

В. М. РОЙТМАН, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26; e-mail: roytman-msuse@yandex.ru)

УДК 699.81

О МЕХАНИЗМЕ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ ВТЦ-7 ВО ВРЕМЯ СОБЫТИЙ 11 СЕНТЯБРЯ 2001 ГОДА В НЬЮ-ЙОРКЕ

Излагается версия механизма прогрессирующего обрушения здания ВТЦ-7 во время событий 11 сентября 2001 г. на основе теории огнестойкости объектов при комбинированных особых воздействиях с участием пожара (СНЕ), с учетом решающей роли деформаций ползучести стальных конструкций в рассматриваемых условиях. Отмечается, что развитие деформаций ползучести этих конструкций в рассматриваемых условиях было столь значительным, что могло вызвать частичное повреждение их огнезащиты и, в конце концов, привести к исчерпанию огнестойкости и потере устойчивости стальных колонн в восточной части ядра здания во время пожара 11 сентября. В результате потери несущей способности колонн ядра здания за счет перераспределения нагрузки на наружную оболочку последнего снизилась критическая температура прогрева колонн оболочки в зоне развития пожара до уровня температур их прогрева при пожаре. Это привело к потере несущей способности колонн наружной оболочки ВТЦ-7 в зоне пожара и полному разрушению всего здания.

Ключевые слова: террористическая угроза; пожар; конструкция; здание; потеря несущей способности; обрушение; огнестойкость.

DOI: 10.18322/PVB.2015.24.10.37-44

Введение

11 сентября 2001 г. террористической атаке подверглись две 110-этажные башни Всемирного торгового центра (ВТЦ) в Нью-Йорке — Северная (ВТЦ-1) и Южная (ВТЦ-2). Через 56 мин после столкновения самолета с Южной башней и через 102 мин после аналогичной атаки на Северную башню произошли прогрессирующие обрушения этих зданий [1–8].

Однако главной загадкой событий 11 сентября стало обрушение 47-этажного здания ВТЦ-7, которое произошло спустя 7 ч после атаки террористов [1, 2]. Здание ВТЦ-7 не было прямым объектом террористической атаки, поэтому обстоятельства его прогрессирующего обрушения послужили толчком не только к проведению серьезных исследований, обобщенных в [1, 2], но и к появлению многочисленных мифов и фальсификаций происшедших событий [9, 10].

Цель настоящей работы состояла в том, чтобы изложить версию механизма прогрессирующего обрушения здания ВТЦ-7 во время событий 11 сентября 2001 г., опираясь на теорию огнестойкости объектов при комбинированных особых воздействиях с участием пожара (СНЕ) [8].

1. Функциональные и конструктивные особенности здания ВТЦ-7

Здание ВТЦ-7 находилось непосредственно к северу от главного комплекса ВТЦ, примерно в 110 м от Северной башни (ВТЦ-1) (рис. 1).

Часть 1-го и 2-го этажей северной части здания ВТЦ-7 занимала объединенная электроподстанция “Эдисон”. Кроме того, в здании было предусмотрено аварийное электроснабжение, для чего в ряде помещений офисов с 1-го по 9-й этажи были расположены генераторы с аварийным запасом топлива [1, 2].

Каркас здания ВТЦ-7 состоял из колонн, перекрытий, ригелей, балок, ферм и элементов, распределяющих нагрузку. С 7-го по 47-й этажи нагрузку воспринимали 24 стальные колонны внутреннего ядра здания и 58 колонн внешней оболочки (№ 1–57) (рис. 2), а также колонна 14А, расположенная около южного края западного фасада [1, 2].

Внутренние колонны № 58–78 (см. рис. 2) формировали прямоугольное ядро жесткости, смещенное к западной части здания. Оставшиеся три внутренние колонны (№ 79, 80 и 81) имели большее сечение, так как в восточной части здания был увеличен внутренний пролет.

Плиты перекрытий представляли собой слой бетона, уложенный по металлическому профилиро-



Рис. 1. Здание ВТЦ-7 на плане Всемирного торгового центра в Нью-Йорке [1]

ванному настилу (рис. 3) [1, 2]. Балки перекрытий соединялись с ригелями различными элементами, которые передавали нагрузку от веса конструкций, действующую на балки, к ригелям. Через соединения, работающие на срез, нагрузка от ригелей передавалась на колонны. Внутренние колонны имели соединение сварное, или болтовое, или посредством накладных деталей.

