

Канд. техн. наук, докторант, доцент Академии ГПС МЧС РФ
С. А. Швырков



Канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры "Пожарной безопасности технологических процессов" Академии ГПС МЧС РФ
С. А. Горячев



Начальник факультета "Научно-педагогических кадров" Академии ГПС МЧС РФ
В. П. Сорокоумов

Адъюнкт Академии ГПС МЧС РФ
С. В. Батманов

Адъюнкт Академии ГПС МЧС РФ
В. В. Воробьев

УДК 614.841.413:665.521.2

СТАТИСТИКА КВАЗИМГНОВЕННЫХ РАЗРУШЕНИЙ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Представлены анализ и интерпретация результатов наблюдений квазимгновенных разрушений вертикальных стальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов, являющихся выборкой из генерального статистического массива произошедших аварий в резервуарных парках объектов топливно-энергетического комплекса за период с 1950 по 2006 гг.

Отличительными признаками квазимгновенного разрушения вертикальных стальных резервуаров (РВС) являются полная потеря целостности корпуса и выход в течение короткого промежутка времени на прилегающую территорию всей хранящейся в резервуаре жидкости в виде волны прорыва [1].

Анализ результатов наблюдений квазимгновенных разрушений РВС и их последствий произведен по материалам зарегистрированных и описанных случаев аварий, которые произошли в резервуарных парках топливно-энергетического комплекса (ТЭК) в СССР, а после его распада — в России и странах СНГ с 1950 по 2006 гг. При создании банка данных использовались различные источники информации: статистические листки, статьи, монографии, ведомственные информационные письма, журналы учета пожаров и аварий, заключения экспертных комиссий по расследованию чрезвычайных ситуаций, а также личные записи специалистов, занимающихся данной проблемой [2–4].

Согласно полученным данным, в течение исследуемого периода зарегистрировано более 140 случаев квазимгновенных разрушений РВС, распределение которых по годам представлено на рис. 1. В то же время настоящий банк данных не может быть признан полным как по учету количества разрушений РВС, так и по полноте исходной информации. Это обстоятельство обусловлено, в частности, нежеланием компаний и организаций придавать широкой огласке аварийные ситуации, которые не сопровождались крупными пожарами, не приводили к травмам и гибели людей, а также следствием которых не было причинение значительного ущерба природной среде или третьим лицам. К числу закрытой информации относятся также инциденты на объектах оборонного ведомства.

Основными предпосылками возникновения квазимгновенных разрушений РВС являются: высокий процент износа эксплуатируемых в настоящее время РВС (до 80% [5]), неравномерные просадки оснований, сложный характер нагружения конструкции, отсутствие контроля сплошности сварных соединений в зоне уторного шва, отступления от проектов, нарушения режимов эксплуатации и др.

Механизм разрушений РВС достаточно сложный и не является предметом рассмотрения в насто-

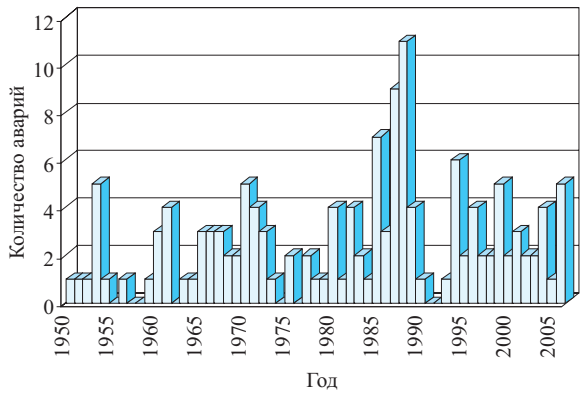


Рис. 1. Распределение квазимгновенных разрушений РВС по годам

ящей работе. В то же время необходимо отметить, что согласно материалам экспертиз аварий раскрытие РВС происходило, в основном, вследствие разрушения наиболее нагруженного конструктивного элемента — узла сопряжения стенки с днищем резервуара. При этом стенка РВС разрушалась на всю высоту и за счет больших радиальных усилий, связанных с давлением жидкости при ее истечении из РВС, отрывалась от днища, а ее края разворачивались на 120–180°. Стенка резервуара с силой отбрасывалась с фундамента в сторону, противоположную направлению истечения жидкости, а крыша РВС обрушивалась на днище.

Одна из первых аварий с катастрофическими последствиями, унесшая жизни 41 человека, произошла в 1960 г. на Каменской нефтебазе в Ростовской области. Вследствие переполнения бензином РВС-700 конструкции ДИСИ произошло его полное разрушение по вертикальному сварному шву. Образовавшаяся горящая волна прорыва вышла за пределы территории нефтебазы и растеклась на площади более 10000 м^2 (рис. 2 и 3).

