

Количественный анализ риска при обосновании взрывоустойчивости зданий и сооружений



Д.В. Дегтярев,
науч. сотрудник



М.В. Лисанов,
д-р техн. наук, директор
центра анализа риска



С.И. Сумской,
канд. техн. наук, ст.
преподаватель



А.А. Швыряев,
канд. хим. наук, вед.
науч. сотрудник

ЗАО НТЦ ПБ

НИЯУ МИФИ

МГУ им. М.В. Ломоносова

Представлена методология количественной оценки риска взрыва, предназначенная для обоснования устойчивости зданий и сооружений к ударной волне. Изложен алгоритм расчета зон разрушения, частоты разрушения зданий, сооружений и других показателей риска при внешних взрывах облаков топливно-воздушных смесей, образующихся при авариях на опасных производственных объектах. Приведены примеры расчетов и критериев взрывоустойчивости для химических и нефтегазовых объектов, на которых обращаются сжиженные углеводородные газы.

The Methodology is Presented of Explosion Quantitative Risk Assessment used for Substantiation of Buildings and Structures Resistance to Blast Wave. The Article Presents the Computation Algorithm of Destruction Zones, frequency of Destruction of Buildings, Structures and Other Risk Indices at External Explosions of Fuel-Air Mixture Clouds formed in Case of Accidents at Hazardous Production Facilities. The Examples are Given of Explosion-Resistance Calculations and Criteria for Chemical and Petrochemical Facilities where Liquefied Petroleum Gasses are Circulating.

Ключевые слова: авария, взрыв, риск, взрывоустойчивость, ударная волна, давление.

Изменения федерального законодательства в области промышленной безопасности [1] создают условия для более широкого использования методологии анализа риска для обоснования промышленной безопасности.

Одна из актуальных проблем обоснования безопасности — выполнение требований по взрывоустойчивости и взрывным нагрузкам на здания и сооружения, изложенных в статьях 11, 16, 30 Технического регламента о безопасности зданий и сооружений [2], нормативных документах и стандартах предприятий [3–8]. Так, п. 10.4 правил [4] содержит требования об устойчивости к ударной волне зданий, в которых расположены помещения управления (операторные), средства обеспечения функционирования систем контроля, управления (контроллерные), а также административных и непромышленных зданий, в которых предусмотрено постоянное пребывание людей.

Взрывоустойчивость зданий, сооружений, устройств или иных материальных объектов (далее — здания) характеризуется предельным давлени-

ем во фронте ударной волны (УВ) $P_{пр}$, которое могут воспринять конструкции здания без потери ими несущей способности или пригодности к дальнейшей эксплуатации [6, 7]. Взрывоустойчивость здания по критерию максимально возможной взрывной нагрузки при внешнем взрыве обеспечивается, если выполняется условие

$$P_{пр k} > \max(\Delta P_{\phi n}), \quad (1)$$

где $P_{пр k}$ — предельное (проектное) давление во фронте ударной волны, на которое рассчитано k -е здание ($k = 1, 2, \dots$); $\Delta P_{\phi n}$ — давление во фронте падающей на здание ударной волны; n — номер сценария ($n = 1, 2, \dots, N$); N — число сценариев со взрывом.

Расчеты зон поражения следует проводить по одной из двух методик [4]:

1) методика оценки зон поражения, основанная на «тротиловом эквиваленте» взрыва топливно-воздушных смесей (ТВС);

2) методика, учитывающая тип взрывного превращения (детонация, дефлаграция) при воспламенении ТВС.

Первая методика дает ориентировочную массу вещества, участвующего во взрыве, без учета дрейфа облака ТВС. Для более точных расчетов зон поражения (разрушения) рекомендуется использовать соотношения на основе РД 03-26—2007 [9] — расчет рассеяния и дрейфа облаков ТВС — и РД 03-409—01 [10] — расчет параметров УВ и зон разрушения.

