

По материалам публикаций (ссылка приветствуется) :

Лыков С.М., Гражданкин А.И., Лисанов М.В., Печеркин А.С., Сумской С.И. Анализ риска газонаполнительных станций//Безопасность труда в промышленности. – 2001. - №8. - С.25-30.

АНАЛИЗ РИСКА ГАЗОНАПОЛНИТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ

Газонаполнительные станции (ГНС) являются распространенными опасными производственными объектами, предназначенными для приема, хранения и снабжения населения сжиженными углеводородными газами (СУГ) - пропаном, бутаном и их смесями в баллонах, а также для поставки газа в автоцистернах в качестве заправочного топлива автомобилей.

Основными технологическими операциями, проводимыми на ГНС, являются сливно-наливные операции, связанные с приемом и отпуском СУГ потребителям.

Наличие значительных (до нескольких сотен тонн) запасов СУГ на ГНС и высокая потенциальная опасность СУГ (*СУГ легко переходит в газовую фазу, которая при смешении с воздухом образует взрывоопасные смеси*) позволяют отнести ГНС к опасным производственным объектам, которые могут представлять опасность не только для персонала, но и для населения. В настоящей статье изложены основные результаты анализа риска, проведенного при составлении декларации промышленной безопасности типичной ГНС.

1. Общие сведения

Производственная мощность рассматриваемой ГНС составляет 10000 т СУГ в год, доставляемых от поставщиков в железнодорожных цистернах. Это количество СУГ распределяется следующим образом:

1. 8000 т/год идет на заправку бытовых газовых баллонов;
2. 1500 т /год вывозится автоцистернами потребителю;

3. 500 т/год идет на заправку газобаллонных автомобилей на автомобильной газозаправочной станции (АГЗС), находящейся рядом с ГНС.

Максимальное количество СУГ, которое одновременно может находиться на ГНС, – 500 т.

В составе ГНС имеются:

- ж/д эстакада для одновременного приема 4 ж/д цистерн объемом по 54 м³;
- хранилище СУГ – 12 подземных резервуаров объемом по 100 м³ каждый;
- насосно-компрессорное отделение (5 насосных и 2 компрессорных агрегата);
- наполнительное отделение (для наполнения бытовых баллонов объемом 27 л) с погрузочно-разгрузочными площадками;
- колонка для наполнения автоцистерн;
- АГЗС (операторная, топливно-раздаточная колонка для легковых автомобилей, заглубленный резервуар запаса топлива 10 м³).

По территории ГНС проложены наземные трубопроводы, соединяющие ж/д эстакаду, хранилище СУГ, насосно-компрессорное отделение, наполнительное отделение, АГЗС и колонку для наполнения автоцистерн.

На территории ГНС также имеется ряд вспомогательных объектов для обеспечения работы ГНС.

Максимальная рабочая смена на ГНС составляет 30 человек персонала. Так же на территории ГНС могут находиться третьи лица, приехавшие для получения СУГ.

Рассматриваемая ГНС расположена на равнинной слабопересеченной местности. На расстоянии 50 м от границ ГНС находится автодорога III категории, а в 80 м - железная дорога. Ближайший населенный пункт находится на расстоянии 700 м. Схема расположения ГНС показана на рис. 2.

2. Выявление причин аварийных ситуаций и определение сценариев их развития

Анализ риска рассматриваемого объекта включает следующие этапы:

- определение возможных причин и факторов, способствующих возникновению и развитию аварий; определение типовых сценариев возможных аварий;

- оценка количества опасных веществ, участвующих в аварии, и расчет вероятных зон действия поражающих факторов;

- оценка возможного числа пострадавших;

- обобщение оценок риска и сравнение их значений с критериями приемлемого риска.

