

TECHNOLOGY SCIENCES

Terpigoreva I.V.

ANALYSIS OF THE MAIN REASONS FOR THE EMERGENCE AND DEVELOPMENT OF ACCIDENTS AT GAS-FILLING STATIONS

Terpigoreva I.V., Russian Federation, Ufa State Aviation
Technical University, Ph.D., Associate Professor

Abstract

The article analyzes the main causes of the emergence and development of accidents at gas-filling stations. The estimation of the probability of accidents, and scenarios for their further development.

Keywords: emergency scenarios, liquefied petroleum gas, explosion, process equipment, storage facilities and the consumption of combustible gases, risk assessment.

Еще относительно недавно газовое оборудование на автомобилях было редкостью, а потому и само понятие автомобильные газозаправочные станции было достаточно редким. На сегодняшний день тенденции таковы, что каждый год строятся еще несколько новых автомобильных газозаправочных станций (АГЗС). Причиной массового перехода на альтернативные виды топлива просты и понятны. Они не только экологически более чистые, но при этом они являются более дешевыми.

Из-за роста численности автотранспортных средств на газовом оборудовании наблюдается тенденция к увеличению АГЗС. На АГЗС в технологическом процессе обращается опасное вещество, в связи с этим, возникновение аварий неизбежно. При определенных условиях и обстоятельствах авария может перерасти в ЧС.

АГЗС предназначены для приема и хранения сжиженного углеводородного газа, а также заправки газобаллонного оборудования автомобиля сжиженным углеводородным газом [1].

Автомобильные газозаправочные станции общего пользования обычно располагаются в местах наибольшего скопления автомобилей: у автостоянок, в местах пересечения дорог, на автомагистралях, на главных улицах населенных пунктов. В технологическом процессе АГЗС обращается опасное вещество, в связи с чем возможно возникновение техногенной аварии.

Технологическое оборудование объектов хранения и потребления горючих газов отличается повышенной пожарной опасностью, так как находится под постоянным давлением. При нагреве стенки резервуара со сжиженными углеводородными газами до температур, превышающих критические значения для стали, из которой изготовлен резервуар, возможен взрыв последнего. Взрыв сосуда высокого давления, содержащего горючий газ, сопровождается образованием огненного шара, который обладает очень высокой поражающей способностью.

Аварии на АГЗС могут привести к взрыву и пожару. При различных обстоятельствах авария может перерасти в ЧС с поражением персонала объекта экономики, транспортных коммуникаций, транспортных средств, находящихся на объекте, а также населения, проживающего вблизи АГЗС.

Анализ причин на аналогичных объектах позволяет выделить три взаимосвязанные группы причин, способствующих возникновению и развитию аварий:

1. Отказы оборудования (коррозия; физический износ; механические повреждения; ошибки при проектировании и изготовлении – раковины, дефекты в сварных соединениях; усталостные эффекты металла, не выявленные при освидетельствовании; нарушение режимов эксплуатации – переполнение емкостей, нарушение скорости перекачки сниженных углеводородных газов (СУГ), превышение давления).

2. Ошибки персонала (ошибки при приеме СУГ из автоцистерн; ошибки при отпуске СУГ потребителям – заполнении газобаллонных автомобилей; ошибки при подготовке оборудования к ремонту, проведении ремонтных и профилактических работ; ошибки при пуске и остановке оборудования; ошибки при локализации аварийных ситуаций).

3. Нерасчетные внешние воздействия природного и техногенного характера (штормовые ветра и ураганы, снежные заносы, ливневые дожди, грозовые разряды, механические повреждения диверсии).

Для оценки частоты возникновения аварийных ситуаций, сопровождающихся разрушением (разгерметизацией) оборудования со сжиженным углеводородным газом, применяют вероятностный подход.

При этом применены следующие критерии отказов по тяжести последствий:

- катастрофический - может привести к смерти более 5 человек и существенному ущербу производства;
- критический - может привести к смерти 1...5 человек и существенному ущербу производству;
- некритический - не угрожает жизни людей, не приводит к ущербу производству;
- с пренебрежимо малыми последствиями - отказ, не относящийся по своим последствиям ни к одной из первых трех категорий [2].

