ВОЗМОЖНАЯ ПРИЧИНА НЕОБЫЧНОГО ОБРУШЕНИЯ ЗДАНИЙ ВСЕМИРНОГО ТОРГОВОГО ЦЕНТРА

© М. Н. Кокоев

КБГУ им. Х. М. Бербекова, Нальчик, Россия

Национальный институт стандартов и технологий (NIST) провел расследование о причинах обрушения Всемирного торгового центра (WTC). Однако до сих пор встречаются суждения о якобы специально подготовленном взрыве зданий WTC некими «заговорщиками». Действительно, для многих наблюдателей и экспертов картина обрушения башен WTC послужила поводом для сомнений – как могли высотные здания относительно ровно, практически вертикально, обрушиться? В связи с этим, в работе обсуждается гипотеза, на основе которой можно объяснить специфический характер обрушения зданий. Лифтовые шахты в зданиях занимали 25% площади на плане. Они были сгруппированы в центре здания. Внутренний объем шахт для лифтов на протяжении 200 метров по высоте равен 120000 м^3 . Разлившийся авиационный керосин пропитал поверхности стенок лифтовых шахт и создал внутри смесь из паров керосина и воздуха. У керосина в три раза ниже поверхностное натяжение, чем у воды. Поэтому он легко смачивает почти любые поверхности, быстро растекается и пропитывает всё. Для керосина концентрационные границы взрываемости в смеси с воздухом находятся от 0,8 до 5,2%. Энергия паров керосина в лифтовых шахтах, равная нижнему концентрационному пределу взрываемости, эквивалентна 13000 кг TNT. При случайной искре происходит объемный взрыв паров керосина в лифтовых шахтах. Энергии взрыва достаточно для разрушения и последующего почти вертикального обрушения здания.

Ключевые слова: Всемирный торговый центр, шахты лифта, пары керосина, объемный взрыв, обрушение зданий.

В работе не обсуждается первопричина обрушения зданий Всемирного торгового центра (ВТЦ) в Нью-Йорке в 2001 г. Поскольку факт столкновения авиалайнеров Боинг-767 с высотными зданиями у абсолютного большинства экспертов и очевидцев события не вызывает сомнений. Однако оговорка необходима. Несмотря на результаты детального расследования, произведенного Национальным институтом стандартов и технологий (NIST), до сих пор встречаются суждения о якобы специально подготовленном взрыве зданий ВТЦ некими «заговорщиками». Или подготовленном взрыве с целью контролируемого сноса зданий в случае чрезвычайных обстоятельств [1-3].

Напомним, высота башен Торгового центра была 417 и 415 метров. Архитекторы и инженеры, столкнувшись с трудностью проектирования зданий беспрецедентной высоты, применили прогрессивную структурную схему. Внешняя несущая конструкция – это жест-

кая «полая труба» на всю высоту здания. Такая «труба» получается, если стальные колонны располагать с малым интервалом по периметру сооружения. Сечение стальных колонн равно 476 x 990 мм. Просвет между колоннами был очень мал, всего 559 мм. Поэтому издали казалось, что в башнях совсем нет окон.

В центре здания было сгруппировано 20 шахт для лифтов. В каждой шахте ходили по два или три лифта. Шахты лифтов занимали не менее четверти всей площади плана. Офисные пространства не имели внутренних несущих перегородок. Легкие стальные фермы располагались на каждом этаже между центральной лифтовой частью и колоннами периметра. Эти фермы поддерживали междуэтажные перекрытия. Кроме того, фермы соединяли колонны в каркас. Это предохраняло конструкцию от внешних воздействий.

Ниже рассматривается неизвестная версия, на основе которой можно объяснить спец-

и физический характер обрушения зданий. В многочисленных публикациях обращается особое внимание на то, как это произошло. Как следует из доступных обзоров произошедшего, инженеры считают, что они правильно понимают причины разрушения башен Торгового центра.