2. Обеспечение огнестойкости стальных конструкций здания

В здании ВТЦ-7 требуемые пределы огнестойкости конструкций составляли 3 ч для колонн и 2 ч для балок и перекрытий (нормы ASTM E 119 [11]).

Такие значения пределов огнестойкости стальных конструкций здания ВТЦ-7 были достигнуты

за счет применения огнезащиты стальных конструкций в виде слоя материала на гипсовой основе с вермикулитовым заполнителем (“Monokote” МК-5, SFRM) (см. рис. 3).

Согласно сертификационным требованиям компании “Underwriters Laboratories” (UL) для обеспечения таких пределов огнестойкости толщина слоя огнезащитного материала “Monokote” МК-5 должна составлять 7/8 дюйма (2,22 см) для колонн с мощным сечением, 1/2 дюйма (1,27 см) для балок и 3/8 дюйма (0,95 см) для профнастила перекрытия [1, 2].

3. Особенности развития пожара внутри здания ВТЦ-7

После теракта на Всемирный торговый центр в 10:28 произошло прогрессирующее обрушение Северной башни (ВТЦ-1), падающими обломками которой было повреждено здание ВТЦ-7 (рис. 4), что привело к возникновению и развитию пожаров внутри последнего.

Кроме того, в результате обрушения башни ВТЦ-1 была повреждена система наружного водопровода. Это нарушило работоспособность внутренней системы пожаротушения ВТЦ-7 с 1-го по 20-й этажи, что затруднило борьбу пожарных с огнем. После 10:29 несколько пожарных команд вошли в здание ВТЦ-7, чтобы обследовать его на наличие людей внутри, оценить ущерб, а также локализовать и по возможности потушить пожар. Около 11:30 пожарная служба обнаружила, что из гидрантов не поступает вода, а значит, нет возможности бороться с огнем. Около 14:30 был отдан приказ покинуть ВТЦ-7 [1, 2].

Развитие пожара внутри здания ВТЦ-7 и привело, в конце концов, к прогрессирующему обрушению его через 7 ч после падения Северной башни ВТЦ.