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

- 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 СУГ, превышение давления);

- ошибки персонала (ошибки при приеме СУГ из железнодорожных цистерн; ошибки при отпуске СУГ потребителям - наполнении автоцистерн, заправке газобаллонных автомобилей; ошибки при наполнении бытовых баллонов, их погрузке, операциях слива переполненных и отбракованных баллонов; ошибки при отборе проб СУГ из резервуаров; ошибки при подготовке оборудования к ремонту, проведении ремонтных и профилактических работ; ошибки при пуске и останове оборудования; ошибки при локализации аварийных ситуаций);

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

Основные аварийные ситуации на рассматриваемом объекте связаны с разрушением (полным или частичным) емкостного оборудования, трубопроводов или насосов, поэтому именно эти варианты аварий и выбираются в качестве типовых сценариев. Например, на железнодорожной эстакаде возможны следующие сценарии:

Сценарий Ж₁: разрушение (*полное или частичное*) ж/д цистерны 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 → рассеяние газокпельного облака СУГ (*первичное и вторичное облако*) → воспламенение облака и/или жидкой фазы при наличии источника зажигания → горение пролива и облака ТВС → воздействие ударных волн, открытого пламени и теплового излучения на людей и близлежащие объекты (*в т.ч. образование огненных шаров при попадании в пожар соседних цистерн или аварийной цистерны с СУГ*).

Сценарий Ж₂: разрушение (*полное или частичное*) сливного (*наливного*) трубопровода с СУГ → струйное истечение СУГ до срабатывания клапана безопасности → 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 подстилающей поверхности; интенсивное смешение с воздухом → рассеяние газокпельного облака СУГ (*первичное и вторичное облако*) → воспламенение облака и/или жидкой фазы при наличии источника зажигания → горение пролива и облака ТВС, возникновение факела на месте разрушения → воздействие ударных волн, открытого пламени и теплового излучения на людей и близлежащие объекты (*в т.ч. образование огненных шаров при попадании в пожар цистерн с СУГ*).

Сценарии подобные Ж₁, но с учетом специфики размещения и эксплуатации оборудования возможны, с резервуарами хранилища СУГ, автоцистерной, резервуаром АГЗС.

Сценарии подобные $Ж_2$ возможны на системе трубопроводов к потребителю, на обвязке резервуаров, на наполнительной колонке автоцистерн, на АГЗС.

Также в качестве типовых сценариев возможных аварий рассматривались:

- взрыв в резервуаре;
- взрыв бытового баллона;
- разгерметизация насоса.

Рассматриваемые сценарии аварии включают в себя и сценарии, развитие которых сопровождается так называемым «эффектом домино». Этот эффект отражен в приведенных выше схемах на последних этапах развития аварии – «воздействие ударных волн, осколков, открытого пламени и теплового излучения на близлежащие объекты». В зависимости от степени воздействия поражающих факторов на близлежащие к месту аварии объекты возможно либо дальнейшее развитие аварии, либо ее локализация и ликвидация.

В общем случае описанные выше схемы развития аварии (с.м. сценарии $Ж_1$ и $Ж_2$) являются группами сценариев и включают в себя несколько различных путей, по которым может развиваться авария. Например, на рис. 1 приведено «дерево событий» для аварии на трубопроводе.

