

ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ НА АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЯХ

The results of complex investigation of estimation of undesirable consequences of extraordinary explosive situations at filling stations are presented in the work. Conditions of rise and possible script of development of accident at filling stations have been examined. The results of calculations of defeat zones and value of individual risk have been shown.

Введение. Значительный рост количества автолюбителей в нашей стране дал ощутимый толчок для строительства новых и переоборудования существующих автозаправочных станций (АЗС), ставших одним из наиболее стремительно развивающихся направлений деловой активности.

Существующая сеть автозаправочных станций республики насчитывает более 650 АЗС общего пользования, принадлежащих организациям, входящим в состав концерна «Белнефтехим», совместным предприятиям, преимущественно с российским капиталом («Лукойл – Белоруссия», «СлавНефть – Старт», «Юнайтед Компании»), акционерным обществам, обществам с ограниченной ответственностью, индивидуальным предпринимателям, районным потребительским обществам и другим организациям. Кроме АЗС общего пользования, в республике имеется более 100 ведомственных АЗС, на которые выданы лицензии на розничную торговлю нефтепродуктами.

Автозаправочные станции представляют собой комплекс зданий и сооружений с оборудованием, предназначенным для приема, хранения и выдачи нефтепродуктов транспортным средствам. Технологическая схема АЗС состоит из трех стадий:

- приема нефтепродуктов из бензовозов в подземные резервуары;
- хранения нефтепродуктов в резервуарах до момента их перекачивания через топливораздаточные колонки для заправки автотранспортной техники;
- заправки нефтепродуктами из подземных резервуаров автотранспортной техники через топливораздаточные колонки.

Специфической особенностью АЗС является размещение технологического оборудования на открытых площадках. При подобном размещении выделяющиеся горючие и токсичные пары рассеиваются естественными воздушными потоками, причем их концентрация в дальнейшем снижается до безопасного уровня. Взрывы и пожары на наружных установках АЗС возможны только при аварийных ситуациях, связанных с образованием взрывоопасных концентраций паров нефтепродуктов в воздушной среде.

Аварийные ситуации на автозаправочных станциях могут возникнуть:

- при переполнении резервуаров при сливе нефтепродуктов из автоцистерн;

- разъединении соединительных трубопроводов между резервуаром и автоцистерной;
- переполнении топливных баков автомобилей;
- повреждении топливораздаточных колонок;
- коррозионном износе трубопроводов и резервуаров.

Есть и дополнительные особенности АЗС, которые делают их потенциально опасными для жизни человека. Это оснащение автозаправочных станций технологическим оборудованием, отработавшим свой нормативный срок эксплуатации, и повышенная пожарная опасность отечественных автоцистерн и автомобилей.

Основная часть. Наличие большого количества дизельного топлива и бензина в емкостном оборудовании АЗС создает опасность возникновения пожара в случае утечки топлива и наличия источника воспламенения. При утечке топлива в технологические колодцы создается опасность образования взрывоопасных концентраций топливно-воздушной смеси, что при наличии источника инициирования взрыва может обусловить взрыв этой смеси в технологических колодцах и создать условия для дальнейшего развития аварии в подземных хранилищах.

При определенных условиях налива нефтепродуктов в емкости (при увеличении скорости налива) заряды статического электричества накапливаются быстрее, чем отводятся через заземление, так как бензин и дизельное топливо относятся к диэлектрикам с очень слабой проводимостью электрического тока. В таких случаях с увеличением уровня налива топлива в емкости напряжение статического электричества будет возрастать и может достигнуть значения, при котором произойдет искровой разряд, способный вызвать воспламенение или взрыв смеси паров с воздухом и пожар. Искровой разряд может произойти в момент приближения свободной поверхности топлива к стенкам заливной горловины (при наполнении емкости свыше 90%) вследствие разности потенциалов. Так как давление в момент взрыва достигает 1470 кПа, а температура взрыва колеблется в пределах 1500–1800°C, может произойти разгерметизация сосуда. Это в свою очередь обусловит доступ кислорода в разгерметизированный сосуд, развитие пожара или образование огненного шара, т. е. дальнейшее развитие аварии.