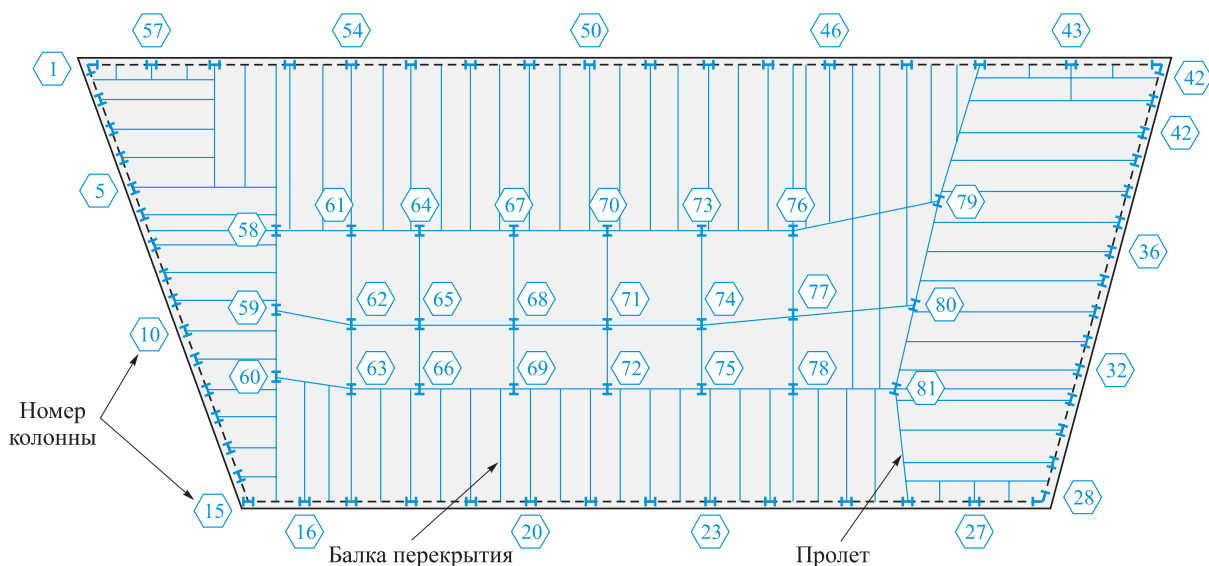


Рис. 2. Схема расположения несущих стальных колонн здания ВТЦ-7

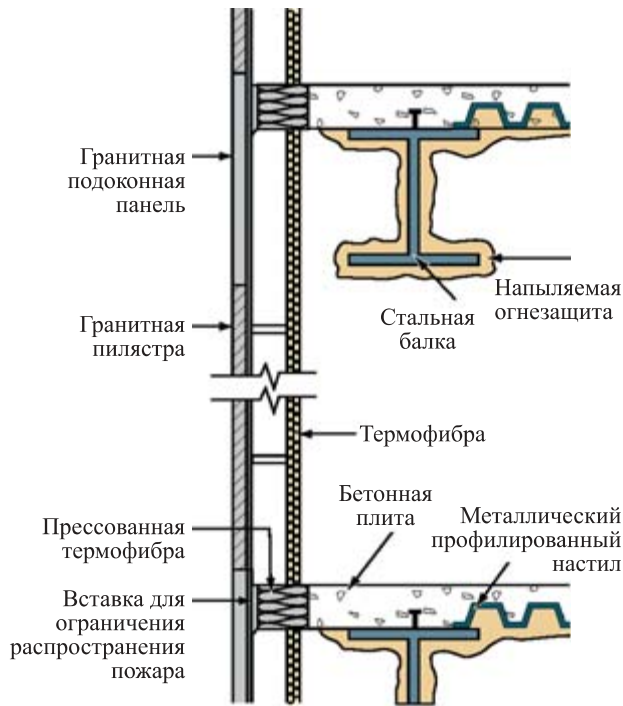


Рис. 3. Конструкция междуэтажного перекрытия и ограждающих конструкций с элементами огнезащиты стальных конструкций здания ВТЦ-7

Хотя фотографий горящего ВТЦ-7 недостаточно для подробного описания пожаров внутри здания, они позволили составить представление о возник-



Рис. 4. Здание ВТЦ-7 в зоне прогрессирующего обрушения Северной башни

новения и распространении огня на некоторых этажах [1, 2].

Наиболее вероятно [1, 2], что из-за повреждения здания ВТЦ-7 обломками Северной башни пожары в здании ВТЦ-7 начались около 10:29. Очаги пожара возникли в западной части южного фасада, и огонь быстро распространился как минимум на 10 этажей в поврежденной юго-западной части здания [1, 2].

В интервале между 14:00 и обрушением ВТЦ-7 в 17:20 произошло распространение пожара с 7-го по 13-й этажи, что стало возможно из-за повреждения водопровода.

На 11-м и 12-м этажах находились помещения, арендованные Комиссией по ценным бумагам и валютному обмену. Здесь были зафиксированы наи-