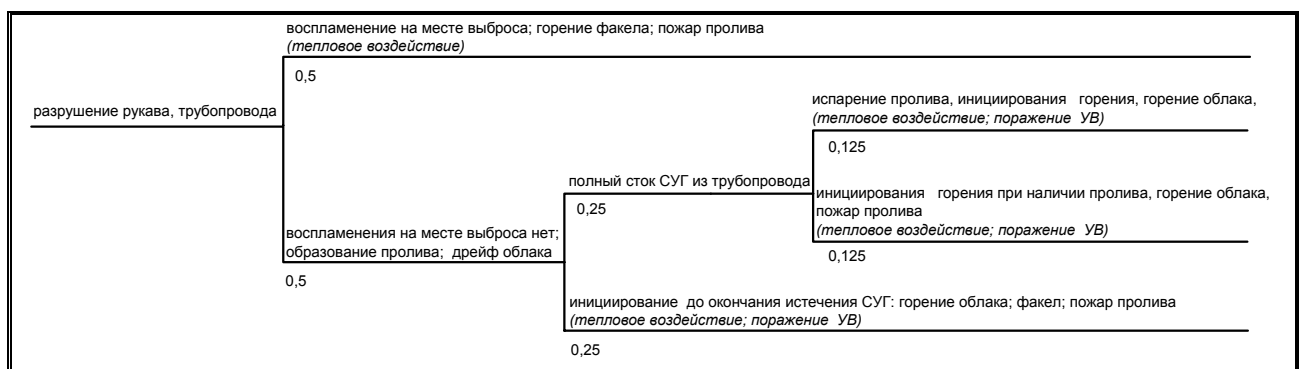


Рисунок 1. «Дерево событий» развития аварий при разрыве трубопроводов, рукавов.

Более того, при определении конкретных последствий для различных условий протекания аварии (характер и место разрушения, условия в окружающей среде и т.д.) количество конкретных параметров реализации того или иного сценария существенно возрастает. Для рассматриваемой ГНС условия развития аварии принимались различными в следующих случаях:

- для каждого из 12 месяцев года принималась соответствующая температура окружающей среды;
- для различных времен суток брались различные условия рассеяния выброса и различные температуры;
- рассматривалось восемь направлений ветра с интервалом 45° ;
- для трубопроводов рассматривались аварии с шагом 5 м по длине трубопровода.

В целом на объекте было просчитано свыше 22000 аварийных ситуаций.

Для количественного анализа риска последствий аварий были использованы следующие методики:

- «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей», НТЦ "Промышленная безопасность", согласована Госгортехнадзором России;
- Manual of Industrial Hazard Assessment Techniques. Office of Environmental and Scientific Affairs. The World Bank (Методика Всемирного Банка) – для расчета зон воздействия при горении факелов и рассеяния облаков топливно-воздушных смесей;
- ГОСТ Р 12.3.047-98 – для оценки последствий огненного шара и пожара пролива.

3. Определение размеров зон возможного поражения

Радиусы возможного поражения при авариях на ГНС лежат в широком диапазоне от нескольких метров до нескольких сотен метров. Например, для аварий на ж/д эстакаде (*сценарии Ж₁ и Ж₂*) радиусы смертельного поражения человека с условной вероятностью 0,1 составят 180 м при образовании огненного шара; 40 м при пожаре пролива и 37 м при горении факела. Расстояние же, на которое может дрейфовать облако СУГ, сохраняя

способность к воспламенению составит до 560 м. При этом следует отметить, что полученные результаты хорошо согласуются с имеющимися данными по радиусам поражения, наблюдавшимся в реальных авариях с сопоставимыми количествами СУГ. Например, 9 декабря 1970 г. в Порт Хадсоне (шт. Миссури, США) в результате разрыва подземного трубопровода было выброшено около 60 тонн сжиженного пропана. При этом образовалось облако высотой 3-6 м и протяженностью 490 м, облако дрейфовало до тех пор, пока не достигло строений, где от искры воспламенилось (задержка воспламенения составила 24 мин). Произошел сильный взрыв и последующее сгорание переобогащенной части облака. Зоны поражения соответствовали взрыву тротила в 45 тонн. В наших расчетах расстояние, на котором облако, образовавшееся при выбросе около 50 т СУГ (разрушение резервуара в хранилище СУГ), сохраняло способность к воспламенению на расстоянии до 620 м.

В другом случае 9 марта 1972 г. в Линчберге (шт. Виргиния, США) при образовании огненного шара из 10 т пропана на расстоянии 130 м погиб один человек и двое остались живы, но получили ожоги. На расстоянии 140 м три человека остались живы, хотя также получили ожоги. Такие последствия аварии позволяют принять в качестве размера зоны смертельного поражения с условной вероятностью 1/3 расстояние 130 м. По нашим расчетам размер зоны смертельного поражения с условной вероятностью 1/3 для огненного шара из 10 т пропана составляет 105 м.