Недостатки методического подхода к обоснованию взрывоустойчивости зданий на основе расчета максимально возможной взрывной нагрузки (или максимальных зон разрушения) неоднократно отмечались специалистами, в том числе на совещаниях в Ростехнадзоре, а также в ряде публикаций (например, в работе [11]). Данный детерминированный подход не учитывает современный опыт обеспечения надежности технологических систем и предупреждения аварий, приводит к увеличению размеров производственной площадки, протяженности трубопроводов, коммуникаций, а также к дополнительным факторам риска и необоснованным затратам, особенно для объектов, содержащих сжиженные углеводородные газы.

В целях использования методологии количественной оценки риска для обоснования взрывоустойчивости в правилах [4] приведены единые соотношения для оценки потенциального риска нанесения ущерба (т.е. гибели человека или разрушения здания при соответствующих критериях) в определенной точке территории. Процедура обоснования взрывоустойчивости, основанная на количественной оценке риска, — более сложная. Она учитывает:

вероятность и последствия всех возможных сценариев выброса опасных (горючих) веществ (ОВ), приводящих к взрыву и воздействию избыточного давления УВ на здания;

тип зданий (устойчивость к УВ);

допустимую частоту $R_{доп}$ воздействия взрыва, приводящего к нарушению устойчивости (повреждения, разрушения) здания.

Критерий взрывоустойчивости здания — выполнение условия

$$R_{pk} < R_{доп}, \quad (2)$$

где R_{pk} — частота разрушения k -го здания, т.е. выполнение условия $R_{pk} < \Delta P_{fn}$ для всех сценариев с учетом их вероятности.

Основываясь на зарубежной практике нормирования риска разрушения [12–14], предлагается принять $R_{доп} = 1 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹, что согласуется с установленным в российском законодательстве критерием пожарного риска для персонала производственного объекта [15].

Реализация вероятностного подхода связана с рядом общеизвестных трудностей, в том числе с трудоемкостью расчетов. При оценке риска число сценариев может превышать десятки и даже сотни тысяч, в то время как при традиционном подходе

расчеты для единичной емкости, как правило, ограничиваются одним-двумя сценариями.

В настоящей статье в целях практической реализации новых положений, предусмотренных документами [1, 4], изложена методология обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений, основанная на использовании российских методических документов [9, 10] и работ [11, 16–22]. Методические принципы заключаются в моделировании аварийного истечения и распространения опасных веществ при всех возможных сценариях аварийной разгерметизации оборудования и воспламенения облаков ТВС; расчете зон разрушения при воздействии УВ при аварийных взрывах ТВС; расчете показателей риска взрыва ТВС, включающих оценку частоты превышения заданного давления во фронте падающей УВ для каждого здания, сооружения на территории размещения ОПО; использовании критериев допустимого риска разрушения зданий с учетом их типа (конструктивного исполнения). Основные показатели взрывоопасности и риска, используемые для обоснования взрывоустойчивости, представлены в табл. 1. Выбор показателей риска определяется целями и задачами оценки риска.