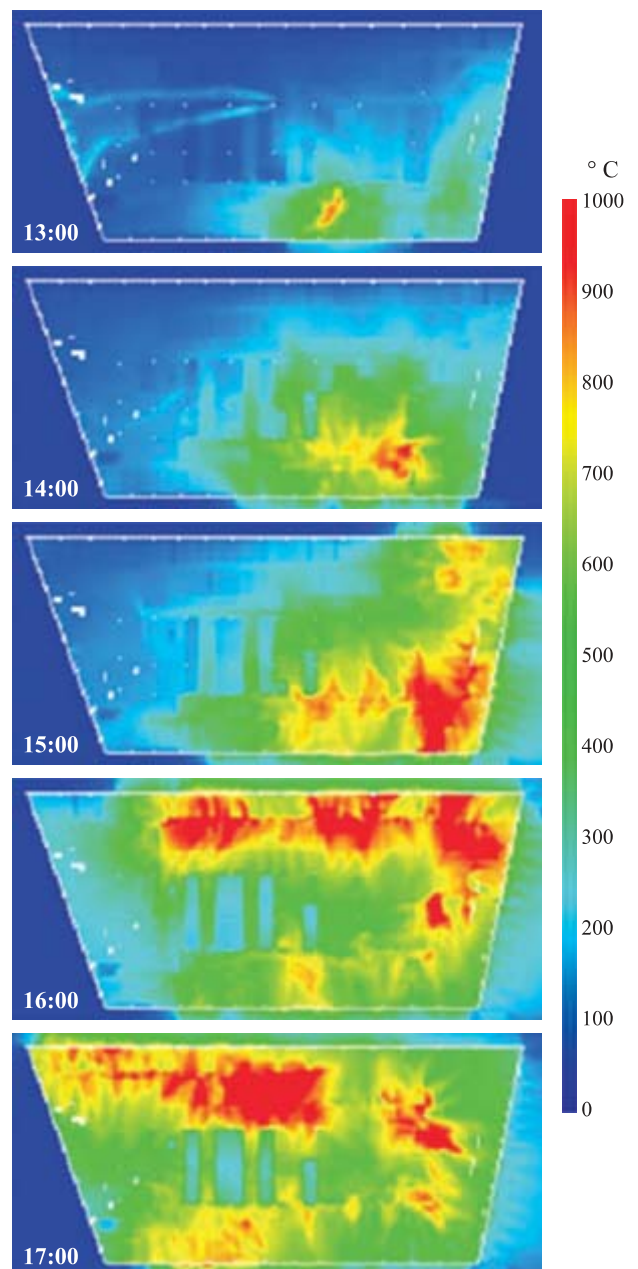


Рис. 5. Развитие пожара на 12-м этаже ВТЦ-7

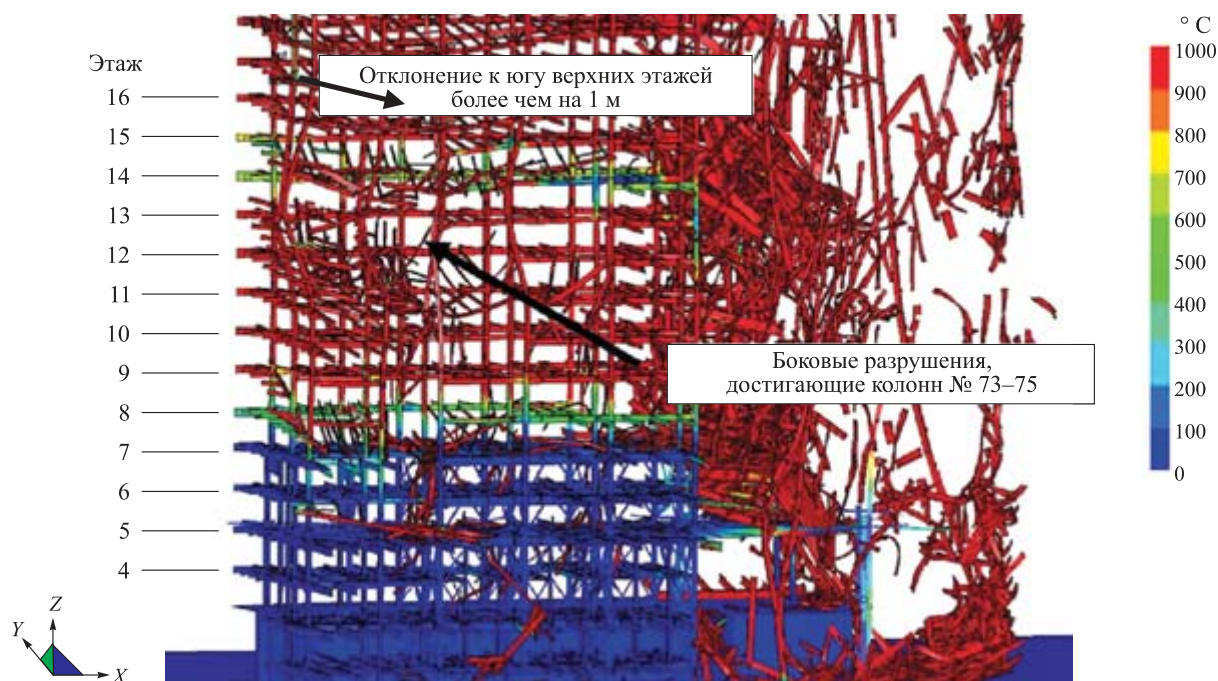


Рис. 6. Схема начала прогрессирующего обрушения здания ВТЦ-7 по версии NIST [2]

более интенсивные и продолжительные пожары из-за наличия повышенной пожарной нагрузки (бумажный архив) — примерно 32 кг/м^2 в эквиваленте древесины по оценкам [1, 2]. На этих этажах огонь распространялся против часовой стрелки.