Сравнение рассчитанных зон поражения и зон поражения, наблюдавшихся на практике при горении проливов и факелов, показывает, что и в этом случае использованные модели дают удовлетворительную точность расчета.

4. Оценка числа пострадавших

Результаты анализа размеров зон поражения при всевозможных сценариях аварий позволяет утверждать, что при любой аварии на рассматриваемой ГНС, связанной с разрушением одной единицы оборудования, поражающие факторы не приведут к прямому смертельному поражению людей в близлежащих населенных пунктах, находящихся на расстоянии более 700 м от ГНС. Однако в зону смертельного поражения попадают близлежащие авто- и железная дороги. Очевидно также, что в зоне возможного смертельного поражения находится и сама территория ГНС. Возникает вопрос, какое количество людей может пострадать при авариях на ГНС. В зависимости от сценария аварийной ситуации и в зависимости от количества СУГ, вовлекаемого в аварию, количество пострадавших может изменяться в широких пределах:

- при аварии в помещении наполнительного отделения могут погибнуть все находящиеся в нем люди - до 3 человек;
- при взрыве паров СУГ внутри резервуара возможна гибель до 2 человек;
- при образовании горящих проливов и факелов (*при разгерметизации трубопроводов и арматуры*) возможна гибель до 2 человек, находящихся на территории объекта и попавших в зону смертельного поражения тепловым излучением; при этом следует отметить, что при пожарах проливов и горении факела люди, находящиеся за пределами объекта, в т.ч. перемещающиеся по дорогам, в зону поражения не попадают;
- при образовании огненных шаров или при сгорании дрейфующих газовых облаков возможна гибель всех людей, находящихся на территории объекта (*до 30 человек – наибольшая работающая смена*), а также поражение людей за пределами ГНС; при этом наиболее опасными с точки зрения поражения при горении облаков являются аварии на железнодорожной эстакаде и в резервуарном парке при юго-западном ветре, когда на пути облака оказывается сразу несколько зданий.

Следует заметить, что приведенные оценки количества погибших являются пессимистическими. В реальной ситуации число погибших может не

превысить 9-10 человек, поскольку в ряде случаев люди могут выйти из зоны поражения.

Число пострадавших, при попадании в зону поражения автодороги или железнодорожных путей будет зависеть от интенсивности движения. Люди, передвигающиеся по авто- и железной дорогам, могут пострадать только при возникновении огненного шара или воспламенении дрейфующего облака (*для автодороги дрейф и воспламенение облака при юго-восточном, восточном или северо-восточном ветрах; для железной дороги дрейф и воспламенение облака при юго-западном, западном или северо-западном ветрах*). Причем при горении облака поражение в районе дорог возможно при условии, что облако не воспламенилось на пути дрейфа до авто- или железной дорог, и воспламенение произошло уже при попадании транспортных средств во взрывоопасное облако.

Для автомобильной дороги в зону поражения попадет до 6 человек (*2 легковых автомобиля*). При движении в момент аварии по автодороге пассажирского автобуса в зону поражения попадут все пассажиры автобуса.

Количество пострадавших на железной дороге может достигать 140 человек при попадании в зону поражения пассажирского поезда.

5. Оценка риска

Полученные значения размеров зон поражения и количества пострадавших дают представления о масштабах возможных аварий на ГНС. Однако для полноты представления об уровне опасности объекта необходимо знать не только масштабы, но и частоту возникновения возможных аварий или потерь.

Для оценки вероятности реализаций опасности и показателей риска использовались статистические данные по отказам применяемых технических

устройств, экспертные оценки и метод «дерева событий» (в соответствии с РД 08-120-96).

Выбор значений частот инициирующих событий произведен на основе обобщенных статистических данных с учетом того, что на объекте используется современное технологическое оборудование (*резервуары и трубопроводы с двойными стенками, средства КИПА и противоаварийной защиты*). При определении частоты возникновения аварии учитывалась интенсивность эксплуатации оборудования в течение года.