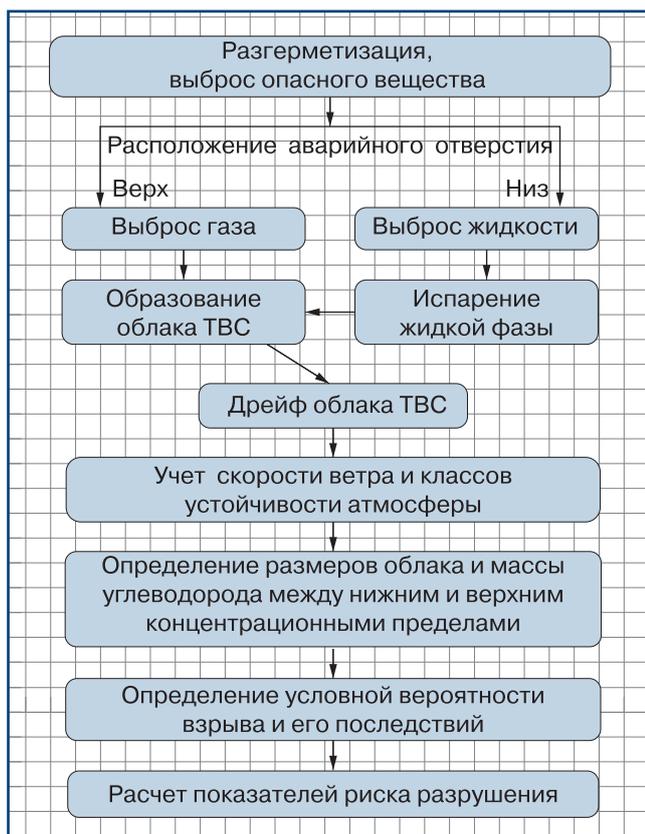
Общая схема анализа риска разрушения зданий при взрывах ТВС представлена на рис. 1. Ниже представлены основные соотношения для расчета показателей риска взрыва.

Условные вероятности $P(C_n | A)$ реализации сценариев C_n аварии с возгоранием и дрейфом облаков ТВС на рассматриваемом объекте следует рассчитывать по формуле

$$P(C_n | A) = P(G_s | A) P(U_{\psi\phi}) P(Se_v) \times P(KY | U_{\psi\phi} Se_v) P_{деф} P(I | A), \quad (3)$$

где $P(G_s | A)$ — относительная частота реализации утечки продукта интенсивностью G_s , находящейся в s -м из возможных диапазонов интенсивности истечения и зависящей от давления и размера отверстия разгерметизации (A — авария); $P(U_{\psi\phi})$ — относительная частота повторяемости в году скорости ветра $U_{\psi\phi}$ в ψ -м диапазоне скоростей и ϕ -м географическом направлении (общее количество и размеры диапазонов скорости ветра, а также число учитываемых направлений ветра (румбов) задаются пользователем); $P(Se_v)$ — относительная частота реализуемости сезона Se_v , в течение года $P(Se_v) = 1$; $P(KY | U_{\psi\phi} Se_v)$ — относительная частота реализуемости данного класса устойчивости (КУ) атмосферы по Паскуиллу при скорости ветра в s -м диапазоне в v -й сезон Se_v ; $P_{деф}$ — условная вероятность сгорания с образованием избыточного давления при последующем воспламенении, $P_{деф} = f_{п.в} f_{дефл}$; $f_{п.в}$ — условная вероятность отложенного воспламенения; $f_{дефл}$ — условная вероятность возникновения режима энерговыделения с образованием волн избыточного давления; $P(I | A)$ — условная вероятность зажигания облака (И) от источников зажигания, находящихся в пре-

Показатели	Характеристика
ΔP_{ϕ} — избыточное давление во фронте падающей ударной волны, Па	Параметр, определяющий воздействие (нагрузку) на здание
R — радиус зоны разрушения в результате воздействия ударной волны с избыточным давлением во фронте ΔP_{ϕ} , м	Радиус отсчитывается от центра облака ТВС в момент его инициирования (зажигания). При отсутствии данных принимают, что точка зажигания размещена в центре облака с максимальной массой горючего во взрывоопасных пределах [11, 16]
L — максимальное расстояние дрейфа облака ТВС, м	Максимальное расстояние от точки выброса ОБ, на котором достигаются концентрации ТВС, при которых возможно воспламенение облака ТВС. При расчетах L определяется границей достижения нижнего концентрационного предела воспламенения $C_{\text{НКПВ}}$
R_L — максимальная дальность действия УВ, м	Максимальное расстояние от источника выброса, на котором достигается разрушение при определенном ΔP_{ϕ} в результате взрыва облака ТВС, с учетом его дрейфа [16]
λ_A — частота аварии с выбросом опасного вещества, год ⁻¹	Включает сумму всех частот возможных случаев выброса опасных (горючих) веществ. Зависит от вида и количества оборудования на объекте
λ_{C_n} — частота развития аварии по сценарию C_n с возникновением взрыва, год ⁻¹	Определяется частотой воспламенения облака ТВС, в том числе пожара-вспышки. При расчете λ_{C_n} не учитываются частоты пожара пролива, огненного шара, струевого горения и аварий без воспламенения
$R_{p \Delta P_{\phi}}(x, y)$ — потенциальный риск разрушения здания, находящегося на территории объекта с координатами (x, y) при воздействии на него УВ с избыточным давлением ΔP_{ϕ} [4], год ⁻¹	Частота превышения заданного избыточного давления ΔP_{ϕ} в рассматриваемой точке территории с координатами (x, y)
R_{pk} — частота разрушения определенного k -го здания при воздействии взрыва, год ⁻¹	Частота разрушения (повреждения) k -го здания с учетом типа рассматриваемого здания и $P_{\text{пр } k}$