Впервые пламя на уровне этих этажей было замечено около 14:08 на южном конце восточного фасада, и чуть больше чем через 20 мин огонь медленно начал распространяться к середине восточного фасада [1, 2].

На 13-м этаже, так же как и на 11-м и 12-м, огонь двигался против часовой стрелки. Впервые его заметили на восточном фасаде около 14:30. Некоторое время спустя дым и пламя можно было наблюдать уже почти на всем восточном фасаде здания. За несколько минут до обрушения наблюдали сильное пламя, выбивавшееся из окон здания [1, 2].

Наблюдения за развитием пожара в здании ВТЦ-7 в дальнейшем были дополнены результатами компьютерного моделирования [1, 2] (рис. 5).

Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что воздействие пожара на ключевые стальные колонны № 79–81 ядра здания ВТЦ-7 (см. рис. 2), с которых началось обрушение ядра здания, составило около 3 ч.

4. Обстоятельства обрушения здания ВТЦ-7

Прогрессирующее обрушение здания ВТЦ-7 началось с утраты несущей способности и проседания вниз ядра здания в его восточной части. Затем, приблизительно через 5 с, произошло “оседание” западного пентхауса ВТЦ-7.

Приблизительно через 1 или 2 с после того, как западный пентхаус начал оседать внутрь ВТЦ-7, возникла линия разлома с севера на юг в восточной части наружной оболочки здания. Это привело к началу обрушения наружной оболочки здания и его общему разрушению.

5. Версии NIST о механизме обрушения ВТЦ-7

В отчетах NIST [1, 2] в качестве основной причины прогрессирующего обрушения здания ВТЦ-7 во время событий 11 сентября 2001 г. совершенно правомерно рассматривается развитие пожаров в здании ВТЦ-7.

Из-за нехватки воды в зоне с 1-го по 20-й этаж, необходимой для работы автоматических спринклеров и команд пожарной службы, огонь быстро распространился по зданию.

Одной из возможных основных причин обрушения здания ВТЦ-7, по версии NIST [1, 2], стала локальная потеря устойчивости колонны № 79 (см. рис. 2 и 6) вследствие термического расширения прилегающих стальных конструкций.

Возникшее из-за пожара расширение элементов конструкции перекрытия вокруг колонны № 79 привело к обрушению перекрытия 13-го этажа, что “запустило” волну обрушений перекрытий вплоть до 5-го этажа (см. рис. 6). В результате колонна потеряла устойчивость и изогнулась в восточном направлении, что и стало отправной точкой обрушения всего здания [1, 2].

Таким образом, по версии NIST [1, 2] утрата огнестойкости несущих стальных конструкций не яв-

лялась причиной обрушения ВТЦ-7, так как благодаря огнезащите SFRM нагрев колонн восточной части ядра здания происходил до температур 400 °С и даже ниже. А это намного меньше общепринятых значений температур при испытаниях на огнестойкость, при которых колонна теряет устойчивость [1, 2].

К недостаткам модели прогрессирующего обрушения ВТЦ-7 по версии NIST можно отнести то, что в ней не учитывается:

а) весьма существенная и решающая роль в поведении стальных конструкций при пожаре развития деформаций ползучести стали в результате ее нагрева до температур 250 °С и более;

б) возможность релаксации напряжений от температурного расширения конструкций при развитии деформаций ползучести. Это приводит к тому, что характер потери несущей способности стальных конструкций при пожаре происходит не за счет их обрушения, а вследствие недопустимых деформаций (рис. 7);

в) возможность развития таких больших деформаций ползучести стальных конструкций в условиях пожара, что это может привести к повреждению, отслаиванию и частичной утрате огнезащиты этих конструкций (см. рис. 7) и, как следствие, к резкому ускорению прогрева конструкций, ускорению развития деформаций ползучести и резкому снижению огнестойкости конструкций;

г) возможность снижения критической температуры нагрева стальных конструкций при увеличении нагрузки на них, перераспределяемой за счет конструкций, ранее утративших несущую способность.

