

**DEFINITION OF POSSIBLE SCENARIOS OF OCCURENCE, DEVELOPMENT AND
REALIZATION PROBABILITY OF EMERGENCIES ON DANGEROUS INDUSTRIAL
OBJECTS AT LOW TEMPERATURES OF EXPLOITATION.**

Aleksander Bolshakov¹, Marina Zakharova¹

The Institution of Russian Academy of Sciences, the V.P. Larionov 's Institute of Physical-Technical
Problems of the North, Siberian Branch of the RAS¹, Russia, Yakutsk, Otyabrskaya 1

Abstract

Now safety in natural and technogenic sphere is the major problem all over the world. Objects of an oil and gas complex: tanks, oil pipelines, gas pipelines concern to highly risky objects of a technosphere.

Uncontrollable development of emergencies on objects of an oil and gas complex connected with explosions and fires can lead to considerable fractures and to death of people. Now the concept of "comprehensible risk" is accepted, allowing to use a principle "to expect and warn". The risk analysis represents one of essential components of safety and is spent for detection of separate sources of danger and an estimation of their potential influence on possible damages which can be caused the population, environment and economic objects.

Key words: risk analysis, danger, scenarios, probability.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время безопасность в природно-техногенной сфере является важнейшей проблемой во всем мире. Объекты нефтегазового комплекса: резервуары, нефтепроводы, газопроводы относятся к высокорисковым объектам техносферы.

Неконтролируемое развитие аварийных ситуаций на объектах нефтегазового комплекса связанных с взрывами и пожарами может привести к значительным разрушениям и к гибели людей.

Любая система эксплуатируется в определенных условиях окружающей среды; она испытывает воздействие факторов окружающей среды (климатических, динамических и др.). Эти факторы могут привести к изменению параметров и состояния работоспособности отдельных элементов, узлов и системы в целом. Для элементов технических систем, расположенных в условиях Севера, определяющим внешним фактором являются низкие температуры атмосферного воздуха, которые ухудшают основные физико-механические свойства конструкционных материалов, повышают возможность хрупкого разрушения материалов.

К основным особенностям проектирования и эксплуатации трубопроводов в Северных районах отнесем необходимость учета значительного интервала наружных температур в течение года, сплошное или островное распространение многолетнемерзлых грунтов, высокую влагонасыщенность грунтов, приводящую при растеплении к развитию солифлюкционных процессов. Промерзание водонасыщенных грунтов связано с развитием процессов неоднородного морозного пучения. При сильных морозах грунты подвержены морозобойному растрескиванию, которое приводит к разрушению заглубленных в грунт протяженных конструкций (нефтепроводов, газопроводов). Также некоторые резервуары

расположены в поймах рек, где основанием служат водонасыщенные грунты. Неравномерные смещения основания, происходящие при оттаивании-промерзании деятельного слоя под резервуаром, приводят к деформациям днища. Вечномерзлые грунты обладают высокой изменчивостью свойств в зависимости от условий эксплуатации. Высокая несущая способность грунта в мерзлом состоянии при растеплении снижается на несколько порядков.

При низких температурах меняются физические свойства нефтепродуктов. Для многих сортов нефти и нефтепродуктов минимальная температура воздуха ниже температуры застывания, поэтому происходит сгущение нефти. Также меняется взрывоопасность некоторых углеводородов, например, метан становится взрывоопасным при низких температурах окружающего воздуха (ниже минус 40°C), что имеет место в условиях Севера. К наиболее опасным продуктам по причине низкого значения температуры вспышки в закрытом тигле относятся бензины всех марок. Замечено что часто взрывы происходят при температуре окружающей среды ниже 0 С.

II. ВЛИЯНИЕ НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОТКАЗЫ ОБОРУДОВАНИЯ

Многочисленные наблюдения за отказами, авариями техники и сооружений на Севере, констатируют факт внезапного и хрупкого разрушения с основным механизмом разрушения - отрывом, как наиболее опасного и ущербного.

Хрупкое разрушение элементов конструкций, работающих в условиях Севера, обусловлено, прежде всего, воздействием низких климатических температур, а также, рядом факторов, таких как конструктивные, технологические и другие.

Понижение температуры влияет на прочность металла. Известно, что в металле без трещин и надрезов прочность при понижении температуры не снижается, а в металле с концентраторами напряжений разрушение становится более хрупким с понижением температуры.

В настоящее время, исследование хрупких разрушений с помощью линейной и нелинейной механики разрушения привело к ряду критериев оценки хладостойкости элементов металлоконструкций.

