 **ПРАВИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ**

Об эскалации аварии на опасных производственных объектах

Дегтярев Д.В.

20.11.2017 www.safety.ru

Учет развития аварий

ФНП «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» (утв. приказом Ростехнадзора от 11.03.2013 N 96)

5.6.2. Выбор методов и средств системы защиты, разработка последовательности срабатывания элементов защиты, локализация и **предотвращение развития аварий** должны определяться в проектной документации по результатам анализа опасностей технологического процесса и **оценки риска взрыва** на основе анализа схем (сценариев) возможного развития этих аварий с учетом категории взрывоопасности технологических блоков, входящих в объект, и отражаться в технологическом регламенте на производство продукции.

www.safety.ru Любое воспроизведение только с письменного разрешения © ЗАО НТЦ ПБ 2

Учет развития аварий

РБ «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» (утв. приказом Ростехнадзора от 13.05.2015 N 188)

*анализ риска аварий (анализ опасностей и оценка риска аварий) - взаимосвязанная совокупность научно-технических методов исследования опасностей возникновения, **развития** и последствий **возможных аварий** для обеспечения промышленной безопасности ОПО;*

www.safety.ru Любое воспроизведение только с письменного разрешения © ЗАО НТЦ ПБ 3

Учет развития аварий

РБ «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» (утв. приказом Ростехнадзора от от 13.05.2015 N 188)

*анализ риска аварий (анализ опасностей и оценка риска аварий) - взаимосвязанная совокупность научно-технических методов исследования опасностей возникновения, **развития** и последствий **возможных аварий** для обеспечения промышленной безопасности ОПО;*

5. Анализ опасностей и оценка риска аварий на ОПО (далее - анализ риска аварий) представляет собой совокупность научно-технических методов исследования опасностей возникновения, **развития** и последствий **возможных аварий**, включающую планирование работ, идентификацию опасностей аварий, оценку риска аварий, установление степени опасности возможных аварий, а также разработку и своевременную корректировку мероприятий по снижению риска аварий.

www.safety.ru Любое воспроизведение только с письменного разрешения © ЗАО НТЦ ПБ 4

Учет развития аварий

РБ «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности» (утв. приказом Ростехнадзора от 27.12.2013 N 646)

РБ «Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных жидкостей» (утв. приказом Ростехнадзора 17.09.2015 N 366)

*При анализе причин возникновения аварийных ситуаций на опасных производственных объектах **рекомендуется рассматривать** отказы (неполадки) технических устройств, ошибочные или несвоевременные действия персонала, внешние воздействия природного и техногенного характера с **учетом... внешних воздействий природного и техногенного характера, связанных с... авариями или другими техногенными происшествиями на соседних объектах.***

www.safety.ru Любое воспроизведение только с письменного разрешения © ЗАО НТЦ ПБ 5

Учет развития аварий

РБ «Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов» (утв. приказом Ростехнадзора от от 17.09.2015 N 365)

*Перечисленные сценарии аварий включают в себя и сценарии, **развитие которых сопровождается так называемым эффектом домино.** Этот эффект учитывается на последних этапах ("в" - "д") развития аварии - "последующее развитие аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества".*

www.safety.ru Любое воспроизведение только с письменного разрешения © ЗАО НТЦ ПБ 6

Учет развития аварий

РБ «Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных жидкостей» (утв. приказом Ростехнадзора 17.09.2015 N 366)

При оценке опасности каскадного развития аварий ("эффект домино") следует учитывать критерии устойчивости оборудования, зданий, сооружений

РБ «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности» (утв. приказом Ростехнадзора от 27.12.2013 N 646)

20. При определении сценариев на последних этапах развития аварии рекомендуется учитывать сочетание последовательных сценариев или "эффект домино". Этот эффект рекомендуется учитывать, если затронутое оборудование содержит опасные вещества.

51. При оценке опасности каскадного развития аварии (эффект домино) следует учитывать положения приложения N 3 к ФНП «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств»

7

www.safety.ru Любое воспроизведение только с письменного разрешения © ЗАО НТЦ ПБ

Учет развития аварий

ГОСТ Р 54142-2010. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент рисков. Руководство по применению организационных мер безопасности и оценки рисков. Методология построения универсального дерева событий

Можно представить и другие варианты несчастных случаев с "эффектом домино". Например, взрыв пыли может стать источником возгорания и пожара твердых материалов, которые в свою очередь могут привести к взрыву, и т.д. По сути случаи с "эффектом домино", являющиеся следствием какого-то опасного феномена, естественным образом включаются в серию причин уже других последующих шагов (звеньев) дерева.

ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

Противопожарные расстояния между зданиями, сооружениями должны обеспечивать нераспространение пожара на соседние здания, сооружения.

8

www.safety.ru Любое воспроизведение только с письменного разрешения © ЗАО НТЦ ПБ

Эскалация аварии

Распространение аварии возникшей на одной из единиц на соседнюю единицу оборудования.

Распространение аварии возникшей на одном технологическом блоке на соседний технологический блок.