Категории отказов (степень риска), определяемые путем сочетания частоты отказов и тяжести последствий:

А – повышенный риск, обязателен количественный анализ риска или требуются особые меры обеспечения безопасности;

В – значительный риск, желателен количественный анализ риска или требуется принятие определенных мер безопасности;

С – умеренный риск, рекомендуется проведение качественного анализа опасностей или принятие некоторых мер безопасности;

Д – минимальный (приемлемый) риск, анализ и принятие специальных мер безопасности не требуется.

Количественная оценка частоты возможных аварий, отказов оборудования рассчитана исходя из обобщенных среднестатистических данных частот отказов (разгерметизации, разрушения) оборудования (таблица 1) и соответствующих им приближенных выбросов опасных веществ.

Таблица 1 – Обобщенные статистические данные по оценке частот отказов оборудования

Тип отказа оборудования	Вероятность отказа	Масштабы выброса опасных веществ
Разрушение резервуара, автоцистерны	Полное 1×10^{-5} в год	Полное содержимое емкостного оборудования с учетом поступления из соседних блоков за время перекрытия потока Объем, вытекший из отверстия $\varnothing 25$ мм за время перекрытия потока
	Частичное 1×10^{-4} в год	
Разгерметизация технологических трубопроводов	5×10^{-3} на 1 км трубопровода в год	Объем выброса, равный объему трубопровода, ограниченного арматурой, с учетом поступления из соседних блоков за время перекрытия потока
Отказ машинного оборудования	5×10^{-3} в год	Объем, вытекший через торцевые уплотнения или разрушенный узел за время перекрытия потока
Разрыв соединительных рукавов при сливе (наливе) автомобильных цистерн	10^{-3} в год на одну заправку	Объем, вытекающий через сливное отверстие за время перекрытия потока
	10^{-2} в год на один шланг.	

Вероятность приведенных аварийных ситуаций при эксплуатации АГЗС оценивалась при условии независимости разгерметизации одной

единицы оборудования. Исходя из этого частота полного (частичного) разрушения в год составляет:

- цистерны автомобильной – 1×10^{-5} год⁻¹;
- резервуара – 1×10^{-5} год⁻¹;
- насосов – 2×10^{-2} год⁻¹;
- трубопровода – $1,4 \times 10^{-4}$ год⁻¹;
- раздаточных шлангов – 1×10^{-2} год⁻¹;
- сливных рукавов автоцистерны – 1×10^{-2} год⁻¹.

Результаты оценки вероятности аварийных ситуаций приведены в таблице 2.

Таблица 2 – результаты оценки вероятности аварийных ситуаций

Ожидаемая частота возникновения, 1/год		Тяжесть последствий			
		Катастрофический отказ	Критический отказ	Некритический отказ	Отказ с пренебрежимо малыми последствиями
Частый отказ	>1	A	A	A	C
Вероятный Отказ	$1 \dots 10^{-2}$	A	A	B разрыв соединительных рукавов УЗСГ разрыв сливного рукава автоцистерны	C
Возможный отказ	$10^{-2} \dots 10^{-4}$	A	B отказ машинного оборудования (насос)	B	C
Редкий отказ	$10^{-4} \dots 10^{-6}$	A полное разрушение автоцистерны	B разгерметизация автоцистерны	C разрушение подземного резервуара, разгерметизация трубопровода	D
Практически невероятный отказ	$< 10^{-6}$	B	C	C	D

Согласно проведенной оценке риска возможные аварии и отказы оборудования при эксплуатации автомобильной газозаправочной станции могут создать степень риска категории А (повышенный риск) при полном разрушении автомобильной цистерны.

В результате разлива жидких углеводородов, нагретых до температуры кипения или близкой к ней, происходит испарение углеводородов с поверхности разлива и образование парогазового облака. Углеводородное парогазовое облако, которое может содержать

большой объем углеводородов, способно загореться или взорваться при наличии источника зажигания.

Краткое описание возможных сценариев возникновения и динамики развития аварийных ситуаций приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Краткое описание возможных сценариев возникновения и динамики развития аварийных ситуаций