▲ Рис. 1. Схема проведения анализа риска разрушения зданий при взрывах ТВС

делах облака ТВС, ограниченного изолинией концентрации паров $C = C_{\text{ВКПВ}}$ и $C = C_{\text{НКПВ}}$, достигшего максимально возможного размера при заданных интенсивности истечения, метеопараметрах, сезоне.

Частоту сценария C_n при разгерметизации выбранной единицы оборудования определяют по формуле

$$\lambda_{C_n} = P(C_n | A) \lambda_A. \quad (4)$$

Относительную частоту $P(U_{\psi\phi})$ следует определять на основе статистических данных по повторяемости характерных скоростей ветра с учетом их географических направлений в течение года в районе расположения объекта как относительную частоту реализации ветров, попадающих в заданные диапазоны скоростей и направлений. Скорость ветра $U_{\psi\phi}$ ($\psi = 1, \dots, \Psi$; Ψ — общее число рассматриваемых скоростей ветра) реализуется по румбу ϕ ($\phi = 1, \dots, \Phi$; Φ — общее число румбов розы ветров, географических направлений) в течение года с $P(U_{\psi\phi}) < 1$. Как правило, $\Phi = 4; 8$ или 16 с угловым сектором соответственно $90; 45$ или $22,5^\circ$.

Относительную частоту $P(KY | U_{\psi\phi}, Se_v)$ следует определять на основе статистических данных по повторяемости характерных состояний атмосферы (классы устойчивости атмосферы А, В, С, D, E, F по Паскуиллу) в зависимости от скорости ветра и времени года (сезона).

При определении риска разрушения зданий следует для каждой точки территории найти частоту реализации сценариев со взрывом $R_{p, \Delta P_\phi}(x, y)$ при превышении заданного давления во фронте ударной волны $\Delta P_\phi(x, y) = \Delta P_\phi$ по формуле

$$R_{p, \Delta P_\phi}(x, y) = \sum_n \lambda_{C_n} \cdot P[\Delta P_\phi(x, y) \geq \Delta P_\phi | C_n], \quad (5)$$

где $P[\Delta P_\phi(x, y) \geq \Delta P_\phi | C_n]$ — вероятность превышения в точке с координатами (x, y) давления ΔP_ϕ во фронте ударной волны при реализации сценария C_n .

Суммирование осуществляется по всем сценариям C_n .

Далее для точек (x_j, y_j) территории, в которых расположены здания и сооружения, испытывающие взрывные нагрузки строят зависимости частоты реализации избыточного давления ΔP_ϕ взрыва от ΔP_ϕ :

$$F_{x_j, y_j}(\Delta P_\phi) = R_{p, \Delta P_\phi}(x_j, y_j). \quad (6)$$

Тогда риск разрушения k -го здания, расположенного в точке территории с координатами (x_k, y_k) , при условии, что его конструкции устойчивы ко взрыву с давлением во фронте ударной волны до $P_{п.к}$:

$$R_{п.к} = F_{x_k, y_k}(P_{п.к}). \quad (7)$$

Изложенная методология была применена при обосновании взрывоустойчивости зданий при внешних взрывах на типичных установках производства полиэтилена в условиях повышенной плотности размещения сооружений и оборудования.