Распространение аварии с одной технологической установки на соседнюю.

Распространение аварии с оборудования одной зоны на оборудование другой зоны

Распространения аварии возникшей на одном ОПО на соседний ОПО

9

www.safety.ru Любое воспроизведение только с письменного разрешения © ЗАО НТЦ ПБ

Алгоритм оценки риска эскалации

10

www.safety.ru Любое воспроизведение только с письменного разрешения © ЗАО НТЦ ПБ

Зоны действия поражающих факторов (пожар пролива, малая утечка)

Красный - 100 кВт/м², желтый - 30 кВт/м², синий - 15 кВт/м²

11

www.safety.ru Любое воспроизведение только с письменного разрешения © ЗАО НТЦ ПБ

Статистика аварий с эскалацией

12

www.safety.ru Любое воспроизведение только с письменного разрешения © ЗАО НТЦ ПБ

Критерии эскалации

$$Pr = a + b \cdot \ln D$$

Критерии повреждения ударной волной

Категория оборудования	Пороговое воздействие, кПа	Коэффициенты пробит-функции	
		a	B
Резервуары	22	-18,96	+2,44
Сосуды под давлением	16	-42,44	+4,33
Протяженное оборудование	31	-28,07	+3,16
Малогабаритное оборудование	37	-17,79	+2,18

13

www.safety.ru Любое воспроизведение только с письменного разрешения © ЗАО НТЦ ПБ

Критерии эскалации

Критерии повреждения тепловым излучением

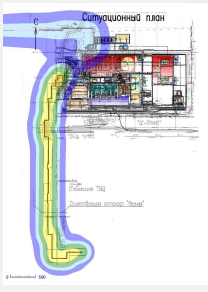
Категория оборудования	Пороговое воздействие	Пробит-функции
Резервуары	15 кВт/м ²	$V = 12,54 - 1,847 \cdot \ln(ttf)$ $\ln(ttf) = -1,128 \cdot \ln(I) - 2,667 \cdot V + 9,887$
Сосуды под давлением	50 кВт/м ²	$V = 12,54 - 1,847 \cdot \ln(ttf)$ $\ln(ttf) = -0,947 \cdot \ln(I) + 8,835 \cdot V^{0,032}$

ttf - время до разрушения, с.
V - объем сосуда, м³.
I - полученное количество теплового излучения, кВт/м².

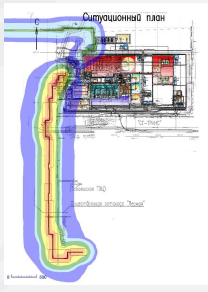
14

www.safety.ru Любое воспроизведение только с письменного разрешения © ЗАО НТЦ ПБ

Риск эскалации



Частота реализации изб. давления при взрывах, 1/год

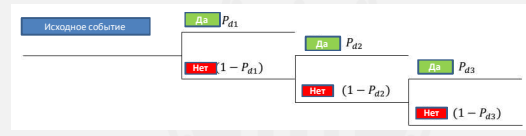
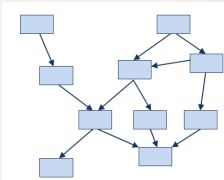


Частота реализации тепловой нагрузки, 1/год

15

www.safety.ru Любое воспроизведение только с письменного разрешения © ЗАО НТЦ ПБ

Оценка частоты эскалации

1. Деревья событий
 
2. Байесовские сети
 
3. Моделирование по методу Монте-Карло

16

www.safety.ru Любое воспроизведение только с письменного разрешения © ЗАО НТЦ ПБ

Повреждение осколками

$$P_{os} = P_{ob} \cdot P_{st} \cdot P_{pr}$$

P_{ob} - вероятность образования осколков
 P_{st} - вероятность столкновения
 P_{pr} - вероятность повреждения

Зависимость числа аварий (BLEVE) от числа осколков



Количество осколков при взрывах цилиндрического резервуара под давлением (без возникновения пожара)



Число осколков подчиняется логнормальному распределению на отрезке [1,4]

Форма осколков: фрагмент цилиндрической стенки, фрагмент полусферической крыши, фрагмент крыши совмещенный с фрагментом стенки и стержень

Масса осколка определяется из формы и размера каждого осколка, в то же время предполагается, что размер является логнормальной случайной величиной

17

www.safety.ru Любое воспроизведение только с письменного разрешения © ЗАО НТЦ ПБ

Повреждение осколками

$$P_{os} = P_{ob} \cdot P_{st} \cdot P_{pr}$$

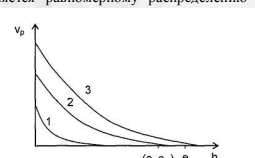
Начальная скорость: подчиняется гауссовому распределению
Зенитный угол: подчиняется равномерному распределению внутри интервала [-90°; 90°]

Азимутальный угол: подчиняется равномерному распределению на каждом из интервалов: [30°;150°]: 20%; [150°;210°]: 30%; [210° -330°]: 20%; [330°;30°]:30%

Подъемная сила: подчиняется равномерному распределению в пределах интервала [0.351; 0.468]

Коэффициент сопротивления: подчиняется равномерному распределению в интервале [0,8;1,1]

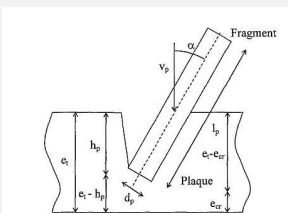
Глубина повреждения: описывается упрощенной аналитической моделью, и зависит от кинетической энергии осколка и угла падения.