Соответствующие вероятности исхода того или иного сценария определялись по «деревьям события» (см., например, рис. 1) и вероятности инициирующих событий.

По всем группам сценариев определено пространственное распределение потенциального территориального риска, показывающее частоту смертельного поражения (год^{-1}) в каждой точке территории декларируемого объекта и на прилегающих площадях. Распределение потенциального риска представлено на рис. 2.

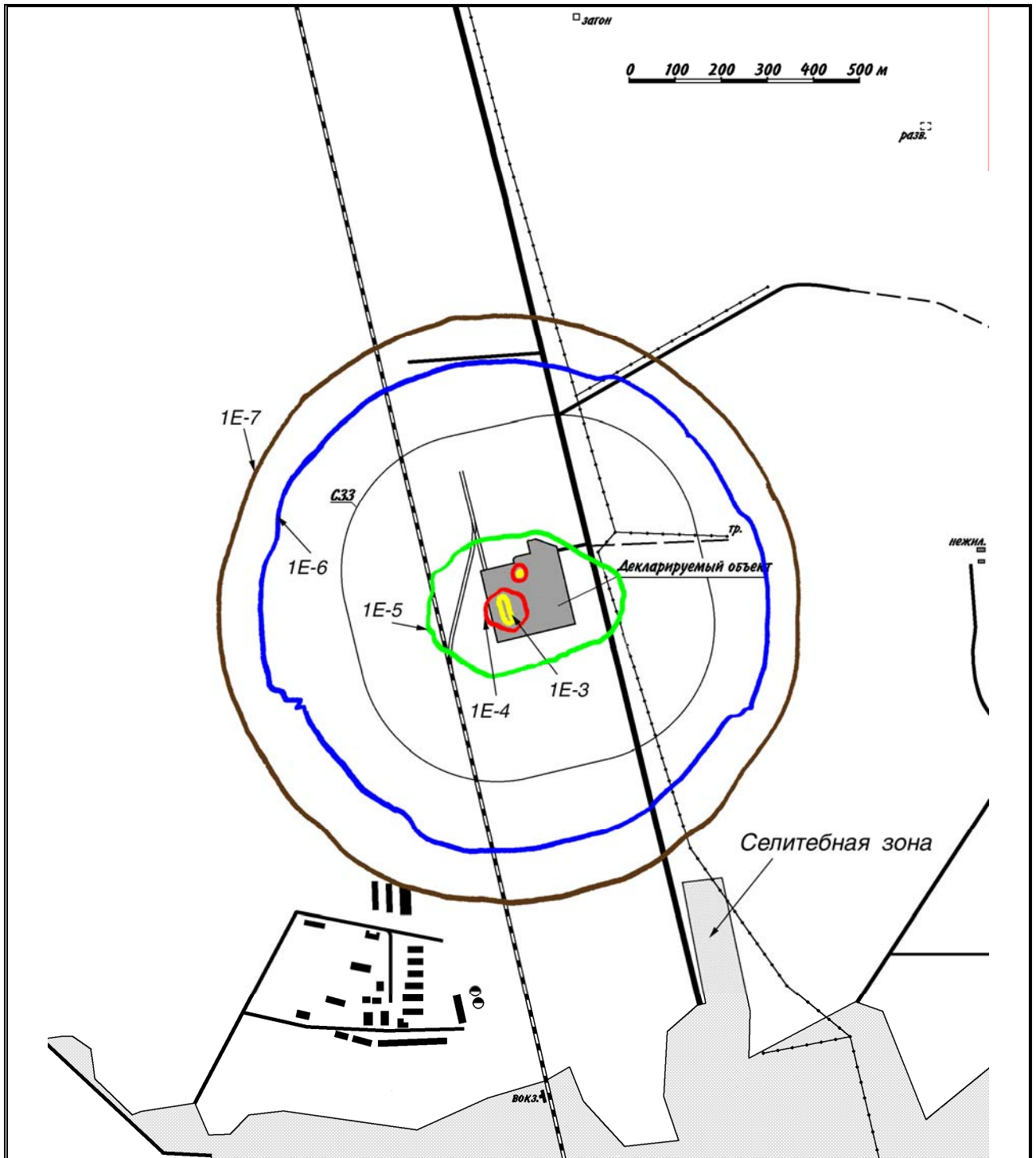


Рисунок 2. Распределение потенциального территориального риска, отображающего частоту возникновения поражающих факторов гибели человека от возможных аварий на ГЭС за 1 год. (Обозначение частоты 1E-n соответствует значению 10-n, размерность частоты - 1/год).

На основе полученного пространственно-временного распределения потенциального риска, а также учитывая распределение людей на территории декларируемого объекта, прилегающих площадях, близлежащих авто- и железной дорогах, определены коллективные риски гибели различных категорий людей (*возможное число погибших в год*). В таблице 1 приведены полученные значения коллективных рисков при возникновении аварий на декларируемом объекте.

Таблица 1

Коллективный риск (возможное число пострадавших в год) при возникновении аварий на декларируемом объекте

Категория людей	Число пострадавших, чел/год
Персонал на территории декларируемого объекта	$1,8 \times 10^{-3}$
Третьи лица на территории декларируемого объекта	$1,1 \times 10^{-3}$
Третьи лица на территории, прилегающей к декларируемому объекту	$3,14 \times 10^{-5}$