Пожар, вызванный воспламенением авиационного топлива, ослабил колонны, уменьшил их несущую способность. Каждый упавший этаж повышал весовую нагрузку на нижние этажи, и этот ускоряющийся процесс быстро довершил общее разрушение. В принципе все это ясно. Но пока неизвестна более точная картина. Сколько стальных несущих колонн было рассечено механическим столкновением с авиалайнерами? Как именно распространялся пожар? Сыграло ли решающую роль авиационное топливо, или обычный пожар мог бы привести к таким же последствиям?

Современные высотные здания спроектированы так, чтобы сопротивляться огню определенное время. Системы безопасности, такие как огнестойкие материалы и разбрызгивающие системы. Это пожарные трубопроводы с водой под давлением, оснащенные спринклерами [4]. Спринклерная система автоматического пожаротушения используется с конца 19 века. Несмотря на недостатки, она доказала свою надежность. Разбрызгивающие системы помогают сдерживать огонь, гасить пламя и предохранять сталь от воздействия чрезмерно высоких температур. Это дает время и позволяет пожарным погасить пламя прежде, чем здание будет повреждено катастрофически.

Возможно, что пожар, начавшийся от авиационного топлива и уничтоживший содержимое офисов, создал условия горения более серьезные, чем при обычном пожаре. Это обстоятельство повлияло на то, что пожар преодолел противопожарную защиту намного быстрее, чем ожидалось. В итоге, потеря прочности несущих конструкций от воздействия огня в сочетании с влиянием начальных повреждений здания могли стать причиной разрушения системы ферм, поддерживающих этажи в зоне удара. Разрушение этажных ферм позволило бы колоннам периметра сдвинуться наружу. В результате все это должно было закончиться полным разрушением по крайней мере одного

или двух этажей на данном уровне. Раз один или два этажа были разрушены – все этажи выше начали падение. Энергия падения усиливалась поочередным обрушением всех ниже лежащих этажей.

На многих фотографиях, размещенных в Интернете, видно, что верхняя часть Южной башни в начале падения опрокидывается влево. Северная башня обрушилась непосредственно вниз, падая под весом своей верхней части вертикально. Одинаковый механизм повреждений и комбинация последствий от пожара – вероятная причина падения обеих башен. Если не считать, что второй самолет сильно отклонился от центра Южной башни и ударил ее ближе к краю. Поэтому верхняя часть Южной башни начала обрушение с заметным наклоном в сторону поврежденной части здания. В результате чего получилось несколько «перекошенное» падение.

Уточнил картину обрушения инженер-конструктор Центра международной торговли: «Из многих видеодокументов видно, что диафрагма этажа, необходимая для соединения внешних колонн, потеряла соединение с внешней стеной. Когда стабильность была утрачена, внешние колонны «отстегнулись» наружу, позволив тем самым уронить этажи сверху на этаж ниже, перегружая каждый из них по мере того, как вся масса двигалась вниз» [5].

Тем не менее, для многих наблюдателей и экспертов вышеизложенная картина послужила поводом для сомнений – как могли небоскребы ВТЦ относительно ровно, практически вертикально, обрушиться, словно бы их подвергли контролируемому сносу специалисты с помощью правильно заложенных и согласованно подорванных зарядов ВВ.

Рассмотрим возможные факторы, которые могли бы повлиять на быстрое обрушение здания и падение его фрагментов почти без отклонения от вертикали. При этом роль авиационного топлива (керосина) в катастрофе, как основную, рассмотрим в последнюю очередь.

1. Возможное появление во время пожара значительного количества водорода и его влияние на события. Удельная энергоемкость водорода исключительно велика, она в 3,5 раза превышает энергоемкость керосина. Напри-

мер, при сгорании 1 кг водорода выделяется примерно столько же энергии, как при взрыве 30 кг тринитротолуола (ТНТ) [6]. При горении больших масс авиационного топлива в отдельных зонах пожара могла достигаться температура, которой было достаточно для разрушения огнезащитной теплоизоляции на некоторой части стальных конструкций. Кроме того, во время пожара должны были сработать спринклеры системы пожаротушения. Несмотря на то, что эту систему многие считают давно устаревшей, ей нельзя отказать в надежности, так как в работе она совершенно автономна.