Опасность возникновения аварии и аварийной ситуации может возникнуть при вскрытии резервуаров для подготовки к проведению ремонтных и технологических работ и при проведении ремонтных работ в резервуарах. При этом особую опасность представляют пирофорные отложения железа, способные к самовоспламенению в присутствии кислорода воздуха при обычной температуре. Наиболее опасны пирофорные соединения в том случае, если они образовались под слоем нефтепродуктов. Быстрое освобождение емкости от нефтепродуктов создает благоприятные условия для интенсивного взаимодействия этих отложений с кислородом паровоздушной смеси. При этом пирофорные отложения могут разогреться до температуры 500–700°C и послужить источником воспламенения и загорания нефтепродуктов.

Таким образом, причинами пожаров и взрывов на АЗС могут быть: открытый огонь, искры, разряды статического электричества, грозовые разряды, самовоспламенение, самовозгорание и пирофорные отложения [1, 2]. Начальным событием аварии на АЗС является утечка пожаровзрывоопасного продукта.

Анализ событий, способных привести к возникновению аварии (нарушение герметичности технологической системы), позволяет разделить их на две основные группы: события 1-й группы и события 2-й группы.

События 1-й группы – события, которые могут привести к нарушению нормального технологического режима АЗС, например: болезненное наркотическое состояние работника АЗС; износ материалов, деталей оборудования, крепежа, прокладок, сальников и т. д.; выход из строя средств защиты от статического электричества и вторичных проявлений молний; неисправность дыхательного клапана.

События 2-й группы – аварийные ситуации нарушения нормального технологического режима АЗС или состояния оборудования, приводящие к тому, что герметичность технологической системы может быть нарушена, например: переполнение резервуаров, баков автотранспорта; эксплуатация негерметичного насоса топливораздаточной колонки; включение в работу негерметичных участков трубопровода; работы с искрящим инструментом и т. д.

В зависимости от характера разгерметизации, погодных и других условий аварии могут развиваться в виде проливов, пожаров проливов, взрывов, огненных шаров [3, 4]:

– пожар пролива – горение проливов жидких продуктов – диффузионное горение паров легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) и горючих жидкостей (ГЖ) в воздухе над поверхностью жидкости.

– огненный шар – диффузионное горение плотных, слабо смешанных с воздухом парогазовых облаков в открытом пространстве;

– взрыв – детонационное горение – сгорание предварительно перемешанных газо- или паровоздушных облаков со сверхзвуковыми скоростями в открытом пространстве или в замкнутом объеме;

– хлопок – вспышка, волна пламени, сгорание предварительно перемешанных газо- или паровоздушных облаков с дозвуковыми скоростями в открытом или замкнутом пространстве.

Каждая из рассматриваемых аварийных ситуаций может иметь несколько стадий развития, при сочетании определенных условий может быть приостановлена, перейти в следующую стадию или перейти на более высокий уровень:

– уровень «А» – авария, развитие которой не выходит за пределы рассматриваемого технологического блока;

– уровень «Б» – авария, развитие которой выходит за пределы рассматриваемого технологического блока, но ограничена территорией АЗС;

– уровень «В» – авария, развитие которой выходит за пределы, ограниченные территорией АЗС.

Локализация ряда аварий возможна лишь на первых стадиях развития. При невозможности локализации аварии происходит цепное развитие – разгерметизация соседнего оборудования и выброс из него других продуктов и т. д., что приводит к эффекту «домино», особенно опасному при больших количествах пожаровзрывоопасных веществ на АЗС.

Система трубопроводов, арматуры и насосов более склонна к неполадкам, чем резервуарное оборудование, находящееся под давлением. И хотя выброс продукта из системы трубопроводов при аварии в основном меньше, чем из емкостного оборудования, отказ ее может привести также к дальнейшему развитию аварии с образованием эффекта «домино».

