

ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Анализ опасностей и оценка риска на опасных производственных объектах

**Руководство по безопасности "Методические основы
по проведению анализа опасностей и оценки риска
аварий на опасных производственных объектах"
Приказ Ростехнадзора от 11.04.2016 г. № 144**

Основная цель анализа риска аварий:

- установление степени аварийной опасности ОПО и (или) его составных частей для заблаговременного предупреждения угроз аварий жизни и здоровью человека, имуществу и окружающей среде;
- разработка, плановая реализация и своевременная корректировка обоснованных рекомендаций по снижению риска аварий и (или) мероприятий, направленных на снижение масштаба последствий аварии и размера ущерба, нанесенного в случае аварии на ОПО;
- разработка мероприятий, компенсирующих отступления от требований федеральных норм и правил в области промышленной безопасности, при обосновании безопасности ОПО.

1. Этапы проведения анализа риска аварий

1. Планирование и организация работ, сбор сведений;
2. Идентификация опасностей;
3. Оценка риска аварии на ОПО и (или) его составных частях;
4. Установление степени опасности аварий на ОПО и (или) определение наиболее опасных (с учетом возможности возникновения и тяжести последствий аварий) составных частей ОПО;
5. Разработка (корректировка) мер по снижению риска аварий.

Этап 1. Планирование и организация работ, сбор сведений

- общее описание ОПО, анализ требований нормативных и правовых документов;
- обоснование необходимости проведения анализа риска аварий;
- анализ требований заказчика работ;
- задачи проводимого анализа риска;
- методы анализа риска;
- значения фоновых рисков;
- рабочая группа, сроки и трудозатраты.

Этап 2. Идентификация опасностей

- источники возникновения возможных инцидентов и аварий;
- разделение ОПО на составные части;
- основные (типовые) сценарии аварий;

Этап 3. Оценка риска аварии

Качественная и (или) количественная оценка:

- а) возможности возникновения и развития инцидентов и аварий;
- б) тяжести последствий и (или) ущерба от возможных инцидентов и аварий;
- в) опасности аварии и связанной с ней угрозы в значениях показателей риска.

Оценка частоты инициирующих и последующих событий

- а) статистические данные по аварийности, по надежности технических устройств и технологических систем;
- б) логико-графические методы "Анализ деревьев событий", "Анализ деревьев отказов", ...
- в) экспертные специальные знания

Частоты разгерметизации трубопроводов

Внутренний диаметр трубопровода	Частота разгерметизации, год ⁻¹ · м ⁻¹	
	Разрыв на полное сечение, истечение из двух концов трубы	Истечение через отверстие с эффективным диаметром 10% номинального диаметра трубы, но не больше 50 мм
	<u>TP1</u>	<u>TP2</u>
Менее 75 мм	1×10^{-6}	5×10^{-6}
От 75 до 150 мм	3×10^{-7}	2×10^{-6}
Более 150 мм	1×10^{-7}	5×10^{-7}

Примечания:

1. Частоты приведены для технологических трубопроводов, не подверженных интенсивной вибрации, не работающих в агрессивной среде, при отсутствии эрозии, не подверженных циклическим тепловым нагрузкам.
2. При наличии указанных факторов частота повышается в 3 - 10 раз в зависимости

Частоты разгерметизации сосудов под давлением

Тип оборудования	Частота разгерметизации, год ⁻¹ ·м ⁻¹	
	Полное разрушение, мгновенный выброс	Продолжительный выброс через отверстие диаметром 10 мм
	<u>C1</u>	<u>C2</u>
Сосуды под давлением	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$
Технологические аппараты (ректификационные колонны, конденсаторы и фильтры)	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Химические реакторы	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$

Частоты разгерметизации резервуаров
и изотермических хранилищ

Тип оборудования	Частота разгерметизации, год ⁻¹			
	Полное разрушение		Продолжительный выброс в окружающую среду через отверстие диаметром 10 мм	Продолжительный выброс в <u>межстенное</u> пространство через отверстие диаметром 10 мм
	Мгновенный выброс всего объема в окружающую среду	Мгновенный выброс всего объема в <u>межстенное</u> пространство		
<u>Одностенный резервуар <а></u>	$1 \cdot 10^{-5}$	-	$1 \cdot 10^{-4}$	-
Резервуар с внешней защитной оболочкой <б>	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	-	$1 \cdot 10^{-4}$
Резервуар с двумя оболочками <в>	$2,5 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	-	$1 \cdot 10^{-4}$

Критерии

поражения людей и разрушения технических устройств, зданий и сооружений при авариях на ОПО

Детерминированные критерии устанавливают значения поражающего фактора, при которых наблюдается тот или иной уровень поражения (разрушения).