Конечно, погасить большую массу горящего керосина распыляемая спринклерами вода не могла. Водяной пар, соприкасаясь с раскаленными стальными элементами конструкции, диссоциирует, выделяя водород. Сталь при этом интенсивно окисляется. При температуре несколько больше 570°C сталь могла снова восстановиться, так как рассматриваемый процесс образования водорода обратим. Направление реакции зависит от температуры и парциальных давлений реагентов. Однако утверждать, что выделяющийся водород мог в смеси с воздухом привести к сильному взрыву, нельзя.

Во-первых, в указанных условиях выделение водорода было не слишком интенсивным из-за относительно небольшой поверхности сильно нагретых стальных элементов. Так, для образования всего 1 кг водорода необходимо, чтобы полностью окислилось более 20 кг железа. В промышленных условиях для получения водорода обычно используют большое количество железа с развитой поверхностью. Например, в виде стружки или крупнозернистого порошка. А в рассматриваемом случае имелся лишь компактный металл стальных конструкций.

Во-вторых, выделяющийся водород, скорее всего, сразу сгорал. Либо движение потоков воздуха и продуктов горения быстро разбавляли газозоветную смесь настолько, что концентрация водорода уходила за нижнюю границу взрываемости смеси «водород-воздух». Нижняя граница взрываемости для смеси «воздух-водород» трудно достигается, так как она равна 4% содержания водорода.

2. Вторая версия – обрушению здания способствовала хрупкость стальных несущих конструкций, которая до этого в статике никак себя не проявляла. Хрупкость из-за поставки на строительство бракованной стали вследствие несоответствующего стандартам химического состава или неправильной технологии обработки стали мы исключаем. Ниже рассматриваются две возможные причины хрупкости. Они маловероятны, но возможные причины следует обсудить.

Во-первых, хрупкость материала могла появиться вследствие пожара из-за так называемой синеломкости стали. Синеломкость наблюдается в низкоуглеродистой стали при деформации ее в интервале температур $200...300^{\circ}\text{C}$ [7]. Она обусловлена главным образом взаимодействием между атомами азота и дислокациями. Азот почти всегда присутствует в обычной стали. Временная прочность стали на разрыв даже несколько увеличивается. Проявление хрупкости стали из-за синеломкости во время катастрофы всё же нельзя считать имевшим место. Причина в том, что получить температуру порядка 300°C могли только те элементы конструкции, которые были расположены непосредственно в зоне пожара и выше него. А обрушение всех этажей происходило так, будто весь несущий каркас здания, в том числе много ниже пожара, внезапно стал хрупким.

Во-вторых, рассмотрим так называемую травильную хрупкость. Стальные элементы конструкции здания во многих случаях подвергают антикоррозийной защите. Чаще всего для покрытия крупногабаритных стальных конструкций используют горячее цинкование, как наиболее надежное и достаточно экономичное. Перед цинкованием поверхность стали очищают механическими способами – пескоструйной обработкой или крацеванием. Это трудоемкие процессы, которые к тому же требуют строгого соблюдения норм охраны труда. Во многих странах пескоструйная обработка запрещена. Поэтому перед горячим цинкованием сталь чаще травят в растворах кислот. При травлении стали в кислоте она насыщается водородом, что делает её хрупкой. Это так называемая травильная хрупкость. Проявляет-

ся она у сталей, обработанных в водных растворах кислот, окисляющее действие которых обусловлено ионами водорода [8].

Итак, травильная хрупкость представляет собой частный случай водородной хрупкости. Водород, выделяющийся при травлении на межфазной границе «твердое-жидкое», проникает во внутренние объемы стали и скапливается в различных дефектах и микропорах, вследствие чего металл плохо деформируется и хрупко разрушается при механических напряжениях, значительно меньших, чем это бывает у стали до травления [9]. Для устранения травильной (водородной) хрупкости изделия ответственного назначения подвергают отжигу, при котором водород уходит из металла. С этой целью детали выдерживают 2 часа при температуре 100...150°С. Гипотезу о том, что травильная хрупкость в стали на момент окончания строительства зданий в 1973 г. могла быть, например, из-за нарушения технологического регламента, полностью исключить нельзя, но она маловероятна. Кроме того, прошло 28 лет с момента окончания строительства до года катастрофы. Скорее всего, за это время концентрация водорода снизилась вследствие естественной диффузии до неопасной величины.