Все категории	$2,9 \times 10^{-3}$

По значению коллективных рисков и количеству людей попадающих под воздействие поражающих факторов оценены средние индивидуальные риски различных категорий людей (см. таблицу 2).

Таблица 2

Средний индивидуальный риск гибели при возникновении аварий на декларируемом объекте

Категория людей	Индивидуальный риск, 1/год
Персонал на территории декларируемого объекта	$3,75 \times 10^{-5}$
Третьи лица на территории, прилегающей к декларируемому объекту	до $4,6 \times 10^{-7}$
Пассажиры автотранспортных средств	до $1,5 \times 10^{-8}$
Пассажиры поездов железной дороги	до $1,1 \times 10^{-9}$

Указанные показатели риска в целом значительно ниже фоновых показателей риска, связанных с обыденной жизнью человека. Для сравнения частота смерти от неестественных причин в России (1987 г.) составляла $1 - 1,7 \times 10^{-3} \text{ год}^{-1}$; риск убийства и самоубийства в России (1991 г.) - $2,6 \times 10^{-4} \text{ год}^{-1}$; риск гибели в происшествиях с подвижным составом в России (1988 г.) - $1,6 \times 10^{-4} \text{ год}^{-1}$; риск гибели в дорожно-транспортных происшествиях (в Московской области 1991 г.) - $2,7 \times 10^{-4} \text{ год}^{-1}$. Индивидуальный риск гибели для населения (на автодороге и ж/д и на территории, прилегающей к декларируемому объекту) укладывается в пределы верхней оценки гибели населения в результате техногенной чрезвычайной ситуации в России (1989 г.) - $2,4 \times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