Огонь охватил все строения и часть резервуарного парка склада нефтепродуктов и по горящему бензину, стекающему под уклон в сторону р. Северный Донец, распространился на жилые дома, расположенные на расстоянии 60–80 м от нефтебазы. Даже река не стала естественной преградой на пути огненного потока. Горящий на водной поверхности бензин достиг противоположного берега и поджег пристань и лодки.

Каждый третий случай квазимгновенного разрушения резервуара сопровождался так называемым эффектом “домино”. Одна из первых таких аварий, в результате которой погибли 24 человека, отмечена в 1953 г. на нефтеперерабатывающем заводе в Башкирии при разрушении РВС-4600 с сырой нефтью.

Аналогичный пожар возник в 1983 г. на нефтебазе в г. Дудинка Красноярского края. Первичная авария и взрыв произошли в районе насосной станции. От воздействия взрывной ударной волны разрушился РВС-5000, в котором находилось 5 тыс. т газового конденсата. Стенка резервуара оказалась оторванной наполовину от днища и в развернутом состоянии сместилась на гребень обвалования в сторону товарного парка. Кровля РВС была полностью оторвана от корпуса и смещена на 23 м от днища на обвалование в сторону здания насосной. Образовавшийся поток горящей жидкости перехлестнул через обвалование, размыв на глубину 0,3–0,4 м его гребень. Дальнейший разлив жидкости продолжался с учетом уклона рельефа местности в сторону товарных резервуаров, насосной станции, здания манифольдной и далее по всей территории объ-



Рис. 2. Пожар на нефтебазе после квазимгновенного разрушении РВС-700



Рис. 3. Нефтебаза после тушения пожара

екта с выходом за его пределы, что привело к крупному пожару с эффектом “домино” и гибели 2 человека. Общая площадь пожара разлива составила около 30000 м^2. Пожар продолжался 28 ч, в его ликвидации участвовали более 200 человек.

Из общего количества зарегистрированных разрушений РВС 46,4% аварий сопровождались крупными пожарами с травмами людей, из них непосредственно на пожарах от действия высоких температур разрушилось 6,4% резервуаров.

Остальные разрушения РВС не сопровождались пожарами и квалифицировались как категорийные аварии, из которых 14,3% разрушений произошло при проведении гидравлических испытаний резервуаров.

Наиболее часто разрушались (в 41,4% случаев) резервуары типа РВС-5000, что обусловлено, по мнению авторов, их наибольшей распространенностью на производственных объектах по сравнению с другими номинальными объемами резервуаров. В последнее время отмечено несколько разрушений крупногабаритных резервуаров, в основном на объектах энергетики. Так, начиная с 1980 г. зарегистрировано 10 случаев разрушений резервуаров



Рис. 4. Состояние железобетонного наружного ограждения после аварии



Рис. 5. Распределение разрушившихся РВС по ведомственной принадлежности

РВС-10000, 8 случаев — РВС-20000 и 3 случая — РВС-30000.

Отличительной особенностью квазимгновенного разрушения крупногабаритного резервуара (номинальной емкостью более 10000 м^3) является не только уничтожение земляного обвалования или железобетонной ограждающей стены, но и отмеченное в каждом втором случае полное разрушение или сильная деформация соседних резервуаров, повреждения зданий, сооружений и технологических установок, что приводило к значительному экономическому ущербу. При этом поток жидкости практически всегда выходил далеко за территорию предприятий, создавая угрозу соседним объектам и приводя к загрязнению окружающей природной среды. По статистике общий материальный ущерб от таких аварий резервуаров превышает в 500 и более раз первичные затраты на их сооружение [6].

Характерен случай аварийного разрушения РВС-20000 при проведении гидроиспытания в 1985 г. на Невинномысской ГРЭС Ставропольского края. Резервуарный парк мазутного хозяйства ГРЭС состоял из трех резер-вуаров РВС-20000, размещенных в одном ограждении площадью 13460 м^2. Внешнее защитное ограждение было выполнено из железобетонных плит, закрепленных с помощью сварки на опорных колоннах, заглубленных в грунт на 1,5 м, и располагалось на расстоянии 12 м от РВС. Внутренние стены между резервуарами были изготовлены из бетонных блоков.