В этих условиях возникает вопрос надежности конструкций при низких эксплуатационных температурах. Учитывая, во многом случайную природу зарождения и распространения хрупкого разрушения, представляется наиболее возможным ответ с позиций общей теории надежности механических систем, используя аппарат механики разрушения в области хладостойкости крупногабаритных тонкостенных металлоконструкций (ТМК). Так, для описания вероятности отказов техники и конструкций используют модель вида

$$R = \iint_{\Omega} p(r, q) dr dq, \quad (I)$$

где $p(r, q)$ - распределение плотности вероятности случайных величин r и q .

Для определения хрупкого или спонтанного распространения трещины, в работах Махутова Н.А., Лыглаева А.В., Большакова А.М. предложена схема оценки второй критической температуры вязко-хрупкого перехода для ТМК, в которой температура является расчетным параметром.

Получена вторая критическая температура вязко-хрупкого перехода для элемента конструкции, в виде

$$T_{KP2} = \left[\ln \left(\frac{\sigma_T M \xi^{-1} \sqrt{\pi l} \left(1 + \beta \left(\frac{\sigma_T}{\sigma_{O}^{TP}} \right)^{n-1} \right) - K_{IR}}{\theta_o \left(-\frac{V_o}{V} \ln(1-P) \right)^{1/b}} \right) \right] \times t_o, \quad (II)$$

которая учитывает степень вероятности наступления хрупкого разрушения для элемента конструкции. На рис. I-II. приведены диапазоны значений второй критической температуры хрупкости для трубы с диаметром 1420 мм, толщиной стенки 12 мм, в зависимости от критической полудлины трещины.

Изменение второй критической температуры
в зависимости от размера трещины при
различных вероятностях [сталь 06Г2МБ]