6. Предлагаемая версия механизма обрушения ВТЦ-7

Предлагаемая версия механизма обрушения ВТЦ-7 основана на теории огнестойкости объектов при комбинированных особых воздействиях (СНЕ) с участием пожара, с учетом решающей роли деформаций ползучести стальных конструкций в рассматриваемых условиях.

Особенности СНЕ с участием пожара:

а) наличие нескольких характерных групп строительных конструкций, имеющих различную степень повреждений;

б) утрата этими конструкциями несущей способности в различные моменты времени (стадии) развития ЧС с участием пожара;

в) увеличение нагрузки на строительные конструкции по мере выхода из строя более поврежденных конструкций на различных стадиях СНЕ;

г) повышение нагрузки на уцелевшие конструкции, что приведет к соответствующему уменьшению их критической температуры нагрева при пожаре и резкому снижению их огнестойкости.



Рис. 7. Характерная картина особенностей деформации стальных балок и колонн и повреждения огнезащиты этих конструкций в результате воздействия пожара в здании ВТЦ-5 во время событий 11 сентября 2001 г. [1]

Сопоставление длительности воздействия пожара (3 ч) в зоне 7–13-го этажей здания ВТЦ-7 и огнестойкости колонн ядра здания ВТЦ-7 (3 ч) свидетельствует о возможности исчерпания огнестойкости последних при наблюдаемой длительности пожара.

Исчерпание огнестойкости колонн № 79–81 в зоне 5–13-го этажей в восточной части внутреннего ядра здания ВТЦ-7 по признаку утраты несущей способности произошло за счет развития деформаций ползучести стальных конструкций ядра здания в зоне интенсивного развития пожара (этажи 5–13) аналогично картине, представленной на рис. 7.

Кроме того, деформации ползучести стальных конструкций были столь значительными (см. рис. 7), что это могло привести к частичному повреждению огнезащиты конструкций, ускоренному прогреву их до критических температур и, как следствие, к резкому снижению их огнестойкости.

Деформации ползучести стальных колонн ядра здания № 79–81 (в зоне 5–13-го этажей) с учетом частичной утраты огнезащиты привели к исчерпанию их огнестойкости по признаку потери несущей способности, началу “проседания” ядра ВТЦ-7 в зоне расположения колонн № 79–81 и его прогрессирующего обрушения.

Вследствие потери несущей способности конструкций ядра ВТЦ-7 нагрузка, которую держали конструкции внутреннего ядра, через систему связей ядра с наружной оболочкой (балки, ригели, связи) передалась на наружную оболочку.

Известно [8], что повышение нагрузки на строительные конструкции приводит к соответствующему снижению критической температуры нагрева этих конструкций при пожаре и, соответственно, к снижению их огнестойкости (способности сопротивляться воздействию пожара).

В результате ослабленные пожаром колонны наружной оболочки на этажах 7–13, не выдержав дополнительной нагрузки, утратили свою несущую способность, что вызвало начало прогрессирующего обрушения и наружной оболочки и в конечном счете общее разрушение ВТЦ-7.

7. Анализ мифов об обрушении ВТЦ-7 во время событий 11 сентября

Достаточно часто, особенно в средствах массовой информации, встречается точка зрения, что симметричность обрушения здания ВТЦ-7 во время событий 11 сентября указывает на контролируемое разрушение здания, когда все колонны были умышленно одновременно разрушены взрывчатыми веществами (ВВ) [9, 10].

Прогрессирующее обрушение здания ВТЦ-7 в результате подрыва было бы возможно, если бы специальные заряды ВВ были заранее размещены по специальной схеме на несущих конструкциях в нижней части здания ВТЦ-7. Для решения этой задачи понадобилось бы несколько сотен килограммов взрывчатки. Взрыв такого количества ВВ должен был сопровождаться достаточно сильным сотрясением, которое должна была зафиксировать сейсмостанция Нью-Йорка, аналогично тому, как это про-

изошло во время столкновения самолетов с Северной и Южной башнями ВТЦ и при последующих взрывах топлива в зоне их удара.

Кроме того, взрыв такого количества взрывчатых веществ должен был сопровождаться акустическим ударом на уровне звукового болевого порога (130–140 дБ). В докладах очевидцев не упоминался такой акустический удар, и на аудио- и видеозаписях разрушения ВТЦ-7 он также не был зафиксирован [9, 10].