При разрушении РВС № 2 образовавшийся поток воды развернул стенки резервуара, оторвав их от днища и кровли, и отбросил в сторону РВС № 3 и внешнего ограждения. При этом конструкциями разрушив-шегося резервуара был поврежден и сдвинут с фундамента на 1 м РВС № 3, стенка которого была оторвана от днища на длине 11,3 м и сильно деформирована до уровня шестого пояса с глубиной вмятины 1,12 м во втором поясе. Непосредственно волной прорыва и движущимися конструк-циями резервуаров полностью разрушены внутренние стены резервуарного парка и на 70% — наружное ограждение (рис. 4).

Полностью уничтожена эстакада технологических трубопроводов на протяжении более 130 м. Элементы ограждающих стен (плиты, колонны) отброшены на расстояние до 40 м в сторону промышленной площадки.

Поток воды с железобетонными элементами разрушенного ограждения сильно повредил соседний РВС № 1. Стенка оторвалась от днища на длине более 80 м, а глубина вмятины на уровне четвертого пояса (6 м) достигала 2,5 м. Находившийся в резервуаре мазут (2,5 т) разлился по воде на площади до 90000 м^2, замазутил р. Барсучки и частично попал в р. Кубань, что привело к большому экологическому и материальному ущербу.

Ниже приведены результаты анализа статистических данных по квазимгновенным разрушениям резервуаров. Разбиение общей совокупности производилось по таким существенным количественным и атрибутивным признакам, как ведомственная принадлежность объекта, номинальная емкость резервуара, вид продукта в аварийном резервуаре (рис. 5–7).

К сожалению из-за отсутствия документированных данных не представилось возможным рассмотреть такие варьирующие признаки, как способ проектирования и монтажа резервуара, его конструктивные особенности, режим и продолжительность эксплуатации и ряд других.

Примерно половина всех аварий, связанных с разрушением резервуаров, квалифицировались как крупные или катастрофические, 17 из них привели к гибели 98 человек.

Наиболее часто (в 47,8% рассмотренных случаев) квазимгновенные разрушения резервуаров происходили при низких температурах окружающего воздуха и сильном ветре, что характерно, в основ-

ном, для объектов, находящихся в районах Крайнего Севера, Западной Сибири и Урала.

В некоторых случаях отмечено разрушение даже частично заполненных РВС, которое происходило при взрыве паровоздушной смеси внутри РВС, в результате чего стенка отрывалась от днища на участке, достигающем 3/4 длины его окружности. Иногда такие разрушения РВС сопровождались полным отрывом корпуса от днища и его опрокидыванием на бок или "полетом" на расстояние до 100 м в сторону от основания.

Характер взаимодействия волны прорыва, образующейся при разрушении РВС, с защитной стеной, выполненной из бетона, кирпичной или каменной кладки, а также с земляным обвалованием таков, что в 45,0% случаев аварий поток разрушал стену или размывал обвалование, выходя за пределы территории объекта, что приводило к катастрофическим последствиям с большим материальным ущербом (в 6 случаях отмечено нанесение значительного вреда водным объектам). В 38,6% случаев разрушений РВС поток продукта только промывал земляные дамбы или перехлестывал через них, не разливаясь за пределы территории производственного объекта.

Как правило, такие гидродинамические аварии происходили при разрушении резервуаров небольших объемов (до 2000 м^3) или при частичном (до 2/3 высоты) заполнении РВС больших объемов. Остальные 16,4% случаев приходятся на разлив продукта в каре защитного обвалования, при небольшом уровне заполнения (менее 1/5 высоты) РВС, разрушившихся, как правило, при взрыве паровоздушной смеси вследствие появления таких источников зажигания, как самовозгорание пирофорных отложений, разряды статического электричества при отборе проб или замере уровня, фрикционные искры при проведении ремонтных работ и нарушении правил пожарной безопасности.

От воздействия волны прорыва и движущихся конструкций РВС было полностью разрушено 38 и повреждено 63 соседних резервуара различной вместимости. В 22,9% случаев аварий РВС наблюдались сильные повреждения зданий, сооружений, технологических трубопроводов как на территории производственных объектов, так и за их пределами. Наиболее серьезные последствия отмечены при авариях на нефтебазах, расположенных непосредственно в черте плотной застройки населенных пунктов.

От воздействия пламени и тепла пожара разлива нефти или нефтепродукта полностью разрушилось 17 резервуаров и еще 31 РВС был сильно деформирован. В 14,3% случаев аварий возникали чрезвычайные ситуации, при которых производилась эвакуация населения с привлечением значительного количества личного состава, пожарной и другой техники.

