важно при учете аэродинамических воздействий. Зачастую используют формы эллипса, цилиндра, пирамиды, усеченной пирамиды, конуса. Таким образом повышается устойчивость здания, создаётся обтекаемость ветровыми нагрузками и минимизируется процесс колебаний конструкций [8].

В соответствии с ГОСТ 27751-2014 "Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения" высотные здания относят к сооружениям класса КС-3. Это самый высокий уровень ответственности, при котором применяются повышенные требования к надежности конструкций и при проектировании необходимо использовать значения коэффициента $\gamma_n=1.1$ и $\gamma_n=1.2$ (для зданий высотой более 250 метров) [9].

В связи вышесказанным, повышенные требования предъявляются и к пожарной безопасности высотных зданий. Необходимо уделять большое внимание мероприятиям по противопожарной защите и увеличению огнестойкости конструкций и всего здания в целом.

В последние десятилетия началось переориентирование подходов к высотному строительству, где одной из основных целей стало обеспечение безопасности здания при эксплуатации людьми. Поэтому, с целью возведения надежных зданий и сооружений, необходим основательный подход к выбору конструктивных схем, объемно-планировочных моделей и изучению поведения материала конструкций в различных условиях - климатических и эксплуатационных.

Руководствуясь практикой возведенных высотных объектов, необходимо уменьшить или полностью исключить возможность прогрессирующего обрушения от воздействия внешних и внутренних

факторов[10]. Предлагается осуществлять анализ работы элементов конструкций, моделирование ситуаций и их воздействие на здание в целом. Рекомендуется выполнять варианты расчетов с применением различных архитектурно-конструктивных схем высоты, с выбором оптимального, надежного решения для проектирования, строительства и дальнейшей эксплуатации высотного здания.

Литература

1. Карамышева А.А., Аракелян А.А., Иванов Н.В., Коняхин В.О., Гранкина Д.В., Обеспечение устойчивости высотных уникальных зданий. Архитектурно-планировочные и конструктивные решения // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5248.
2. Кавтарадзе С.Ю. Анатомия архитектуры. М.: Издательский дом Высшей школы экономики, 2018. 440 с.
3. Гранкина Д.В., Иванов Н.В., Коняхин В.О., Современные конструктивные решения высотных зданий на примере строительства Лахта Центра // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5290.
4. Белостоцкий А.М., Павлов А.С., Расчеты на устойчивость против прогрессирующего обрушения. Зачем, как и «что потом»? // Высотные здания, № 5-6, октябрь-январь, 2014-2015. с.116.
5. Ройтман, В. М. "О механизме прогрессирующего обрушения высотного здания ВТЦ-7 во время событий 11 сентября 2001 года в Нью-Йорке." Пожаровзрывобезопасность, 24.10 (2015). с.39-40
6. Закиева Н.И., Шахиев А.Д., Евлахова Е.Ю., Практика применения оболочковой конструктивной системы при строительстве высотных зданий // Инженерный вестник Дона, 2019, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5455.

7. Schueller, Wolfgang. High-rise building structures. John Wiley & Sons, 1977. 274 p.
8. Shumeyko V. The support systems of unique high-rise buildings. MATEC Web of Conferences 2017. Vol. 106, p. 02026. EDP Sciences.
9. Добромыслов А.Н. Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам. М.: АСВ, 2004. 51 с.
10. Лепешкина Д.О. Прогрессирующее обрушение зданий и сооружений // Научное сообщество студентов XXI столетия. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: сб. ст. по мат. LXI междунар. студ. науч.-практ. конф. № 1(60). URL: [sibac.info/archive/technic/1\(60\).pdf](http://sibac.info/archive/technic/1(60).pdf) (дата обращения: 25.05.2019).

References

1. Karamysheva A.A., Arakelyan A.A., Ivanov N.V., Konyahin V.O., Grankina D.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5248.
2. Kavtaradze S.YU. Anatomiya arkhitektury. [Anatomy of architecture]. М.: Izdatel'skij dom Vysshej shkoly ekonomiki, 2018. 440 p.
3. Grankina D.V., Ivanov N.V., Konyakhin V.O. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5290.
4. Belostotskij A.M., Pavlov A.S., Vysotnye zdaniya, № 5-6, oktyabr'-yanvar', 2014-2015. p.116.
5. Rojzman V.M. Pozharovzryvobezopasnost', 24.10 (2015). pp. 39-40.
6. Zakieva N.I., SHakhiev A.D., Evlakhova E.YU, Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2019, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5455.
7. Schueller, Wolfgang. High-rise building structures. John Wiley & Sons, 1977. 274 p.
8. Shumeyko V. The support systems of unique high-rise buildings. MATEC Web of Conferences 2017. Vol. 106, p. 02026. EDP Sciences.



9. Dobromyslov A.N. Ocenka nadezhnosti zdaniy i sooruzhenij po vneshnij priznakam. [Assessment of the reliability of buildings and structures on the external signs]. M.: ASV, 2004. 51 p.

10. Lepeshkina D.O. Progressiruyushchee obrushenie zdaniy i sooruzhenij. Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletiya. TEHNICHESKIE NAUKI: sb. st. po mat. LXI mezhdunar. stud. nauch.-prakt. konf. № 1(60). URL: [sibac.info/archive/technic/1\(60\).pdf](http://sibac.info/archive/technic/1(60).pdf) (data obrashcheniya: 25.05.2019).