3. Видимую картину быстрого обрушения зданий можно объяснить тем, что в центральной части зданий, в лифтовых шахтах, на большей части их высоты произошел объемный взрыв топливно-воздушной смеси.

Как известно, оба самолета Боинг-767 вылетели в Лос-Анджелес из аэропорта Logan в Бостоне с интервалом в 14 минут. Расстояние от Бостона до Лос-Анджелеса по прямой более 4500 км. Дальность реального маршрута значительно больше. Следовательно, на борту у каждого самолета в момент взлета было не менее 25 тонн авиационного керосина [10]. В полете до Нью-Йорка на дистанции около 650 км они успели израсходовать небольшую часть взятого на борт топлива.

При ударе в Северную башню значительная часть топлива попала внутрь здания. При этом не следует думать, что топливо быстро сгорело. Как отмечают многие свидетели, большую часть времени дым от пожара был

черного цвета. Это можно объяснить большим содержанием в продуктах горения несгоревшего углерода. Такое наблюдается во время горения углеводородов при коэффициенте избытка воздуха значительно меньше единицы. Иначе говоря, при недостатке воздуха для горения большой массы топлива образуются видимые частицы углерода. Как известно, полностью сгоревший углерод образует бесцветный прозрачный газ – CO₂.

Отсюда следует, что большая часть керосина растеклась по двум или трем этажам. Отметим, что у керосина поверхностное натяжение ниже, чем у воды, в три раза. По этой причине у керосина особое свойство хорошо смачивать многие поверхности и легко проникать в мельчайшие поры и трещины. Поэтому его используют в так называемой капиллярной дефектоскопии для обнаружения микротрещин шириной до 0,001 мм. Можно утверждать, что значительная часть всепроникающего керосина протекла в шахты лифтов и пропитала все доступные поверхности.

Легковоспламеняющиеся жидкости характеризуются температурой вспышки. Это температура, при которой происходит воспламенение смеси воздуха с парами жидкости без загорания самой жидкости. Вспышка происходит при соприкосновении паровоздушной смеси с пламенем или раскаленным телом, а также при проскакивании электрической искры. Температура вспышки керосина, в зависимости от марки, обычно находится в интервале 28...40°С.

Лифтовые шахты в зданиях занимали 25% площади на плане. Они были сгруппированы в центре здания. Общий внутренний объем большой группы шахт для лифтов на протяжении 200 метров по высоте равен 120000 м³. Меньшую группу лифтов, собранных в один ряд, не учитываем. Будем считать, что за время, прошедшее после столкновения самолета с Северной башней, разлившийся керосин пропитал поверхности стенок лифтовых шахт и создал внутри концентрацию паров керосина, достигшую нижнего порога взрываемости топливно-воздушной смеси. Для керосина концентрационные границы взрываемости в смеси с воздухом находятся в интервале

0,8...5,2% (нижняя и верхняя границы). Следовательно, в указанном концентрационном интервале содержание паров керосина в указанном объеме шахт могло быть от 1200 до 7800 кг, энергосодержание которого эквивалентно от 13 т до 84 тонн ТНТ соответственно. Если даже брать минимум содержания горючего в воздухе лифтовых шахт, равное нижнему концентрационному пределу взрываемости паров керосина (13 т), то и тогда на каждый метр высоты шахт с парами керосина приходилось бы по 65 кг ТНТ [11]. Этого более чем достаточно для разрушения лифтовых шахт здания и последующего обрушения всего сооружения.