В качестве примера приведем некоторые результаты оценки риска взрыва на колонне установки деганизации.

В результате катастрофического разрушения (сценарий $C_{п.р}$) без мгновенного загорания практически все содержимое парогазовой фазы (ПГФ) колонны

переходит в облако ТВС. При этом согласно термодинамическим расчетам [7] температура в облаке ПГФ за счет адиабатического процесса расширения уменьшается с 42 до 7,46 °С, масса ПГФ составляет 24,5 т. Жидкая фаза (ЖФ) интенсивно вскипает (в нормальном технологическом режиме масса 76,85 т при температуре 95 °С). В ПГФ переходит 71,8 % углеводородов. Состав ПГФ меняется, поскольку в пар переходят наиболее низкокипящие углеводороды (табл. 2).

Таблица 2

Компонент	Мольная доля	
	ПГФ	ЖФ
C_2H_6	$6,300 \cdot 10^{-3}$	$4,186 \cdot 10^{-4}$
C_3H_8	$5,305 \cdot 10^{-1}$	$1,600 \cdot 10^{-1}$
$n-C_4H_{10}$	$3,916 \cdot 10^{-1}$	$5,196 \cdot 10^{-1}$
$n-C_5H_{12}$	$7,156 \cdot 10^{-2}$	$3,200 \cdot 10^{-1}$

Примечание. Температура ПГФ – 11 °С; масса 55,18 т.

При расчете массы выброса полагали, что аварийное реагирование на разрушение колонны (т.е. сброс потоков на факел, который приводит к прекращению межаппаратных перетоков [10]) происходит через 12 с. В расчетах температуру облака ТВС консервативно принимали по наименьшей температуре ПГФ, т.е. в данном случае температура облака составляла – 11 °С.

При частичном разрушении происходит утечка пара или жидкости из колонны через локальные отверстия разгерметизации. В табл. 3 даны скорость утечки, условная вероятность реализации взрывного горения, исключая пожар-вспышку [5]. Из нее видно, что во взрывные процессы вклад малых утечек (сценарии C_1, C_2, C_3) невелик (21 %), хотя они составляют до 80 % всех случаев утечек. Это

Таблица 3

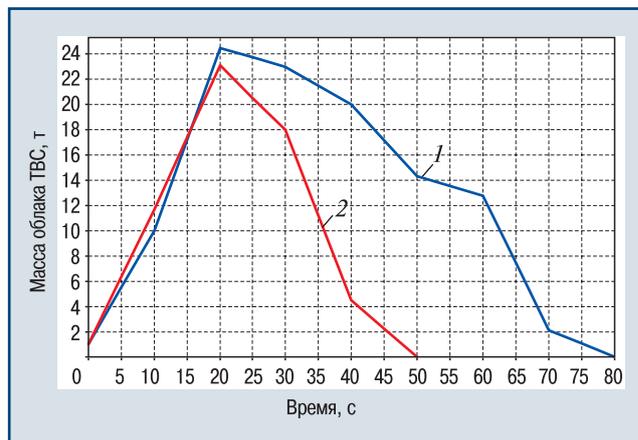
Сценарий	Диаметр отверстия истечения, мм	Частота разгерметизации λ_{C_n} , год ⁻¹	Скорость истечения, кг/с	$f_{п.в}$	$f_{дефл}$	Частота реализации взрыва $\lambda_{C_n} P_{деф}$, год ⁻¹
Утечка вверху колонны (паровая фаза)						
C_1	5,0	$2,00 \cdot 10^{-5}$	0,04	0,005	0,080	$8,00 \cdot 10^{-9}$
C_2	12,5	$0,50 \cdot 10^{-5}$	0,28	0,005	0,080	$2,00 \cdot 10^{-9}$
C_3	25,0	$3,10 \cdot 10^{-6}$	1,10	0,036	0,240	$2,68 \cdot 10^{-8}$
C_4	50,0	$1,90 \cdot 10^{-6}$	4,40	0,036	0,240	$1,64 \cdot 10^{-8}$
C_5	100,0	$0,85 \cdot 10^{-6}$	17,60	0,036	0,240	$7,34 \cdot 10^{-9}$
Утечка внизу колонны (жидкая фаза)						
C_1	5,0	$2,00 \cdot 10^{-5}$	0,50	0,005	0,080	$8,00 \cdot 10^{-9}$
C_2	12,5	$0,50 \cdot 10^{-5}$	2,70	0,036	0,240	$4,32 \cdot 10^{-8}$
C_3	25,0	$3,10 \cdot 10^{-6}$	10,90	0,036	0,240	$2,68 \cdot 10^{-8}$
C_4	50,0	$1,90 \cdot 10^{-6}$	43,80	0,036	0,240	$1,64 \cdot 10^{-8}$
C_5	100,0	$0,85 \cdot 10^{-6}$	175,00	0,176	0,600	$8,98 \cdot 10^{-8}$
Полное разрушение						
$C_{п.р}^1$	—	$3,00 \cdot 10^{-7}$	—	0,240	0,600	$4,32 \cdot 10^{-8}$