№ группы сценариев	Описание сценария
A ₁	Блок №1 (автоцистерна)
	Полное разрушение автоцистерны с СУГ ⇒ истечение СУГ ⇒ вскипание перегретой жидкости и образование из нее охлажденных до температуры кипения газовой фазы и аэрозольных капель, пролив жидкой фазы на подстилающую поверхность, растекание, кипение и испарение жидкой фазы на поверхности; интенсивное смешение с воздухом ⇒ образование газокапельного облака СУГ ⇒ загорание паров от источника зажигания ⇒ образование огненного шара, пожара пролива или сгорания паров СУГ с развитием избыточного давления взрыва ⇒ разрушение оборудования, трубопроводов и поражение обслуживающего персонала и населения, находящегося в зоне действия поражающих факторов.
A ₂	Блок № 2 (резервуар)
	Разгерметизация резервуара с СУГ ⇒ образование газокапельного облака СУГ ⇒ загорание паров от источника зажигания ⇒ сгорание паров СУГ с развитием избыточного давления взрыва ⇒ разрушение оборудования и трубопроводов, загрязнение почвы сжиженными газами, загрязнение воздуха СУГ и продуктами их сгорания.
A ₃	Блок № 3 (машинное оборудование)
	Отказ машинного оборудования (насос) ⇒ истечение СУГ ⇒ вскипание перегретой жидкости и образование из нее охлажденных до температуры кипения газовой фазы и аэрозольных капель, пролив жидкой фазы на подстилающую поверхность, растекание, кипение и испарение жидкой фазы на поверхности; интенсивное смешение с воздухом ⇒ образование газокапельного облака СУГ ⇒ загорание паров от источника зажигания ⇒ образование огненного шара, пожара пролива или сгорания паров СУГ с развитием избыточного давления взрыва ⇒ разрушение оборудования, трубопроводов и поражение обслуживающего персонала
A ₄	Блок № 5 (соединительные рукава КЗСГ)
	Разрыв соединительных рукавов КЗСГ ⇒ истечение СУГ ⇒ вскипание перегретой жидкости и образование из нее охлажденных до температуры кипения газовой фазы и аэрозольных капель, пролив жидкой фазы на подстилающую поверхность, растекание, кипение и испарение жидкой фазы на поверхности; интенсивное смешение с воздухом ⇒ образование газокапельного облака СУГ ⇒ загорание паров от источника зажигания ⇒ образование огненного шара, пожара пролива или сгорания паров СУГ с развитием избыточного давления взрыва ⇒ разрушение оборудования, трубопроводов и поражение обслуживающего персонала
A ₅	Блок № 6 (сливные рукава автоцистерны)
	Разрыв сливного рукава автоцистерны ⇒ истечение СУГ ⇒ вскипание перегретой жидкости и образование из нее охлажденных до температуры кипения газовой фазы и аэрозольных капель, пролив жидкой фазы на подстилающую поверхность, растекание, кипение и испарение жидкой фазы на поверхности; интенсивное смешение с воздухом ⇒ образование газокапельного облака СУГ ⇒ загорание паров от источника зажигания ⇒ образование огненного шара, пожара пролива или сгорания паров СУГ с развитием избыточного давления взрыва ⇒ разрушение оборудования, трубопроводов и поражение обслуживающего персонала

Таким образом, наиболее опасной чрезвычайной ситуацией является полная разгерметизация автомобильной цистерны, при которой в ЧС участвует около 16 тонн опасного вещества и взрыв ГВС в результате этого. Наиболее вероятной – выход из строя двух насосов автомобильной

газозаправочной станции с последующим взрывом, а ЧС с максимально негативным воздействием на окружающую среду – разгерметизация автоцистерны с образованием огненного шара и сгоранием лесного массива, расположенного около опасного объекта экономики.

Рассмотрим дерево событий для случая истечения сжиженного углеводородного газа на территории автомобильной газозаправочной станции.

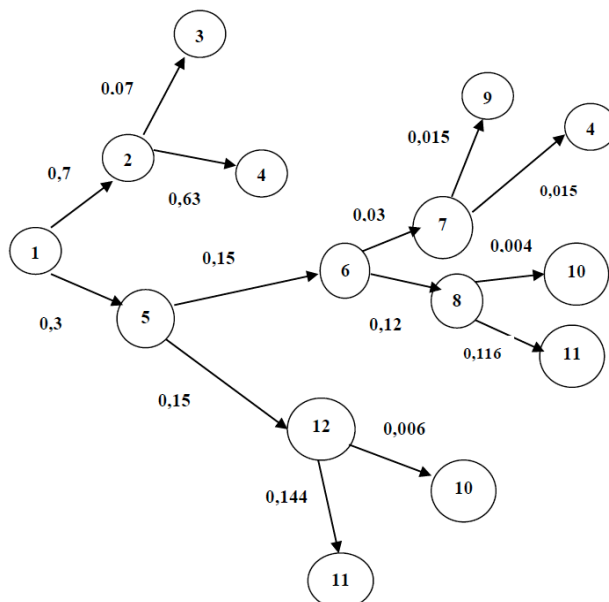


Рисунок 1 – Дерево событий возникновения аварийных ситуаций на территории автомобильной газозаправочной станции

Цифровые обозначения, указанные на дереве событий представлены в таблице 4.