Учитывая специфику установок АЗС и современные методы анализа риска опасных производственных объектов, которые использовались для решения подобных проблем в других отраслях промышленности, можно предложить следующие основные этапы анализа риска эксплуатации установок на АЗС [4].

На первом этапе проводится идентификация опасности данного объекта, под которой понимается процесс ее выявления с учетом особенностей промышленного объекта (технологии, параметров конструкции применяемого оборудования, физико-химических свойств обращающихся веществ, их количества и т. д.) и определения характеристик, в результате чего составляется перечень нежелательных событий, приводящих к аварии.

В ходе идентификации опасности установок АЗС необходимо определить количество каждого вещества, которое находится в емкостном оборудовании (емкостях, резервуарах), содержащем наибольшее количество опасных веществ. При выявлении количества веществ в каждом виде оборудовании необходимо учесть их агрегатное состояние, установить и уточнить технологические параметры эксплуатации оборудования (температура и давление технологической системы, соотношения отдельных компонентов), физико-химические свойства веществ (пределы взрываемости, температуры самовозгорания, температуры вспышки и т. д.). Кроме этого необходим анализ наиболее характерных дефектов и неполадок с учетом количества отказов по каждому виду оборудования.

На втором этапе на основе распределения веществ в каждом элементе оборудования с учетом физико-химических свойств веществ необходимо провести экспресс-оценку параметров возможного взрыва, пожара, характеристику токсического заражения с определением зон поражения и количества возможных жертв. Оценку можно провести по известным методикам [3–5], которые позволяют в короткие сроки с достаточной точностью для второго этапа определить возможные последствия аварийной ситуации на АЗС.

Третий этап анализа риска эксплуатации оборудования АЗС – анализ последствий, который включает оценку воздействия взрыва, пожара на людей, имущество, окружающую среду.

При оценке поведения жидких углеводородов в результате разгерметизации оборудования рассматриваются варианты с полным разрушением оборудования и участием в формировании площади испарения и взрывоопасного облака всего объема жидкой фазы. Выделяют два типовых сценария развития аварии на АЗС.

Первый сценарий предусматривает полное разрушение емкости с полным высвобождением хранимого в нем пожаровзрывоопасного вещества. Причинами разрушения емкости могут быть различные иницирующие события, вызванные как внутренними, так и внешними факторами, например землетрясение и подвижки земной поверхности, падение самолета и других летательных аппаратов, диверсии, террористические акты, тепловой удар и гидравлический разрыв. Согласно европейской статистике, вероятность этих событий является величиной порядка 10^{-8} , поэтому данный сценарий аварии в дальнейшем не рассматривается [3].

Второй сценарий предусматривает локальное разрушение установок с ЛВЖ или ГЖ. Расчет производится для трех вариантов:

- пожар-вспышка при локальном выходе продукта из емкости;
- пожар пролива ЛВЖ или ГЖ;

- огненный шар при разрыве емкости с веществом под давлением.

При попадании в пределы огненного шара либо пролива соседних резервуаров последние с вероятностью 60% взрываются в результате эффекта «BLEVE», образование которого происходит по следующей схеме [2]:

- охват пламенем резервуара, повышение давления внутри резервуара и нагрев металла с потерей его прочности;
- разрыв оболочки резервуара, выброс вещества и вскипание выброшенной жидкости;
- взрыв паров вскипевшей жидкости с зажиганием и образованием огненного шара.

На рисунке представлено «дерево событий» аварийной ситуации для количественного анализа аварии на АЗС. Цифры рядом с наименованием события показывают условную вероятность возникновения этого события, при этом вероятность иницирующего события (локального разрушения) принята равной 1.



Рисунок. «Дерево событий» локального разрушения емкости с ЛВЖ и ГЖ на АЗС

Результаты расчетов зон поражения ударной волной, пожаром пролива и огненным шаром, величины индивидуальных рисков для рассматриваемых типов аварий (см. таблицу) показывают, что наиболее опасным поражающим фактором является ударная волна, а наиболее опасным источником аварии – резервуары (автоцистерны вследствие меньших объемов веществ представляют меньшую опасность). Наименьшие последствия характерны для аварий с дизельным топливом.