¹ Масса выброшенного пара 84,9 т.

указывает на то, что наибольший вклад в риск разрушения зданий в основном вносят большие утечки (сценарии C_4 , C_5) и сценарии с полным разрушением колонны ($C_{п.р}$).

Для сценария $C_{п.р}$ масштабы дрейфа облака ТВС определяли для первичного облака. С помощью программы ТОКСИ+Risk [23] рассчитывали при дрейфе массу облака ТВС, способную к взрывному превращению (рис. 2). Следует отметить, что облако максимальной массы, способной к взрывному превращению, образуется в первую минуту дрейфа, позже его масса уменьшается. При этом стабильность атмосферы и скорость ветра влияют в основном на смещение центра облака ТВС от эпицентра аварии, за распространение облака ТВС в начальные моменты времени отвечают процессы его гравитационного растекания [9].

Результаты оценки сценариев дрейфа облака ТВС и последствий его взрыва в дефлаграционном режиме представлены в табл. 4, где приводятся так-



▲ Рис. 2. Изменение массы облака между $C_{ВКПВ}$ и $C_{НКПВ}$ при дрейфе в условиях изотермии (класс устойчивости атмосферы D) со скоростью ветра 2 м/с (1) и 5 м/с (2)

же характеристики последствий разрушения зданий и сооружений.

Таблица 4

КУ	U, м/с	L _{п.в} , м	L, м	M, кг	X _{см} , м	Радиус зоны разрушения R, м, при ΔP _ф , кПа					
						100	53	28	12	3	20
Сценарий C_{п.р} (мгновенный выброс 84,9 т смеси углеводородов (см. табл. 2) с температурой –11 °С)											
F	1	284	439	27 500	78	158	221	321	573	2620	398
F	5	41	485	25 900	222	155	216	314	562	2568	390
F	10	24	593	20 000	285	142	198	288	515	2356	358
E	1	238	386	27 100	74	157	220	319	570	2607	396
E	5	38	400	25 400	181	154	215	312	558	2551	388
E	10	24	483	20 400	230	143	200	290	519	2371	360
C	1	206	344	26 300	69	155	217	316	565	2581	392
B	1	177	288	25 500	56	154	215	313	559	2555	388
A	1	131	210	24 800	40	152	213	310	554	2531	385
Сценарий C₅ с утечкой внизу колонны (скорость выброса 175 кг/с, температура –11 °С)											
F	1	0	201	18 069	101	137	192	279	498	2277	346
F	2	0	162	7634	81	103	144	209	374	1709	260
F	5	0	113	2022	57	66	92	134	240	1097	167
F	10	0	88	733	44	47	66	96	171	783	119
E	1	0	136	9895	68	112	157	228	408	1863	283
E	2	0	105	3700	53	81	113	164	294	1342	204
E	5	0	75	955	38	51	72	105	187	855	130
E	10	0	62	376	31	38	53	77	137	626	95
D	1	0	126	7446	63	102	143	207	371	1695	258
D	2	0	97	2742	49	73	102	149	266	1215	185
D	5	0	71	734	36	47	66	96	171	783	119
D	10	0	61	302	31	35	49	71	127	582	88
A	1	0	29	1356	15	58	81	118	210	961	146
A	2	0	24	529	12	42	59	86	154	702	107
A	5	0	20	182	10	30	41	60	108	492	75
A	10	0	19	86	10	23	32	47	84	383	58