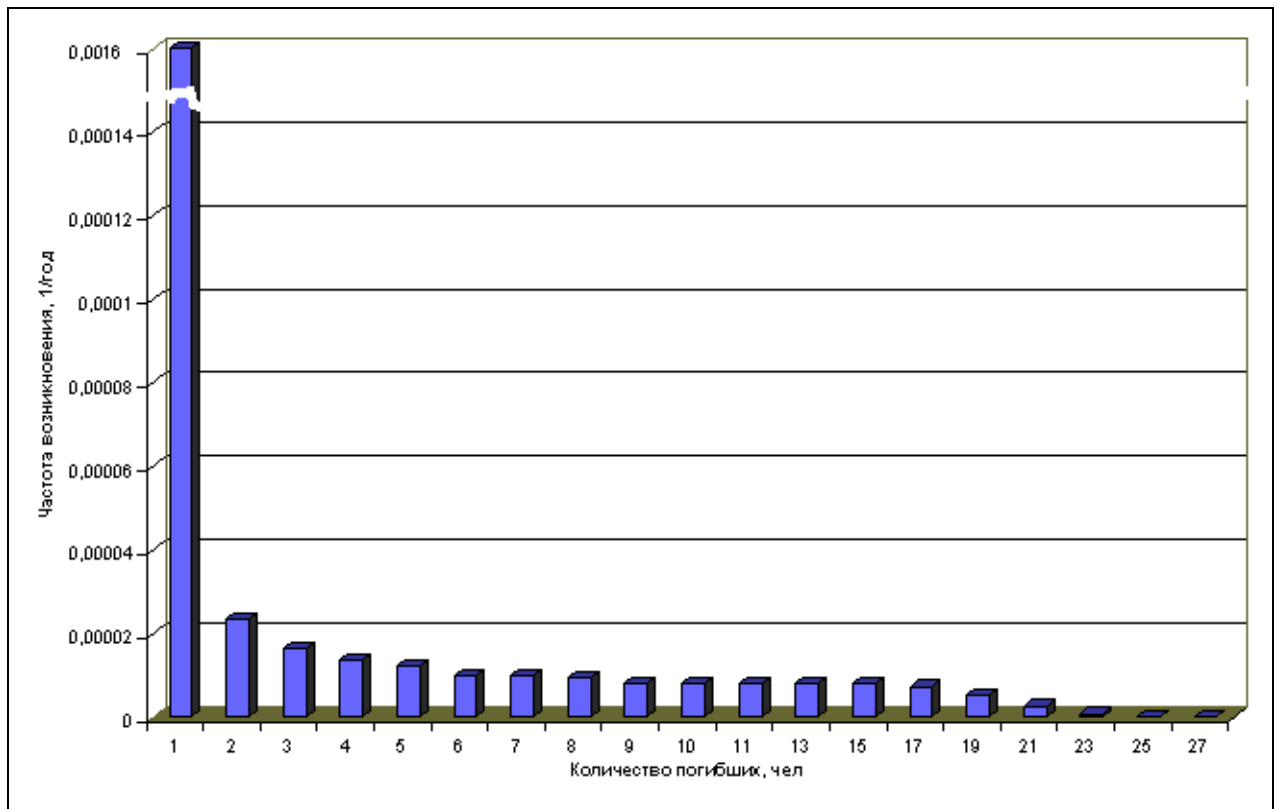


Рисунок 3. Частота возникновения аварийных ситуаций с гибелью количества персонала выше указанного количества.

Помимо коллективных и средних индивидуальных рисков определен социальный риск, отражающий связь между тяжестью последствий и частотой их возникновения (F/N кривая). Например, на рис. 3 показана частота возникновения (*в год*) смертельного поражения людей из персонала ГНС больше определенного числа. Из рисунка видно, что основная доля аварий более 95% приведет к гибели только одного человека. Исходя из данных приведенных на рис. 3, можно выделить три уровня опасности:

- первый соответствует гибели до 1-2 человек. Частота возникновения 2×10^{-5} - $1,6 \times 10^{-3}$ раза в год. Это ситуации, включающие в основном пожар проливов и горение факелов;
- второй уровень опасности - гибель до 15-18 человек. Частота их возникновения около 1×10^{-5} раза в год. Это в основном ситуации связанные с воспламенением дрейфующих облаков в местах сосредоточения большого количества людей;
- третий уровень - гибель свыше 20 человек с частотой 10^{-8} - 10^{-6} раза в год – ситуации связанные в основном с образованием огненных шаров.

6. Анализ влияния различных факторов на показатели риска

Приведенные показатели риска отражают состояние ГНС на некоторый конкретный момент времени, соответствующий определенному состоянию оборудования и режиму эксплуатации (*1-3 года*).