Вероятностные критерии показывают, какова условная вероятность того или иного уровня поражения (разрушения) при заданном значении поражающего фактора.

Величина вероятности поражения выражается функцией Гаусса (функцией ошибок) через пробит-функцию:

$$P_{nop} = f[\text{Pr}(D)]$$

В общем случае пробит-функция имеет вид:

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

Связь вероятности поражения с пробит-функцией

p, %	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,38	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,86	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

1. Критерии поражения тепловым излучением

Детерминированные критерии поражения тепловым излучением

Предельно допустимая интенсивность теплового излучения

Степень поражения	Интенсивность теплового излучения, кВт/м ²
Без негативных последствий в течение длительного времени	1,4
Безопасно для человека в брезентовой одежде	4,2
Непереносимая боль через 20 - 30 с Ожог первой степени через 15 - 20 с Ожог второй степени через 30 - 40 с Воспламенение хлопка-волокна через 15 мин.	7,0
Непереносимая боль через 3 - 5 с Ожог первой степени через 6 - 8 с Ожог второй степени через 12 - 16 с	10,5
Воспламенение древесины с шероховатой поверхностью (влажность 12%) при длительности облучения 15 мин.	12,9
Воспламенение древесины, окрашенной масляной краской по строганной поверхности; воспламенение фанеры	17,0

Воздействие открытого пламени и тепловой радиации от пожара на технологическое оборудование, наружные установки

$$D_{\text{обор}} = q_{\text{об}} \cdot t$$

где $q_{\text{об}}$ - величина теплового потока на единицу площади, кВт/м²;
 t - длительность теплового воздействия, с.

Значения $D_{пор}$ и $D_{гиб}$ для оборудования разных классов чувствительности к воздействию тепловой радиации

Класс чувствительности оборудования	Тип оборудования	$D_{пор}$, кВт·с/м ²	$D_{гиб}$, кВт·с/м ²
I (высоко-чувствительное)	Расположенное вне укрытий сложное технологическое оборудование	3300	10000
II (средней чувствительности)	Оборудование в <u>блок-контейнерах</u> или индивидуальных укрытиях. Незащищенные крановые узлы, средства электрохимической защиты, контрольные пункты телемеханики, опоры ЛЭП и другое незащищенное технологическое оборудование с фланцевыми соединениями с чувствительными к нагреву материалами-уплотнителями	8300	25000
III (слабо-чувствительное)	Наземные трубопроводы, крановые узлы в защитном укрытии	35000	45000

Вероятностные критерии поражения тепловым излучением

Для поражения человека тепловым излучением величина пробит-функции описывается следующими выражениями:

$$Pr = -12,8 + 2,56 \ln (D) \quad D = t \cdot q^{4/3}$$

Величина эффективного времени экспозиции t

а) для огненного шара: $t = 0,92 \cdot m^{0,303}$

б) для пожара пролива или для факела:

$$t = t_0 + \frac{x_0}{u_{\text{ср}}}$$

Критерии поражения ударной волной

Детерминированные критерии поражения ударной волной

Критерии разрушения типовых промышленных зданий от избыточного давления

Степень поражения	Избыточное давление, кПа
Полное разрушение зданий	Более 100
Тяжелые повреждения, здание подлежит сносу	70
Средние повреждения зданий, возможно восстановление здания	28
Разрушение оконных проемов, легкобрасываемых конструкций	14
Частичное разрушение остекления	Менее 2

Данные о степени разрушения производственных, административных зданий и сооружений, имеющих разную устойчивость