Таким образом, прогрессирующее обрушение здания ВТЦ-7 во время событий 11 сентября является следствием не мифического “подрыва”, а особенностей функционального назначения и конструктивной схемы этого здания, развития пожара, поведения и огнестойкости конструкций здания.

Заключение

Длительность воздействия пожара на несущие конструкции северо-восточного угла ядра ВТЦ-7 была сопоставима с огнестойкостью этих конструкций, тем более что развитие деформаций ползучести их в рассматриваемых условиях было столь значительным, что могло вызвать частичное повреждение их огнезащиты. Это и привело к исчерпанию огнестойкости стальных колонн в восточной части ядра здания во время событий 11 сентября 2001 г.

Через систему связей между ядром и наружной оболочкой здания ВТЦ-7 нагрузка на ядро здания при потере его несущей способности перераспределилась на наружную оболочку. В результате эта добавочная нагрузка на наружную оболочку понизила критическую температуру прогрева колонн оболочки на этажах развития пожара до температуры их прогрева при пожаре, что и привело к потере устойчивости наружной оболочки ВТЦ-7 и полному разрушению всего здания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ramon Gilsanz, Edward M. DePaola, Christopher Marrion, Harold “Bud” Nelson. WTC 7 (Chapter 5). World Trade Center Building Performance Study, FEMA, retrieved 2008-02-17.
2. NIST NCSTAR 1A. Federal Building and Fire Safety Investigation of the World Trade Center Disaster // Final Report on the Collapse of World Trade Center Building 7. — NIST, August 2008. — 116 p.
3. Dusenberry O. D. Review of existing guidelines and provisions related to progressive collapse workshop. — Arlington, 2004.
4. Razdolsky L. Explosion in a high-rise building // Proceedings of Structures Congress 2005. — N. Y. : American Society of Civil Engineers, 2005. — P. 1–12. DOI: 10.1061/40753(171)215.
5. Хасанов И. Р. Пожарная безопасность высотных зданий // Строительная инженерия. — 2005. — № 5. — С. 34–41.
6. Quintiere James G. Questions on the WTC investigation. Chapter: Resilience of Cities to Terrorist and other Threats. Learning from 9/11 and further Research Issues // Part of the NATO Science for Peace and Security Series. Series C: Environmental Security. — Springer, 2008. — P. 87–112. DOI: 10.1007/978-1-4020-8489-8_5.

7. *Млакэр Пол Ф., Дусенберри Дональд Д., Харрис Джеймс Р., Хейнс Геральд, Фан Лонг Т., Соэн Мете А.* The Pentagon building performance in the 9/11 crash. Chapter: Resilience of Cities to Terrorist and other Threats. Learning from 9/11 and further Research Issues // Part of the series NATO Science for Peace and Security Series. Series C: Environmental Security. — Springer, 2008. — P. 113–134. DOI: 10.1007/978-1-4020-8489-8 6.
8. *Ройтман В. М.* Особенности проектирования огнестойкости конструкций и зданий при комбинированных особых воздействиях с участием пожара // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 7. — С. 47–54.
9. *Dunbar David, Reagan Brad (eds.).* Debunking 9/11 Myths. Why conspiracy theories can't stand up to the facts. — N. Y. : Hearst Books, 2006. — 170 p.
10. *Ройтман В. М.* Инженерная оценка одного из “мифов” о событиях 11 сентября 2001 года // Инженерные системы (АВОК – Северо-Запад). — 2008. — № 4. — С. 26–29.
11. ASTM E 119. Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials. — West Conshohocken : American Society for Testing and Materials, 2000.

Материал поступил в редакцию 8 июля 2015 г.

Для цитирования: *Ройтман В. М.* О механизме прогрессирующего обрушения высотного здания ВТЦ-7 во время событий 11 сентября 2001 года в Нью-Йорке // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 10. — С. 37–44. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.10.37-44.

English

ON THE MECHANISM OF PROGRESSIVE COLLAPSE OF THE HIGH-RISE BUILDING WTC-7 DURING EVENTS OF 11 SEPTEMBER 2001 IN NEW YORK

ROYTMAN V. M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: roytman-msuse@yandex.ru)

ABSTRACT

The collapse of 47-storeyed WTC-7 skyscraper which occurred during 7 hours after terrorist attacks on the Twin Towers of the World Trade Center became the main riddle of the events of September 11, 2001.