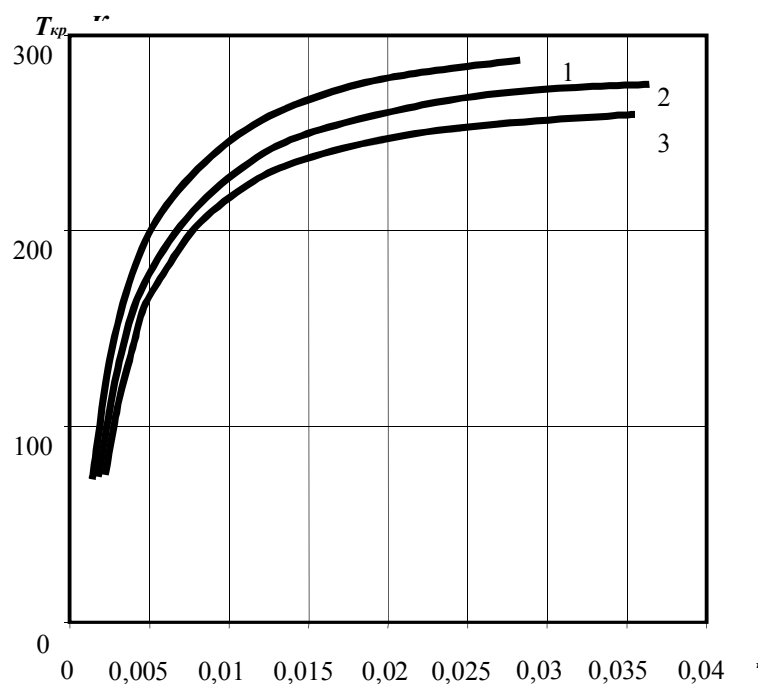


Рис I

1 - $P=0,1$; 2 - $P=0,5$; 3 - $P=0,9$

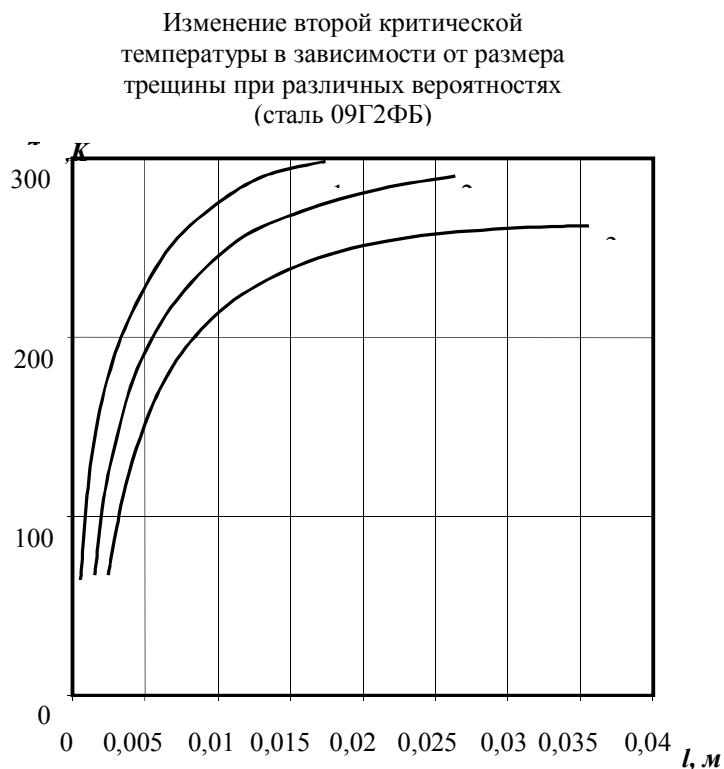


Рис. II

1 - $P=0,1$; 2 - $P=0,5$; 3 - $P=0,9$

Характерные для условий Севера резкие колебания температуры окружающей среды и неравномерные осадки основания вызывают появление дополнительных напряжений в элементах резервуаров.

Для исследований деформаций в работе Прохорова В.А. приведены результаты дефектоскопии и нивелирования днища резервуара объемом 2000 м³. По данным выборочного обследования 12 резервуаров построена гистограмма распределения хлопунгов в зависимости от их площади. По результатам исследования, для днищ резервуаров, эксплуатируемых на вечномерзлых грунтах, распространенными дефектами явились хлопунги и вмятины.

Осадка основания РВС нередко приводит к аварийным ситуациям. Детальное рассмотрение актов расследований аварий резервуаров за последние 30 лет показывает, что в 38 случаях из 44 имела место неравномерная осадка основания, которая в сочетании с другими факторами явилась причиной разрушения.

Таким образом, предпосылкой развития аварийных ситуаций РВС является совместное действие следующих факторов: наличие дефектов, воздействие условий окружающей среды, нарушение требований проекта и режимов эксплуатации резервуаров, несоблюдение ПТБ и др.

III. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПАСНОСТИ

Опасность – это ситуация, постоянно присутствующая в окружающей среде и способная в определенных условиях привести к реализации в окружающей среде нежелательного события- возникновению опасного фактора.

В настоящее время принята концепция «приемлемого риска», позволяющая использовать принцип «предвидеть и предупредить». Появились директивные документы, регламентирующие проведение анализа и оценок риска.

С целью преодоления негативных тенденций с аварийностью в промышленности принят закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», в котором устанавливается необходимость подготовки специального документа- «Декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта».

Наиболее значимым и ответственным разделом декларации является анализ риска, т.е. обоснование частоты возникновения и специфики развития различного рода аварий, а также определение количественных показателей, связанных с этим социального, материального, экологического ущерба.

Основной элемент анализа риска - идентификация опасности (обнаружение возможных нарушений), которые могут привести к негативным последствиям.

Основные задачи этапа идентификации опасностей – выявление и четкое описание всех источников опасностей и путей (сценариев их реализации).

Для идентификации опасностей рекомендуется применять методы: «Что будет, если...?», метод проверочного листа, анализ опасности и работоспособности, анализ вида и последствий отказов, анализ «дерева отказов», анализ «дерева событий».

IV. ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ ПРИЧИН АВАРИЙ

К основным причинам, связанным с отказами оборудования относятся:

- коррозия и эрозия оборудования и трубопроводов;
- физический износ, механические повреждения или температурная деформация оборудования и трубопроводов;
- внезапное и хрупкое разрушение оборудования при низких климатических температурах;
- осадка основания РВС при сезонном промерзании и оттаивании вечномёрзлого грунта;
- заводские дефекты (возможное низкое качество стали, с отклонениями по составу, использование некачественных электродов при сварке, дефекты конструкции, способствующие концентрации напряжений и т.д.);
- брак сварочно-монтажных работ;
- развитие усталостных изменений металла оборудования и наличие различных дефектов.
- отказ дыхательного оборудования (возможно вакуумное смятие или разрыв резервуара).

Коррозия и эрозия оборудования и трубопроводов могут стать причиной частичной разгерметизации технологического оборудования. Коррозионное разрушение, при достаточной прочности конструкции оборудования или трубопроводов, чаще всего имеет локальный характер. Однако при

несвоевременном обнаружении, оно может послужить источником развития аварийной ситуации на объекте.