Конечно, нам неизвестно, сколько в действительности протекло керосина в шахты и какую часть объема шахт по высоте занимали пары керосина в концентрации, достаточной для объемного взрыва топливно-воздушной смеси. Но проведенная оценка показывает, что такое развитие событий вполне могло иметь место, учитывая следующие факторы:

- керосин действительно был в большом количестве в зоне начальных разрушений;
- в условиях стесненного притока воздуха в зону горения керосин не мог быстро сгореть;
- учитывая легкость смачивания, растекания и проникания керосина большая часть горючего непременно попала внутрь лифтовых шахт;
- благодаря большой поверхности смачивания и относительно высокой температуре воздуха в Нью-Йорке 11 сентября топливо могло интенсивно испаряться. Поэтому топливно-воздушная смесь могла заполнить значительную часть объема шахт;

– в момент обрушения одного или двух этажей в зоне пожара какой-либо из многочисленных не отключенных кабелей питания и связи в шахтах мог оборваться с образованием сильной искры;

– в совокупности эти события привели к мощному объемному взрыву топливно-воздушной смеси внутри шахт. Это вызвало их частичное или полное разрушение, что нарушило механические связи строительной конструкции на большей части ее высоты. Это привело к падению здания почти без отклонения от вертикали, так как большая часть внутренних связей была разрушена взрывом;

– обрушение Южной башни могло произойти по схожему сценарию. Некоторые внешние различия в картине обрушения Южной башни могли быть вызваны тем, сколько, в какие шахты и за какое время протекло и испарилось больше или меньше керосина.

В заключение считаем необходимым привести мнение Федерального агентства чрезвычайных ситуаций (FEMA) [12]. Агентство в мае 2002 года завершило изучение обстоятельств трагедии. Оно признало, что конструкция башен WTC соответствовала существующим на тот момент требованиям безопасности. Разрушение башен объясняется действием чрезвычайных факторов, находящихся вне возможностей контроля проектировщиков и строителей.

Национальный институт стандартов и технологий, так же как и FEMA, не имел претензий к конструкции башен WTC, отмечая, что величина нанесённых зданиям повреждений атаками самолётов была далеко за пределами всего того, что когда-либо происходило в США.

ЛИТЕРАТУРА

1. ©Bažant, Zdeněk P.; Yong Zhou. Why Did the World Trade Center Collapse? Simple Analysis // J Engrg Mech: journal. 2002. 1 January (vol. 128, no. 1). P. 2-6.
2. Fahim Sadek. NIST NCSTAR 1-2. Baseline Structural Performance and Aircraft Impact Damage Analysis of the World Trade Center Towers. NIST September 2005. P. 3-5. 308.
3. National Construction Safety Team. Chapter 1 // Final Report on the Collapse of the World Trade Center Towers (англ.). NIST. 2005. P. 6.
4. Мешалкин Е. А., Шевченко П. М. Состояние и перспективы разработок изделий для тушения пожаров тонкораспылённой водой // Пожаровзрывобезопасность. 2008. Том 17. № 1. С. 68-74.

5. WTC Disaster Study. Created March 23, 2011, Updated August 24, 2018. <https://www.nist.gov/topics/disaster-failure-studies/world-trade-center-disaster-study> (Date of treatment: April 15, 2021).
6. Горст А. Г. Пороха и взрывчатые вещества. Москва: Машиностроение, 1972. 208 с.
7. Гуляев А. П. Металловедение. Москва: Металлургия, 1977. 646 с.
8. M. R. Louthan, Jr. "The Effect of Hydrogen on Metals", Corrosion Mechanisms, F. Mansfeld, Editor, Marcel Dekker Inc., NY (1987).
9. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение. Москва: Машиностроение, 1980. 493 с.
10. Самолет Боинг 767-200. <https://www.airlines-inform.ru/commercial-aircraft/boeing-767-200.html> (Date of treatment: April 15, 2021).
11. Паушкин Я. М. Химия реактивных топлив. Москва: Издательство АН СССР, 1962. 436 с.
12. Hamburger Ronald, et al. World Trade Center Building Performance Study. Federal Emergency Management Agency. https://www.fema.gov/pdf/library/fema403_ch2.pdf (Date of treatment: April 15, 2021).