The WTC-7 skyscraper wasn't a direct object of terrorist attack therefore circumstances of progressing collapse of this building caused fair amount of serious research, and also was followed by numerous myths and falsifications of events of September 11, 2001.

The version of the mechanism of WTC-7 progressing collapse, presented in this article, is based on the theory of fire resistance of objects in case of exposure to combined hazardous effects (CHE) taking into account the crucial role of creep strain of steel constructions under such conditions. It is noted that propagation of creep strain of the steel constructions under described conditions was so considerable that could cause partial damage of their fire protection and eventually lead to the fire resistance exhaustion and to buckling of the steel columns in east part of the stiffening core during a fire. As a result of loss of the bearing capacity of stiffening core columns, due to the redistribution of load on the external envelope of the building, the critical warm-up temperature of external envelope columns (in a fire development zone) decreased to the level of their warm-up temperatures during a fire. It led to loss of bearing capacity of the external envelope columns in a fire zone and to total destruction of WTC-7.

Keywords: terroristic threat; fire; construction; building; loss of bearing capacity; collapse; fire resistance.

REFERENCES

1. Ramon Gilsanz, Edward M. DePaola, Christopher Marrion, Harold “Bud” Nelson. WTC 7 (Chapter 5). World Trade Center Building Performance Study, FEMA, retrieved 2008-02-17.

2. NIST NCSTAR 1A. *Federal Building and Fire Safety Investigation of the World Trade Center Disaster*. Final Report on the Collapse of World Trade Center Building 7. NIST, August 2008. 116 p.
3. Dusenberry O. D. *Review of existing guidelines and provisions related to progressive collapse workshop*. Arlington, 2004.
4. Razdolsky L. Explosion in a high-rise building. *Proceedings of Structures Congress 2005*. N. Y., American Society of Civil Engineers, 2005, pp. 1–12. DOI: 10.1061/40753(171)215.
5. Khasanov I. R. Pozharnaya bezopasnost vysotnykh zdaniy [Fire safety of the high-rise building] *Stroitel'naya inzheneriya — Construction Engineering*, 2005, no. 5, pp. 34–41.
6. Quintiere James G. Questions on the WTC investigation. Chapter: Resilience of Cities to Terrorist and other Threats. Learning from 9/11 and further Research Issues. *Part of the NATO Science for Peace and Security Series. Series C: Environmental Security*. Springer, 2008, pp. 87–112. DOI: 10.1007/978-1-4020-8489-8_5.
7. Mlakar Paul F., Dusenberry Donald D., Harris James R., Haynes Gerald, Phan Long T., Sozen Mete A. The Pentagon building performance in the 9/11 crash. Chapter: Resilience of Cities to Terrorist and other Threats. Learning from 9/11 and further Research Issues. *Part of the series NATO Science for Peace and Security Series. Series C: Environmental Security*. Springer, 2008, pp. 113–134. DOI: 10.1007/978-1-4020-8489-8_6.
8. Roytman V. M. Osobennosti proyektirovaniya ognestoykosti konstruksiy i zdaniy pri kombinirovannykh osobykh vozdeystviyakh s uchastiyem pozhara [Features of designing of constructions and buildings fire resistance in conditions of combined hazardous effects accompanied by fire]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 7, pp. 47–54.
9. Dunbar David, Reagan Brad (eds.). *Debunking 9/11 Myths. Why conspiracy theories can't stand up to the facts*. N. Y., Hearst Books, 2006. 170 p.
10. Roytman V. M. Inzhenernaya otsenka odnogo iz mifov o sobyitiyakh 11 sentyabrya 2001 goda [The engineering evaluation of the one of myths about 9/11 events]. *Ingenernyye sistemy (AVOK – Severo-Zapad) — Engineering systems (AVOK – North-West)*, no. 4, 2008, pp. 26–29.
11. *ASTM E 119. Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials*. West Conshohocken, American Society for Testing and Materials, 2000.

For citation: Roytman V. M. O mekhanizme progressiruyushchego obrusheniya vysotnogo zdaniya VTTs-7 vo vremya sobytiy 11 sentyabrya 2001 goda v Nyu-Yorke [On the mechanism of progressive collapse of the high-rise building WTC-7 during events of 11 September 2001 in New York]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 10, pp. 37–44. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.10.37-44.