Тип зданий, сооружений	Разрушение при избыточном давлении на фронте ударной волны, кПа			
	Слабое	Среднее	Сильное	Полное
Промышленные здания с тяжелым металлическим или железобетонным каркасом	20 - 30	30 - 40	40 - 50	> 50
Промышленные здания с легким каркасом и бескаркасной конструкции	10 - 20	25 - 35	35 - 45	> 45
Складские кирпичные здания	10 - 20	20 - 30	30 - 40	> 40
Одноэтажные складские помещения с металлическим каркасом и стеновым заполнением из листового металла	5 - 7	7 - 10	10 - 15	> 15
Бетонные и железобетонные здания и антисейсмические конструкции	25 - 35	80 - 120	150 - 200	> 200
Здания железобетонные монолитные повышенной этажности	25 - 45	45 - 105	105 - 170	170 - 215
Котельные, регуляторные станции в кирпичных зданиях	10 - 15	15 - 25	25 - 35	35 - 45

Зависимость условной вероятности поражения человека с разной степенью тяжести от степени разрушения здания

Тяжесть поражения	Степень разрушения			
	Полное	Сильное	Среднее	Слабое
Смертельное	0,6	0,49	0,09	0
Тяжелые травмы	0,37	0,34	0,1	0
Легкие травмы	0,03	0,17	0,2	0,05

Вероятностные критерии поражения ударной волной

а) вероятность повреждений стен промышленных зданий,

при которых возможно восстановление зданий без их сноса:

$$Pr_1 = 5 - 0,26 \cdot \ln V_1$$

$$V_1 = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I} \right)^{9,3}$$

где ΔP - избыточное давление, Па;

I - импульс, кг·м/с;

в) вероятность длительной потери управляемости у людей, попавших в зону действия ударной волны

$$Pr_3 = 5 - 5,74 \cdot \ln V_3$$

Критерии токсического поражения

$$Pr = a + b \ln(C^n \cdot T)$$

где C - концентрация токсичного вещества, ppm;
 T - время воздействия, мин.

Свойства опасных веществ

Вещество	Пороговая токсодоза PCt_{50} , мг·мин./л	Смертельная токсодоза LCt_{50} , мг·мин./л	Коэффициенты при расчете пробит-функции		
			a	b	n
Аммиак	15,00	150,0	-35,90	1,850	2,00
Фтористый водород	4,00	40,0	-35,87	3,354	1,00
Хлористый водород	2,00	20,0	-16,85	2,000	1,00
Бромистый водород	2,40	24,0	-18,32	2,000	1,00
Цианистый водород	0,20	6,0	-9,56	1,000	2,40
Сероводород	1,00	15,0	-31,42	3,008	1,43
Сероуглерод	30,00	500,0	-46,62	4,200	1,00
Формальдегид	0,60	6,0	-12,24	1,300	2,00

Критерии повреждения ударной волной различных
категорий оборудования

Категория оборудования	Пороговое воздействие, кПа	Коэффициенты пробит-функции	
		<u>a</u>	<u>B</u>
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

Критерии повреждения тепловым излучением различных категорий оборудования

Категория оборудования	Пороговое воздействие	Пробит-функции
Резервуары	15 кВт/м^2 $t \geq 10 \text{ мин.}$	$Pr = 12,54 - 1,847 \cdot \ln(ttf)$ $\ln(ttf) = -1,128 \cdot \ln(I) - 2,667 \cdot 10^{-5} \cdot V + 9,887$
Сосуды под давлением	50 кВт/м^2 $t \geq 10 \text{ мин.}$	$Pr = 12,54 - 1,847 \cdot \ln(ttf)$ $\ln(ttf) = -0,947 \cdot \ln(I) + 8,835 \cdot V^{0,032}$
<p>t_{tf} - время до разрушения, с.</p> <p>V - объем сосуда, м³.</p> <p>I - полученное количество теплового излучения, кВт/м².</p>		

Этап 4. Установление степени опасности аварий на ОПО и (или) определение наиболее аварийноопасных составляющих ОПО

Пример ранжирования участков линейного ОПО по интервалу изменения рассчитанного характерного показателя риска $\{R_{\min}, R_{\max}\}$