POSSIBLE CAUSE OF ABNORMAL COLLAPSE OF THE WORLD TRADE CENTER BUILDING

© M. N. Kokoev

KBSU named after H. M. Berbekov, Nalchik, Russia

The National Institute of Standards and Technology (NIST) has conducted an investigation into the causes of the collapse of the World Trade Center (WTC). However, there are still opinions about the allegedly specially prepared explosion of the WTC buildings by some "conspirators". For many observers and experts, the picture of the collapse of the WTC towers gave rise to doubts – how could high-rise buildings collapse relatively evenly, almost vertically? The paper discusses a hypothesis on the basis of which it is possible to explain the specific nature of the collapse of these buildings. The elevator shafts were grouped in the center of the building. They occupied 25% of the area on the plan. The internal volume of the elevator shafts over a length of 200 meters in height is equal to 120,000 m³. The spilled aviation kerosene soaked the surfaces of the walls of the elevator shafts and created a mixture of kerosene and air vapors inside. Kerosene has three times lower surface tension than water. Therefore, it easily wets almost any surface, spreads quickly and soaks everything. For kerosene, the concentration limits of explosiveness in a mixture with air are from 0.8 to 5.2%. The energy of kerosene vapors in lift shafts, equal to the lower concentration limit of explosiveness, is equivalent to 13000 kg of TNT. In case of an accidental spark, a volumetric explosion of kerosene vapors occurs in the elevator shafts. The energy of the explosion was enough to destroy the building causing subsequent almost vertical collapse.

Keywords: World Trade Center, elevator shafts, kerosene vapors, volumetric explosion, building collapse.

REFERENCES

1. Bažant, Zdeněk P. and Yong, Zhou. (2002) Why Did the World Trade Center Collapse? Simple Analysis // *J Engng Mech: journal*. 1 January (vol. 128, no. 1). Pp. 2-6.
2. Fahim Sadek. NIST NCSTAR 1-2. Baseline Structural Performance and Aircraft Impact Damage Analysis of the World Trade Center Towers. NIST September 2005. P. 3-5. 308.

3. National Construction Safety Team. Chapter 1. *Final Report on the Collapse of the World Trade Center Towers*. NIST. 2005. P. 6.
4. Meshalkin E. A. and Shevchenko P. M. (2008) Sostoyanie i perspektivy razrabotok izdelij dlya tusheniya pozharov tonkoraspylyonnoj vodoj. *Pozharovzryvobezopasnost'*. [State and prospects of development of products for extinguishing fires with finely sprayed water. *Fire and explosion safety*]. V. 17. № 1, pp. 68-74.
5. WTC Disaster Study. Created March 23, 2011, Updated August 24, 2018. Available at: <https://www.nist.gov/topics/disaster-failure-studies/world-trade-center-disaster-study> (Date of treatment: April 15, 2021).
6. Gorst, A. G. (1972) *Poroha i vzryvchatye veshchestva*. [Gunpowder and explosives]. Mechanical Engineering. Moscow, P. 208.
7. Gulyaev, A. P. (1977) *Metallovedenie*. [Metallurgy]. Metallurgy. Moscow, P. 646.
8. M. R. Louthan, Jr. (1987) "The Effect of Hydrogen on Metals", Corrosion Mechanisms, F. Mansfeld, Editor, Marcel Dekker Inc., NY.
9. Lahtin, Yu. M. and Leont'eva V. P. (1980) *Materialovedenie*. [Materials Science]. Moscow: Mechanical Engineering. P. 493.
10. Boeing 767-200 airplane. <https://www.airlines-inform.ru/commercial-aircraft/boeing-767-200.html> (Date of treatment: April 15, 2021).
11. Paushkin Ya. M. (1962) *Himiya reaktivnyh topliv*. [Chemistry of jet fuels]. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR. P. 436.
12. Hamburger Ronald, et al. World Trade Center Building Performance Study. Federal Emergency Management Agency. https://www.fema.gov/pdf/library/fema403_ch2.pdf (Date of treatment: April 15, 2021).