Как известно [4, 5], величина недопустимого риска составляет более 10^{-4} , а минимально приемлемого – менее 10^{-6} . При величине риска 10^{-6} – 10^{-4} все решения принимаются исходя из экономических и социальных условий. В нашем случае индивидуальный риск (при нахождении в радиусе 30 м), рассчитанный по методике [5], для ударной волны составляет $(1,25–1,58) \cdot 10^{-5}$, для огненного шара – на порядок меньше $(2,41–3,93) \cdot 10^{-6}$, для пожара пролива – от $1,2 \cdot 10^{-6}$ до $7,2 \cdot 10^{-7}$. Полученные данные свидетельствуют о том, что мы попадаем в область риска, требующего дальнейших оценок для принятия решений.

**Зоны поражения при разрушении резервуаров (объем 50 м³)
и автоцистерн (объем 15 м³), содержащих ЛВЖ и ГЖ**

Искомый параметр	Бензин А-72		Бензин АИ-93		Дизельное топливо	
	Резервуар	Цистерна	Резервуар	Цистерна	Резервуар	Цистерна
Диффузионный факел						
Масса ЛВЖ и ГЖ, поступившей в атмосферу m , кг	38 560	11 568	38 265	11 479,5	38 450	11 535
Площадь пролива ЛВЖ и ГЖ F , м ²	7 500	2 250	7 500	2 250	7 500	2 250
Интенсивность испарения ЛВЖ и ГЖ W , кг/с·м ²	$3,38 \cdot 10^{-4}$	$3,38 \cdot 10^{-4}$	$3,41 \cdot 10^{-4}$	$3,41 \cdot 10^{-4}$	$2,39 \cdot 10^{-6}$	$2,39 \cdot 10^{-6}$
Масса паров жидкости, участвующих во взрыве $m_{п}$, кг	9 120	2 736	9 200	2 760	64,6	19,4
Удельная теплота сгорания паров ЛВЖ и ГЖ $Q_{сг}$, Дж/кг	43 641	43 641	44 239	44 239	43 419	43 419
Величина избыточного давления ΔP , кПа (радиус 30 м)	353,6	146,7	359,7	149	16,81	9,73
Радиус зоны разрушений, м: полных (100 кПа) сильных (50 кПа) средних (30 кПа) слабых (10 кПа)	53,92 78,10 105,69 224,22	36,20 52,44 71,03 150,72	54,30 78,71 106,80 227,11	36,50 52,75 71,20 152,21	10,43 15,09 20,51 43,70	6,99 10,17 13,78 29,52
Условная вероятность поражения человека $Q_{вп}$	1,225	0,982	1,229	0,973	0,005	–
Индивидуальный риск R_n	$1,58 \cdot 10^{-5}$	$1,26 \cdot 10^{-5}$	$1,58 \cdot 10^{-5}$	$1,25 \cdot 10^{-5}$	$6,44 \cdot 10^{-8}$	–
Пожар-вспышка						
Удельная массовая скорость выгорания ЛВЖ и ГЖ m^r , кг/м ² ·с	0,059	0,059	0,060	0,060	0,058	0,058
Эффективный диаметр пролива d , м	97,7	53,5	97,7	53,5	97,7	53,4
Высота пламени H , м	78,2	50,9	78,2	51,5	76,6	50,4
Угловой коэффициент облученности F_q	0,51	0,53	0,48	0,46	0,52	0,46
Интенсивность теплового излучения q , кВт/м ²	10,48	10,60	19,40	18,30	10,44	9,13
Условная вероятность поражения человека $Q_{вп}$	0,080	0,051	0,081	0,049	–	–
Индивидуальный риск R_n	$1,17 \cdot 10^{-6}$	$7,49 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$7,2 \cdot 10^{-7}$	–	–
Огненный шар						
Эффективный диаметр D_s , м	105,0	70,9	105,4	71,1	20,8	14,1
Угловой коэффициент облученности F_q	0,15	0,14	0,15	0,14	0,012	0,01
Интенсивность теплового излучения q , кВт/м ²	68,21	63,74	68,50	63,30	5,52	4,68
Условная вероятность поражения человека $Q_{вп}$	0,902	0,551	0,910	0,559	–	–
Индивидуальный риск R_n	$3,9 \cdot 10^{-6}$	$2,38 \cdot 10^{-6}$	$3,93 \cdot 10^{-6}$	$2,41 \cdot 10^{-6}$	–	–