Представляется важным выяснить как различные факторы, связанные с изменениями на объекте, отразятся на показателях риска. Например, с течением времени износ оборудования приведет к увеличению частоты возникновения отказов на ГНС и соответственно к увеличению вероятности возникновения аварийных ситуаций. Так, при увеличении частоты разгерметизации оборудования на порядок показатели риска для всех категорий людей возрастут с $2,9 \times 10^{-3}$ чел./год до $5,4 \times 10^{-3}$ чел./год; средний индивидуальный риск для

персонала объекта - с $3,75 \times 10^{-5}$ год⁻¹ до 9×10^{-5} год⁻¹; для третьих лиц – пассажиров автотранспортных средств и железнодорожных составов - риск увеличится в 10 раз (с $1,7 \times 10^{-7}$ год⁻¹ до $1,7 \times 10^{-6}$ и с $1,1 \times 10^{-8}$ год⁻¹ до $1,1 \times 10^{-7}$ год⁻¹, соответственно).

Существенным образом на показатели риска влияет профессиональная и противоаварийная подготовка персонала. Приведенные значения показателей риска соответствуют тому факту, что персонал ГНС прошел соответствующее обучение и профессиональную подготовку, в т.ч. подготовку по действиям по локализации и ликвидации аварий. Некачественная подготовка может привести к ошибкам в процессе ведения технологического процесса и в поведении при возникновении аварийной ситуации. Например, если персонал не сможет выйти из зоны возможного поражения, то показатели риска увеличатся и коллективный риск составит $2,4 \times 10^{-2}$ чел./год против $1,8 \times 10^{-3}$ чел./год. И наоборот, при успешной реализации мер по предотвращению развития аварии с эффектом «домино», например, на ж/д эстакаде, коллективный риск уменьшится с $1,8 \times 10^{-3}$ чел./год до $1,5 \times 10^{-3}$ чел./год. Конкретным технологическим решением, способствующим предотвращению эффекта «домино» на ж/д эстакаде, может стать увеличение длины тупикового пути от ж/д эстакады до упорного бруса и установление на упорном брусе лебедки для растаскивания цистерн при возникновении пожара на ж/д эстакаде.

По результатам анализа риска предложено 14 технических мероприятий по снижению риска возникновения аварийных ситуаций и уменьшению тяжести последствий аварий (в т.ч. мероприятия по улучшению конструкции насосов и компрессоров, установке дополнительных обвалований и т.д.).

Также существенному снижению риска третьих лиц способствуют и некоторые организационные мероприятия. Например, своевременное

прекращение движения транспорта по авто- и железной дороге при возникновении аварийных ситуаций на ГНС сведет риск поражения пассажиров транспортных средств практически к нулю.

7. Выводы

На основе применения методов количественного анализа риска для оценки безопасности типовой ГНС:

1. Проанализированы возможные причины возникновения, сценарии и условия протекания аварийных ситуаций, связанных с разгерметизацией оборудования и выбросом СУГ (смеси пропана с бутаном).

2. Рассчитаны возможные зоны поражения и количество пострадавших при более чем 22000 сценариев аварий (включая горение облаков, пожара пролива, огненного шара и горящих струй).

3. Получены количественные оценки риска, в т.ч. вероятности возникновения и развития различных сценариев аварий, показатели индивидуального, коллективного, социального рисков, распределения потенциального территориального риска по объекту и окружающей местности.

4. Сделан вывод, что:

– эксплуатация ГНС не создает опасности для людей, находящихся в близлежащих населенных пунктах, в том числе при возможном дрейфе топливо-воздушной смеси,

– индивидуальный риск гибели персонала и третьих лиц (в том числе находящихся на заправке газа, авто- и железной дороге) не превышает фоновые показатели риска обыденной жизнедеятельности человека.

5. Разработано 14 технических и 4 организационных мероприятия по обеспечению промышленной безопасности, при выполнении которых риск

эксплуатации данного опасного производственного объекта может считаться допустимым и приемлемым.

При использовании данных материалов приветствуется ссылка на авторов

НА ГЛАВНУЮ