Физический износ, механические повреждения или температурная деформация оборудования объектов может привести к частичному, так и к полному разрушению технологического оборудования или трубопроводов.

Резервуары являются источниками повышенной опасности из-за значительных объемов потенциально опасных веществ, находящихся в них. Причинами разгерметизации, разрушения резервуаров могут быть различные дефекты, осадка основания, отказ дыхательного оборудования (вакуумное смятие или разрыв резервуара), коррозия, развитие усталостных изменений металла, повышение давления и т.п.

Трубопроводные системы являются источником повышенной опасности из-за большого количества сварных и фланцевых соединений, запорной и регулирующей арматуры, жестких условий работы (температура среды, высокое давление) и значительных объемов веществ, перемещаемых по ним. Причинами разгерметизации трубопроводных систем могут быть остаточные напряжения в материале трубопроводов в сочетании с напряжениями, возникающими при монтаже и ремонте, которые могут вызвать поломку элементов запорных устройств, образование трещин, разрывы трубопроводов; разрушения под воздействием температурных деформаций; гидравлические удары; вибрация; повышение давления и т.п.

Причинами аварий также могут быть ошибки персонала. Уровень автоматизации технологических процессов рассматриваемого объекта требует от обслуживающего персонала высокой квалификации и повышенного внимания. Особую опасность представляют ошибки при пуске и остановке оборудования, ведении ремонтных, профилактических и других работ. В случае неправильных действий персонала существует возможность разгерметизации систем и возникновения аварийной ситуации.

К причинам аварий, связанным с отступлением от норм технологического режима, относятся:

- поднятие давления выше допустимого;
- поднятие уровня в емкостном оборудовании выше допустимого;
- понижение уровня в емкостном оборудовании ниже допустимого.

Причины и факторы аварий, связанные с внешними воздействиями природного и техногенного характера:

- разряды от статического электричества;
- снежные заносы и аномальное понижение температуры воздуха;
- попадание оборудования в зону действия поражающих факторов аварий, происшедших на соседних сооружениях;
- преднамеренные действия (террористические акты, диверсии).

Все вышеперечисленные факторы могут привести к разгерметизации резервуаров, нефтепроводов (газопроводов) и явиться причиной возникновения на рассматриваемых объектах аварийных ситуаций различных масштабов.

Основные возможные аварийные ситуации связаны с разрушением (полным или частичным) резервуаров, порывом нефтепроводов, газопроводов.

V. АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Анализ возможных причин возникновения аварий на опасных объектах и свойств опасных веществ позволил выявить возможные сценарии развития аварийных ситуаций на объекте.

Под сценарием аварии понимается последовательность отдельных логически связанных событий, обусловленных конкретным инициирующим событием, приводящим к конкретным опасным последствиям. Для построения такой последовательности необходимо провести описание следующих событий: фазы инициирования аварии, инициирующего события аварии, аварийного процесса и чрезвычайной ситуации, потерь при аварии.

Рассмотрим подробнее составляющие сценария:

Фаза инициирования аварии – это период времени, в течение которого происходит накопление отказов оборудования (например, заклинивание задвижки, разрушение торцевого уплотнения), отклонений от технологического регламента (например, скачкообразное повышение давления, возникновение неконтролируемых химических реакций), ошибок персонала (например, нарушение правил безопасной эксплуатации), и внешних воздействий (например, отключение электроэнергии), совокупность которых приводит к возникновению инициирующего события.

Инициирующее событие аварии состоит в разгерметизации системы хранения, транспортирования и/или слива-налива опасных веществ.

Аварийный процесс – процесс, при котором, сырье, промежуточные продукты, продукция предприятия, установленное на промышленной площадке оборудование вовлекаются в результате возникновения инициирующего события аварии в непредусмотренные технологическим регламентом процессы (прежде всего физико-химические) на промышленной площадке – взрывы, пожары разлива и т.д. и создают поражающие факторы: ударные, тепловые и токсические нагрузки, осколочные для персонала, окружающей среды и самого объекта.

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – состояние, при котором в результате возникновения источника техногенной чрезвычайной ситуации на объекте, на определенной территории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и окружающей природной среде.

При разрывах трубопроводов, разъемных соединений, неисправностей запорной и регулирующей арматуры, повреждениях или полном разрушении оборудования может произойти выброс веществ в газообразном, жидком или двухфазном состоянии, в зависимости от характера и места разрушения, а также в зависимости от температуры, и давления, при которых находятся рассматриваемые вещества.