Как видно из таблицы, при авариях, сопровождающихся взрывом резервуаров или автоцистерн с ЛВЖ и ГЖ, возможны разрушения оборудования, конструкций зданий и тяжелое травмирование людей (ΔP более 50 кПа) в радиусе 78,7 м для бензинов и 15,1 м для дизельного топлива. Средние, легкие травмы и контузии возможны в радиусе от 78,7 до 160 м для бензинов и от 15,1 до 43,7 м для дизельного топлива. В целом зона, в которой возможно травмирование людей, составляет 230 м.

При возникновении аварий в виде пожаров проливов бензинов возможно воздействие на работников АЗС теплового излучения с получением ожогов различной степени тяжести в радиусе 25 м (автоцистерна) и 50 м (резервуар).

При сгорании огненного шара воздействие теплового излучения на человека распространится в радиусе до 35 м для бензинов и до 11 м для дизельного топлива. Необходимо отметить, что поражающий фактор огненного шара резко ослабевает при удалении от границы эффективного радиуса, и для людей, находящихся на поверхности, даже непосредственно под огненным шаром, поражение редко бывает стопроцентным. Вместе с тем опасность огненного шара заключается в возможности аварии с образованием эффекта «домино».

Заключение. Сравнение полученных результатов последствий аварий на АЗС (радиусов зон воздействия) с минимальными расстояниями от АЗС до объектов, к ней не относящихся [6], показывает, что даже при соблюдении требований законодательства существует вероятность повреждений и разрушения соседних зданий и поражения людей (не относящихся к работникам АЗС), которые находятся в районе аварии.

Анализ зон воздействия взрыва помогает принимать решения по проектированию и размещению взрывопожароопасных объектов (АЗС) в черте города, позволяет спланировать мероприятия, направленные на предотвращение и сведение к минимуму нежелательных последствий чрезвычайных ситуаций взрывного характера.

Расчеты последствий воздействия взрывных явлений при ЧС могут быть использованы широким кругом заинтересованных научно-исследовательских организаций и предприятий различного профиля, имеют практический интерес для органов республиканского и местного управления, штабов ГО, подразделений МЧС.

Результаты оценки риска могут быть использованы при обосновании страховых тарифов при страховании ответственности за ущерб окружающей среде от аварий и выработке мер безопасности.

Литература

1. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: ГОСТ 12.1.044–89 ССБТ. – Введ. 01.01.91. – М.: Гос. комитет по стандартам, 1991. – 156 с.
2. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. – Введ. 01.07.92. – М.: Гос. комитет по стандартам, 1992. – 108 с.
3. Методические указания по проведению анализа риска опасных промышленных объектов: РД 08–120–96: утв. Госгортехнадзором России 12.07.96. – М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 1996. – 28 с.
4. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов: утв. Госгортехнадзором России 10.07.01. – М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2001. – 35 с.
5. Нормы пожарной безопасности Республики Беларусь. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: НПБ 5–2005. – Введ. 01.07.05. – Минск: Система противопожарного нормирования и стандартизации, 2005. – 26 с.
6. Нормы пожарной безопасности Республики Беларусь. Автозаправочные станции: НПБ 38–2003. – Введ. 01.10.03. – Минск: Система противопожарного нормирования и стандартизации, 2003. – 48 с.