18

www.safety.ru Любое воспроизведение только с письменного разрешения © ЗАО НТЦ ПБ

Повреждение осколками



$$\dot{n}_p = \frac{-d_p \cdot \cos \alpha + \sqrt{(d_p \cdot \cos \alpha)^2 + 4 \cdot t_g \alpha \cdot \left(\frac{E_c}{J_u \cdot t_g}\right)^{2/3} \cdot \frac{1}{\pi}}}{2 \cdot t_g \alpha}$$

Повреждение осколками

Параметр осколков	Объект воздействия	
Форма: цилиндрический стержень	Цилиндрический резервуар	
Радиус	0,3 м	Радиус 2 м
Толщина	0,5 м	Длина 7 м
Толщина	0,07 м	Толщина 0,07 м
Начальная скорость	100-150 м/с	Центр координат (10,3,10)
Результат		
Вероятность образования осколков	100%	
Условная вероятность поражения	0,6% (30000 моделирований)	
Условная вероятность разрушения	71%	
Риск эскалации	0,43%	

Результаты оценки частот эскалации

12- Теплообменник	Адсорбер	DS1L11	2.1 · 10 ⁻⁷
	Колонна абсорбера	DS2L13	6.9 · 10 ⁻⁶
	Сепаратор	DS2L13	3.6 · 10 ⁻⁷
13- Теплообменник	Адсорбер	DS1L11	2.1 · 10 ⁻⁷
	Колонна абсорбера	DS2L13	6.9 · 10 ⁻⁶
	Сепаратор	DS2L13	3.6 · 10 ⁻⁷
14- Теплообменник	Колонна абсорбера	DS1L11	2.4 · 10 ⁻⁵
	Сепаратор	DS1L11	2.0 · 10 ⁻⁵

К вопросу о критериях приемлемости риска эскалации аварии

Частота эскалации аварии не должна превышать 10⁻⁴ 1/год

(Regulations Relating To Design And Outfitting Of Facilities Etc. in The Petroleum Activities, (The Facilities Regulations) Petroleum Safety Authority Norway (PSA), Norwegian Pollution Control Authority (SFT), Norwegian Social and Health Directorate (NSHD)

Аварийные нагрузки, возникающие с частотой 10⁻⁴ и более не должны приводить к потере основной защитной функции

К вопросу о критериях приемлемости риска эскалации аварии

Установки должны находиться вне зон воздействия при наиболее вероятных сценариях аварии

API 752 (истечение из отверстия ~1 ")

К вопросу о критериях приемлемости риска эскалации аварии

...отсутствует научно обоснованный подход к определению того является ли значение риска эскалации приемлемым для общества или нет. В связи с этим отчеты по оценке риска должны избегать утверждений по этому вопросу...

Risk Analysis and Decision Processes: The Siting of Liquefied Energy Gas Facilities
H.C. Kunreuther, J. Linnerooth, J. Lathrop, H. Atz, S. Macgill, C. Mandl, Martin Schwarz, M. Thompson, //Berlin, New York, Tokyo

К вопросу о критериях приемлемости риска эскалации аварии



25

www.safety.ru

Любое воспроизведение только с письменного разрешения © ЗАО НТЦ ПБ

К вопросу о критериях приемлемости риска эскалации аварии

Для опасных объектов, для которых реализуется эффект домино, при авариях на соседних установках или возможна эскалация на соседние объекты, при авариях на них, следует демонстрировать, что риск на них приемлем в соответствии с принципами ALARP (Guidance on ALARP Decisions, HSE)

26

www.safety.ru

Любое воспроизведение только с письменного разрешения © ЗАО НТЦ ПБ

К вопросу о критериях приемлемости риска эскалации аварии

Объект	Приемлемый риск
Высокая плотность застройки окружающих объектов	$3 \cdot 10^{-7}$
Средняя плотность окружающей застройки	$3 \cdot 10^{-6}$
Низкая плотность окружающей застройки	$1 \cdot 10^{-5}$
Внутри ОПО	10^{-4}

College Urban Construction and Safety Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing, 210009, China

27

www.safety.ru

Любое воспроизведение только с письменного разрешения © ЗАО НТЦ ПБ

Спасибо за внимание!



**Дегтярев Денис
Владиславович**

тел./факс: 8-495-620-47-50
risk@safety.ru
www.safety.ru, www.riskprom.ru

Всегда актуальная информация в журнале Ростехнадзора



**БЕЗОПАСНОСТЬ
ТРУДА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

www.btpndzor.ru

20.11.2017

www.safety.ruwww.safety.ru