Объем выброса определяется количеством вещества, находящегося в оборудовании, его температурой и давлением, расходом, размером отверстия разгерметизации и превентивными мероприятиями. При низкой скорости выброса и сравнительно продолжительной его длительности количество выброшенного вещества будет зависеть, в основном, от времени обнаружения утечки и оперативности действий персонала по локализации аварии и ликвидации ее последствий.

Доля быстро испаряющейся жидкой фазы в случае аварийного выброса будет зависеть от физико-химических свойств обращающегося вещества, его температуры, температуры окружающей среды, характера подстилающей поверхности и других факторов.

При попадании паровоздушного облака в источник зажигания, который может быть расположен иногда на значительном расстоянии от места выброса, облако может воспламениться, при этом возможно либо сгорание облака, либо его взрыв.

Если в процессе аварии происходит утечка жидкой фазы, то жидкость при наличии источника зажигания может загореться с возникновением, так называемого, пожара пролива, при котором происходит горение бассейна (лужи) разлитой жидкости.

По результатам анализа аварий объектов нефтегазовой отрасли, произошедших при низких температурах, получены основные причины, влияющие на частоту аварий (таблицы I, II, III).

Наиболее частой причиной аварий являются:

- для резервуаров с нефтепродуктами:
 - нарушение правил технической и пожарной безопасности,
- для резервуаров высокого давления:
 - нарушение технологического процесса,
 - скрытые дефекты.
- для нефтепроводов:
 - износ нефтепровода,
 - нарушение технологического процесса,
 - утечка через свищ, коррозионное отверстие, трещину, разгерметизация по сварному стыку,
 - повреждение нефтепровода.
- для газопроводов:
 - износ газопровода, дефекты, усталость металла, влияние низких климатических температур.

Таблица I. Основные причины аварий на нефтепроводах при низких температурах

Причины, влияющие на частоту аварий на нефтепроводах	Вероятность реализации данного события
Разрыв элементов трубопровода (задвижки)	0,08
Утечка через свищ, коррозионное отверстие, трещину, разгерметизация по сварному стыку	0,16
Диверсия	0,3
Нарушения технологического процесса	0,14
Износ трубопровода	0,14
Человеческий фактор	0,05
Повреждение нефтепровода	0,11

Причины, влияющие на частоту взрыва резервуара с нефтепродуктом	Вероятность реализации данного события
Резервуар с нефтепродуктом попал в очаг пожара	0,18
Воздействие статического электричества на резервуар с нефтепродуктом	0,09
Нарушение правил технической и пожарной безопасности	0,45
Диверсия	0,09
Воздействие резкого колебания температуры атмосферного воздуха	0,09
Причины взрыва пустого резервуара с остатками паров нефтепродукта	
Нарушение правил технической и пожарной безопасности	1
Причины взрыва резервуара высокого давления	
Нарушение технологического процесса	0,5
Скрытые дефекты	0,5

Таблица II. Основные причины аварий, связанных со взрывом резервуара при низких температурах

Таблица III. Основные причины аварий на газопроводах, связанных со взрывом газопровода при низких температурах

Причины, влияющие на частоту взрыва газопровода	Вероятность реализации данного события
разрыв трубы (износ, дефекты, усталость металла, из-за сильных морозов)	0,82
Повреждение газопровода	0,12
Диверсия	0,0,6

При разгерметизации нефтепроводов происходит выброс жидкости в окружающее пространство. В случае наличия источника воспламенения происходит поджигание. Выходящая струя углеводородов или образовавшийся пролив будут интенсивно гореть и нагревать оборудование, расположенное вблизи от места аварии, в результате чего может произойти дальнейшее разрушение оборудования с выбросом значительных количеств горючих веществ в окружающее пространство с последующим пожаром.

Наиболее опасные аварийные ситуации:

Причина возникновения инициирующего события: дефект конструкции оборудования; коррозия металла; нарушение условий эксплуатации; отсутствие контроля за процессом; разрушение сварных швов; механические разрушения, теракт.

Событие, инициирующее аварийную ситуацию: полное разрушение оборудования, гильотинное разрушение нефтепровода.

Наиболее вероятные аварийные ситуации:

Причина возникновения инициирующего события: коррозия металла; дефекты материала конструкции; дефект сварных соединений, отсутствие контроля за состоянием труб, запорной арматуры; халатность операторов при выполнении ремонтных работ, внешние воздействия природного характера, теракт.