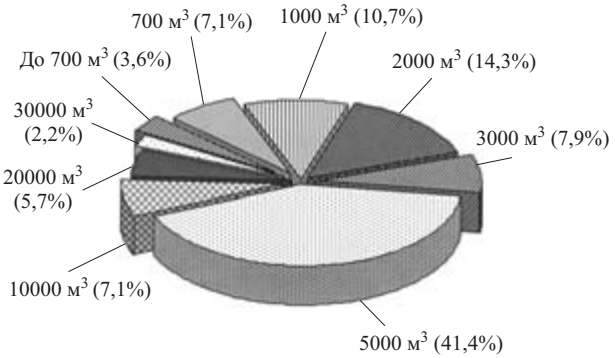


Рис. 6. Распределение разрушившихся РВС по номинальной емкости

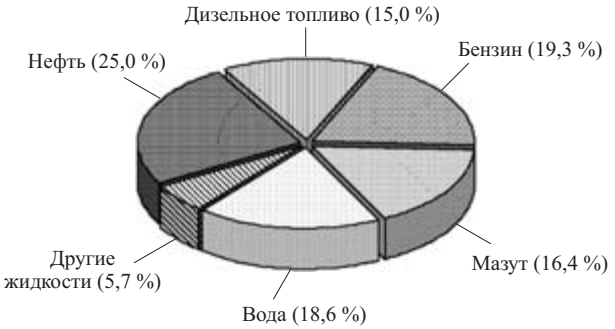


Рис. 7. Распределение разрушившихся РВС по видам находившихся в них продуктов

Статистика разрушений РВС свидетельствует, что несмотря на определенный прогресс, достигнутый в последние годы в резервуаростроении, гидродинамические аварии в резервуарных парках продолжают иметь место. В связи с этим есть основания считать, что вопросы обеспечения конструктивной надежности резервуаров остаются нерешенными. Кроме того, нормативные защитные сооружения не способны удержать продукт в пределах защищаемой территории при квазимгновенном разрушении РВС. Поэтому при наличии крупных резервуаров и терминалов, расположенных в населенных пунктах, морских и речных портах, около объектов федерального значения, возникает острая необходимость в разработке мер защиты этих территорий от разлива продуктов в случае разрушения РВС.

Таким образом, проведенный анализ квазимгновенных разрушений вертикальных стальных резервуаров показал:

- проблема обеспечения пожарной, промышленной и экологической безопасности при эксплуатации резервуарных парков остается нерешен-

ной и подтверждает необходимость рассматривать волну прорыва, образующуюся при квазимгновенном разрушении РВС, в качестве опасного фактора аварийной ситуации при оценке пожарных рисков на промышленном объекте;

- расчет защитного сооружения от разлива нефти и нефтепродуктов должен производиться с учетом гидродинамической нагрузки от потока жидкости с целью минимизации возможных трагических последствий;
- конструкция защитной преграды должна обеспечивать удержание волны прорыва в пределах защищаемой территории;
- в случае невозможности обустройства специальной защитной преграды, рассчитанной на удержание волны прорыва, за нормативным обвалованием на наиболее опасных направлениях необходимо устраивать дополнительные защитные преграды, служащие для удержание волны, сбора разлившегося продукта и отвода его в аварийную емкость.

ЛИТЕРАТУРА

1. ***Швырков, А. Н.*** Волна прорыва на нефтебазе плюс эффект “Домино”. Техногенные катастрофы при разрушении резервуаров и защита от них / *А. Н. Швырков*, *С. А. Швырков*, *С. А. Горячев* // Охрана труда и социальное страхование. — 1997. — Вып. 11. — С. 42–45.
2. ***Розенштейн, И. М.*** Аварии и надежность стальных резервуаров / *И. М. Розенштейн*. — М.: Недра, 1995. — С. 44–172.
3. ***Швырков, С. А.*** Анализ статистических данных разрушений резервуаров / *С. А. Швырков, В. Л. Семиков, А. Н. Швырков* // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. — 1996. — Вып. 5. — С. 39–50.
4. ***Галеев, В. Б.*** Аварии резервуаров и способы их предупреждения: Научно-техническое издание / *В. Б. Галеев, Д. Ю. Гарин, О. А. Закиров* [и др.]; под ред. *В. Б. Галеева и Р. Г. Шарафиева.* — Уфа: ГУП “Уфимский полиграфкомбинат”, 2004. — С. 5–18.
5. ***Кондаков, Г. П.*** Проблемы отечественного резервуаростроения и возможные пути их решения / *Г. П. Кондаков* // Промышленное и гражданское строительство. — 1998. — № 5. — С. 24–26.
6. ***Кондрашова, О. Г.*** Причинно-следственный анализ аварий вертикальных стальных резервуаров / *О. Г. Кондрашова, М. Н. Назарова* // Нефтегазовое дело. — 2004.

Поступила в редакцию 06.11.07.