Вероятность возникновения инициирующего события – разрушение (разгерметизация) оборудования и выброс СУГ, принята равной 1.

Так же построено дерево отказов для нежелательного события – «истечение СУГ на территории автомобильной газозаправочной станции», которое представлено на рисунке 2.

Таблица 4 – Цифровые обозначения для дерева событий

Цифровое обозначение	Событие
1	2
1	Разрушение (разгерметизация) оборудования и выброс СУГ
2	Истечение СУГ с мгновенным воспламенением и образованием огненного шара
3	Опасных последствий нет
4	Тепловое воздействие
5	Истечение СУГ без мгновенного воспламенения
6	Образование пролива СУГ
7	Воспламенение пролива СУГ (пожар)
8	Испарение и образование вторичного парогазового облака
9	Прекращение горения
10	Взрыв парогазового облака
11	Рассеивание парогазового облака
12	Образование первичного парогазового облака

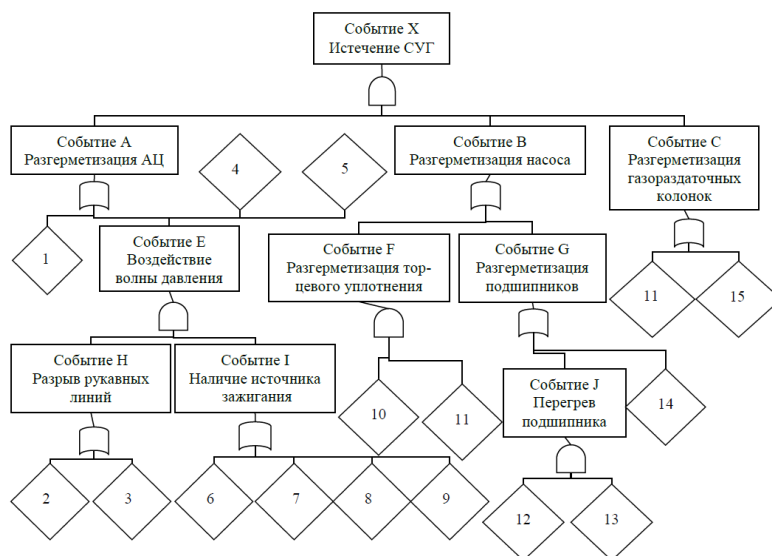


Рисунок 2 – Дерево отказов для нежелательного события – истечение сжиженного углеводородного газа на территории автомобильной газозаправочной станции

Цифровые обозначения, указанные в дереве отказов представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Вероятности возникновения событий, представленных на дереве отказов

№ на рис В1	Событие
1	Опрокидывание АЦ по вине водителя
2	Ошибка обслуживающего персонала
3	Наличие дефектов по вине завода-изготовителя
4	Переполнение автоцистерны выше 85%
5	Коррозия корпуса АЦ
6	Неисправная электропроводка насосного оборудования
7	Искрение в самой автоцистерне
8	Несоответствие фактической молниезащиты требуемой
9	Другие источники
10	Износ основного кольца торцевого уплотнения
11	Ошибка оператора
12	Отказ датчика контроля температуры подшипника
13	Несоответствие оборудования условиям эксплуатации
14	Износ подшипника
15	Неисправность ГРК

Таким образом, проанализированы все возможные сценарии развития событий на территории автомобильной газозаправочной станции:

- наиболее опасный – полная разгерметизация автоцистерны с последующим взрывом ГВС (сценарий С1);
- наиболее вероятный – выход из строя двух насосов АГЗС с последующим взрывом газовоздушного облака (сценарий С2);
- с максимально негативным воздействием на окружающую среду – разгерметизация автоцистерны с образованием огненного шара (сценарий С3).

References:

- [1] Journal. "Autogas Complex + Alternative Fuel." - 2006 - №1.
- [2] GD 03-418-01 " Guidelines for risk analysis of hazardous production facilities ", based on the analysis of fault trees and event.