Событие, инициирующее аварийную ситуацию: частичная разгерметизация нефтепровода.

Аварии на нефтепроводах являются, как правило, следствием ситуаций, развивающихся по следующей типовой схеме:

- - в результате нарушения герметичности арматуры или оборудования происходит поступление горючих веществ в окружающее пространство;
- - вышедшие вещества либо воспламеняются, либо создают обширную зону загазованности со взрывоопасной или токсической концентрацией горючего;
- - факторы возникающего пожара интенсивно воздействуют на нефтепровод, из которого происходит истечение, а также на соседнее оборудование, трубопроводы и т.п., вследствие чего в них повышается давление выше расчетного, они теряют прочность и разрушаются или происходит их разгерметизация вследствие разрушения от пламени уплотняющих устройств;
- - количество выходящего продукта и масштабы пожара увеличиваются со временем, принося большой материальный ущерб и приводя к человеческим жертвам.

Взрывы в резервуарах могут возникать при нарушении правил технической и пожарной безопасности, из-за воздействия статического электричества, резкого колебания температуры атмосферного воздуха и по другим причинам.

При взрыве резервуаров возможно поражение людей осколками оборудования, обломками сооружений и конструкций при их обрушении под действием ударной волны.

На долю магистральных газопроводов приходится подавляющее число крупных аварий и отказов во всей газовой промышленности. Линейная часть трубопроводов является потенциально опасным объектом и обладает огромным энергетическим потенциалом, способным оказывать значительное негативное воздействие на окружающую среду (до нескольких сот метров). Причиной взрыва газопровода в основном является разрыв газопровода. Поражающими (опасными) факторами аварийного разрушения магистрального газопровода являются тепловой поток и барическое воздействие.

Любой сценарий начинается с инициирующего события (разлив нефтепродукта/взрыв резервуара (газопровода)), которое может возникнуть с некоторой частотой. Возможные причины и факторы, способствующие возникновению и развитию аварий приведены выше. При оценке частот инициирующих событий проводилась статистическая оценка аварийных случаев по видам оборудования.

Ошибочные действия персонала могут привести к разливу нефтепродуктов, воспламенению паров и пролива, взрывам и пожарам.

На рис. III, IV, V приведены «деревья событий», построенные для аварий, связанных с разгерметизацией нефтепровода, взрывом резервуара, взрывом газопровода.