Сравнительная степень опасности аварии	Значение рассчитанного показателя риска R
Малая	Менее $R_{\min} + 0,3 \cdot (R_{\max} - R_{\min})$
Средняя	$R_{\min} + (0,3 \div 0,8) \cdot (R_{\max} - R_{\min})$
Высокая	$R_{\min} + (0,8 \div 0,97) \cdot (R_{\max} - R_{\min})$
Чрезвычайно высокая	Более $R_{\min} + 0,97 \cdot (R_{\max} - R_{\min})$

**Пример ранжирования участков линейного ОПО
по сравнению со среднеотраслевым фоновым риском аварии
за последние 5 лет ($R_{5\text{лет}}$)**

Сравнительная степень опасности аварии на участке линейного ОПО	Значение рассчитанного показателя риска R
Малая	Менее $0,5 \cdot R_{5\text{лет}}$
Средняя	$(0,5 - 5,0) \cdot R_{5\text{лет}}$
Высокая	$(5 - 50) \cdot R_{5\text{лет}}$
Чрезвычайно высокая	Более $50 \cdot R_{5\text{лет}}$

Пример категорирования ОПО по уровню риска аварии

Категория опасности ОПО по уровню риска аварии	Наименование показателя и значения критериев аварийной опасности производственных объектов по уровню риска аварии								
	1) наличие третьих лиц в зонах смертельного поражения при наиболее опасном по последствиям сценарию аварии (НОА)	2) количество человек, у которых могут быть нарушены условия жизнедеятельности при НОА, чел.	3) возможное число погибших при НОА, чел.	4) условная вероятность эскалации аварии	5) кратность превышения индивидуального риска гибели персонала от аварий по сравнению среднеотраслевым уровнем	6) условная вероятность гибели при аварии более 10 человек из числа третьих лиц	7) возможный аварийный разлив нефти и нефтепродуктов, т.		8) возможный материальный ущерб при НОА, млн. руб.
							на местности и во внутренних пресноводных водоемах	в море	
Чрезвычайно высокий риск аварии	Населенные пункты или места массового скопления людей	Более 1500	Более 50	Более 0,5	Более 10	Более 0,1	Более 1000	Более 5000	Более 500
Высокий риск аварии	Транспортные магистрали	От 300 до 1500	От 10 до 50	0,2 - 0,5	1 - 10	0,01 - 0,1	500 - 1000	1000 - 5000	50 - 500
Средний риск аварии	Постоянно находятся третьи лица	От 75 до 300	От 5 до 10	0,05 - 0,2	0,1 - 1	0,001 - 0,01	100 - 500	500 - 1000	10 - 50
Малый риск аварии	Эпизодически находятся третьи лица	До 75	До 5	Менее 0,05	Менее 0,1	Менее 0,001	До 100	До 500	Менее 10

Этап 5. Разработка рекомендаций по снижению риска аварии на ОПО

- обоснованные рекомендации по снижению риска аварии для наиболее опасных составных частей ОПО;
- способы предупреждения возникновения возможных инцидентов и аварий на ОПО.

Приоритеты:

а) меры, снижающие возможность возникновения аварии, включающие:

- уменьшение возможности возникновения инцидентов;
- уменьшение вероятности перерастания инцидента в аварию;

б) меры, снижающие тяжесть последствий возможных аварий, включающие:

- уменьшение вероятности эскалации аварий, когда последствия какой-либо аварии становятся непосредственной причиной аварии на соседних составных частях ОПО;

- уменьшение вероятности нахождения групп людей в зонах поражающих факторов аварий;

- ограничение возможности возрастания масштаба и интенсивности воздействия поражающих факторов аварии;

- уменьшение вероятности развития аварии по наиболее опасным сценариям возможной аварии;

- увеличение требуемого уровня надежности системы противоаварийной защиты, средств активной и пассивной защиты от воздействия поражающих факторов аварии;

в) меры обеспечения готовности к локализации и ликвидации последствий аварий.

Основные показатели риска

индивидуальный риск $R_{\text{инд}}$,

потенциальный риск $R_{\text{пот}}$,

коллективный риск $R_{\text{колл}}$,

социальный риск $\underline{F(x)}$,

частота реализации аварии с гибелью
не менее одного человека R_1 .