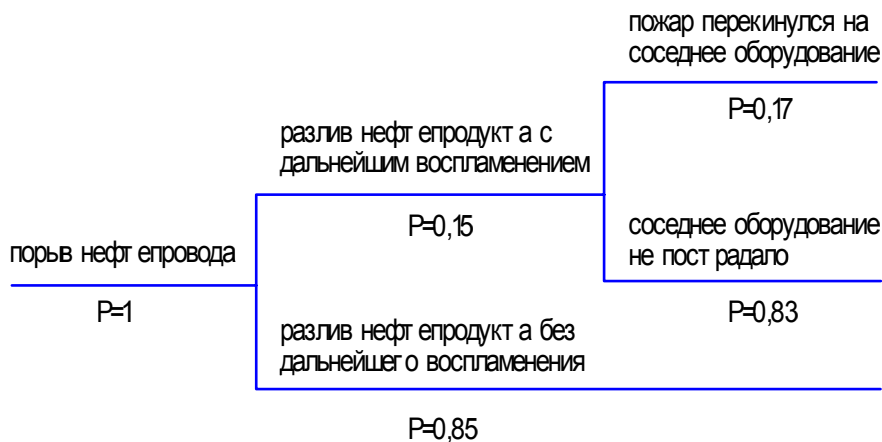


Рис. III Дерево событий при порыве нефтепровода

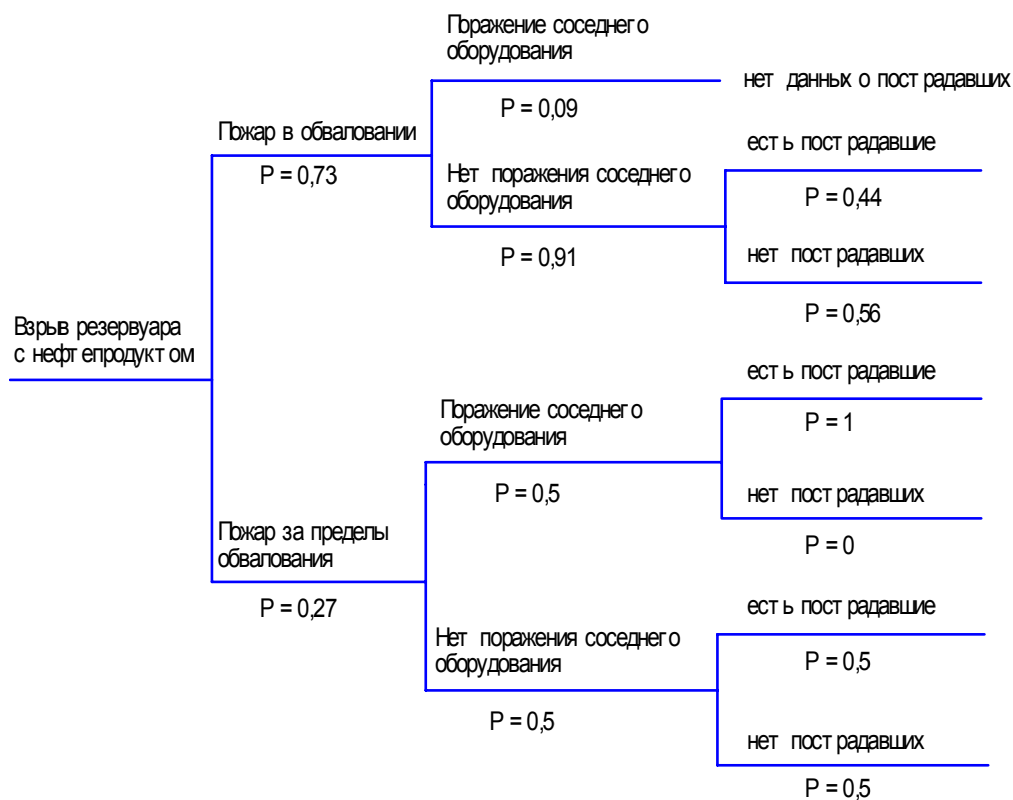


Рис. IV Дерево событий при взрыве резервуара с нефтепродуктом

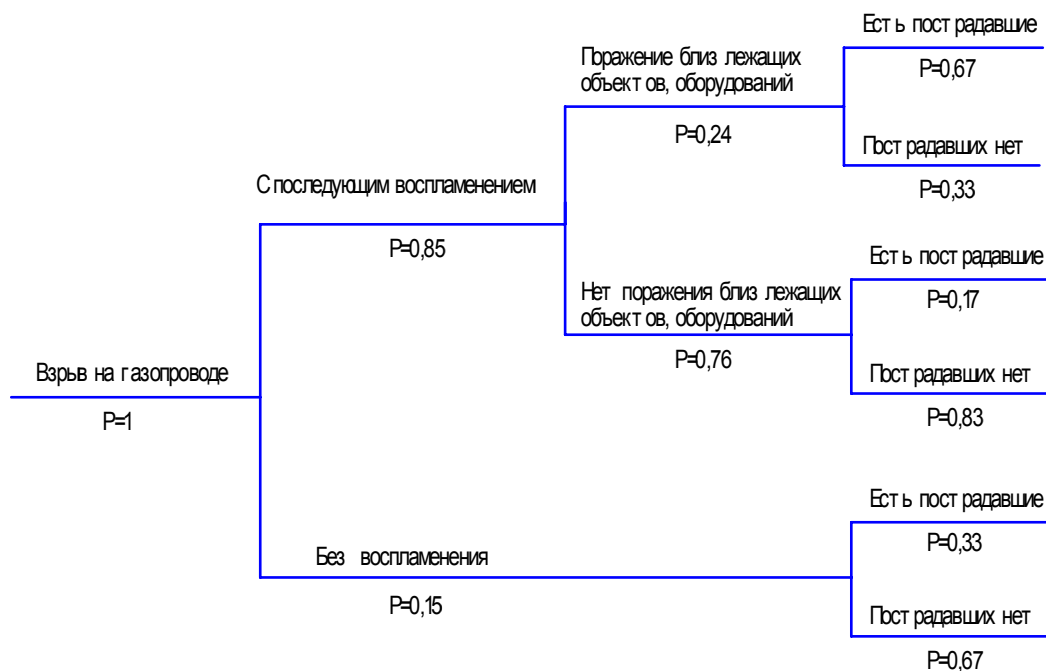


Рис. V Дерево событий при взрыве газопровода

Анализ вероятности возникновения аварийных ситуаций проводили методом построения «дерева событий». При этом условная вероятность возникновения инициирующего события, принималась равной 1. Реальную частоту возникновения сценария получаем умножением частоты инициирующего события на условную вероятность рассматриваемого сценария.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Идентификация опасности является ответственным этапом анализа риска, так как невыявленные на этом этапе опасности не подвергаются дальнейшему рассмотрению и исчезают из поля зрения. Здесь приводится предварительная оценка опасностей с целью выбора дальнейшего направления деятельности:

- прекратить дальнейший анализ ввиду незначительности опасностей;
- провести более детальный анализ риска;
- выработать рекомендации по уменьшению опасностей.

При необходимости, после идентификации опасностей переходят к этапу оценки риска. Оценка риска включает анализ частоты, анализ последствий и их сочетаний. Оценка риска - этап, на котором идентифицированные опасности должны быть оценены на основе критериев приемлемого риска с целью выделить опасности с неприемлемым уровнем риска, и этот шаг послужит основой для разработки рекомендаций и мер по уменьшению опасностей.

Разработка рекомендаций по уменьшению опасностей является заключительным этапом идентификации опасностей. В рекомендациях представляются обоснованные меры по уменьшению опасностей.

Предложения по реализации мер, направленных на уменьшение опасностей:

1. Снижение вероятности возникновения аварии.

Для своевременного обнаружения и предотвращения возможных аварий и катастроф, необходимо предусмотреть активное использование диагностического комплекса, включая анализ состояния металла конструкций, ее нагруженности и дефектов. Одним из важнейших условий обеспечения высокой надежности и безопасности конструкций, эксплуатируемых в условиях Севера является эксплуатация конструкций из стали 09Г2С – низколегированной конструкционной стали ГОСТ 5520-79), которая обладает хорошей свариваемостью и имеет достаточно высокую пластичность и хладостойкость.

При взаимодействия трубопроводов с промерзающим грунтом, необходимо разработать методы и средства воздействия на природную среду с целью недопущения или уменьшения негативного воздействия на инженерные сооружения. Указанные средства могут иметь пассивный характер, основанный на требовании максимального сохранения естественного теплового режима грунта и иных показателей при эксплуатации трубопровода (регулировка температуры перекачиваемого продукта до температуры грунта, установка теплозащитных экранов). К средствам активного воздействия отнесем метод защиты от пучения трубопроводов, проложенных в пойменных районах. Он состоит в кратковременной подаче в трубопровод подогретого газа с целью растепления окружающего грунта на глубину, достаточную для самокоррекции положения трубопроводов в талом грунте.

2. Уменьшение масштабов и направлений распространения физических полей воздействия от аварии в окружающем пространстве.

3. Уменьшение масштабов поражения.

В первую очередь речь идет о поражении людей. При этом необходимым является подготовленность персонала и населения к адекватным действиям в условиях чрезвычайных ситуаций, наличие индивидуальных средств защиты или укрытий при работе в зонах потенциальной опасности, готовность персонала оказать экстренную медицинскую помощь пострадавшим.

4. Выведение субъекта воздействия из зоны негативного влияния, т.е. его перемещение относительно опасного объекта на безопасное расстояние.

Снижение опасности предусматривает в первую очередь осуществление технических и организационных мер, включающих мониторинг, своевременную техническую диагностику, использование технических методов и средств воздействия на природную среду, снижающих негативное воздействие на технические сооружения, эксплуатация конструкций, обладающих высокой пластичностью и хладостойкостью, ремонт, разработку планов ликвидации аварий и плана действий в чрезвычайных ситуациях на территории объекта и за его пределами.

ЛИТЕРАТУРА

Акимов В.А., Лапин В.Л., Попов В.М., Пучков В.А., Томаков В.И., Фалеев М.И. Надежность технических систем и техногенный риск. – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002 – 368 с.

Алымов В.Т., Тарасова Н.П. Техногенный риск: анализ и оценка М.: Академкнига, 2004. 157 с.

Махутов, Н. А. Метод оценки хладостойкости тонкостенных металлоконструкций / Н. А. Махутов, А. В. Лыглаев, А. М. Большаков // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - 2011. - Т. 77, N 1. - С. 49-53.

Прохоров В.А., Сидоров С.П., Матвеева Н.И., Ткаченко А.П., Афонская Г.П., Ильин В.Н., Черняев И.А.. Декларирование безопасности нефтехранилищ в РС(Я): Монография. Якутск: Изд-во Якутского ун-та, 2005.