Примечание. $L_{п.в}$ — расстояние дрейфа облака против ветра с концентрацией $C_{НКПВ}$; $X_{см}$ — расстояние смещения центра облака ТВС от источника выброса, $X_{см} = (L - L_{п.в})/2$; M — масса облака ТВС в пределах воспламенения (между $C_{ВКПВ}$ и $C_{НКПВ}$).

Характеристики последствий рассчитывали из консервативных предположений, что пространство сильно загромождено и облако ТВС образовано на поверхности земли [10].

Согласно расчетам для сценариев утечек из аварийных отверстий при увеличении скорости ветра время достижения максимальной массы для взрыва уменьшается (см. рис. 2), как и масса. Класс устойчивости атмосферы также оказывает существенное влияние на массу облака ТВС. При переходе от инверсии к конвекции (от класса F к A) масса облака ТВС уменьшается на порядок и более (при одинаковой скорости ветра).

Максимальная дальность действия УВ определяется соотношением

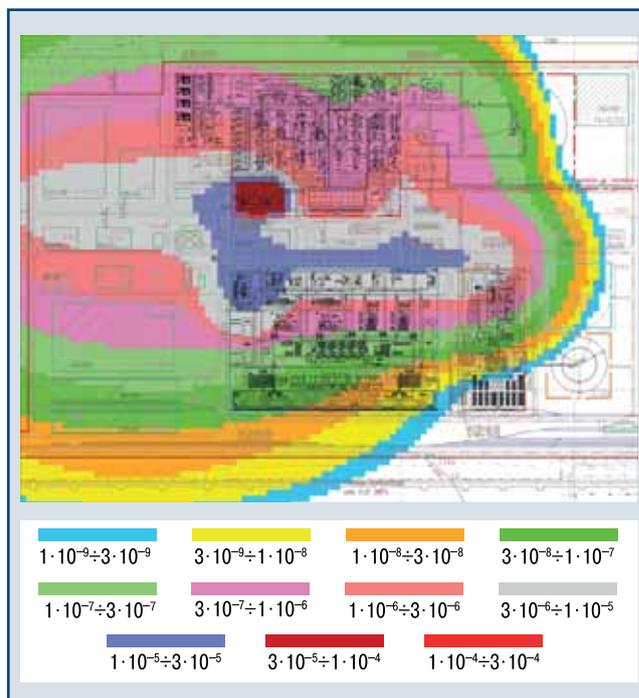
$$R_L = R + X_{см}. \quad (8)$$

Следует отметить, что при полном разрушении колонны, классе устойчивости атмосферы F и скорости ветра 1 м/с для границ зоны разрушения 28 и 12 кПа R_L составляет соответственно 682 и 934 м.

На рис. 3 представлено территориальное распределение потенциального риска разрушения зданий $R_{р, \Delta P_\phi}(x, y)$ (частота превышения заданного ΔP_ϕ) для различных точек территории при авариях на опасном оборудовании площадки дезтанизатора.

Суммирование полей риска с учетом частоты аварий на всех установках и трубопроводах объекта представлено на рис. 4.

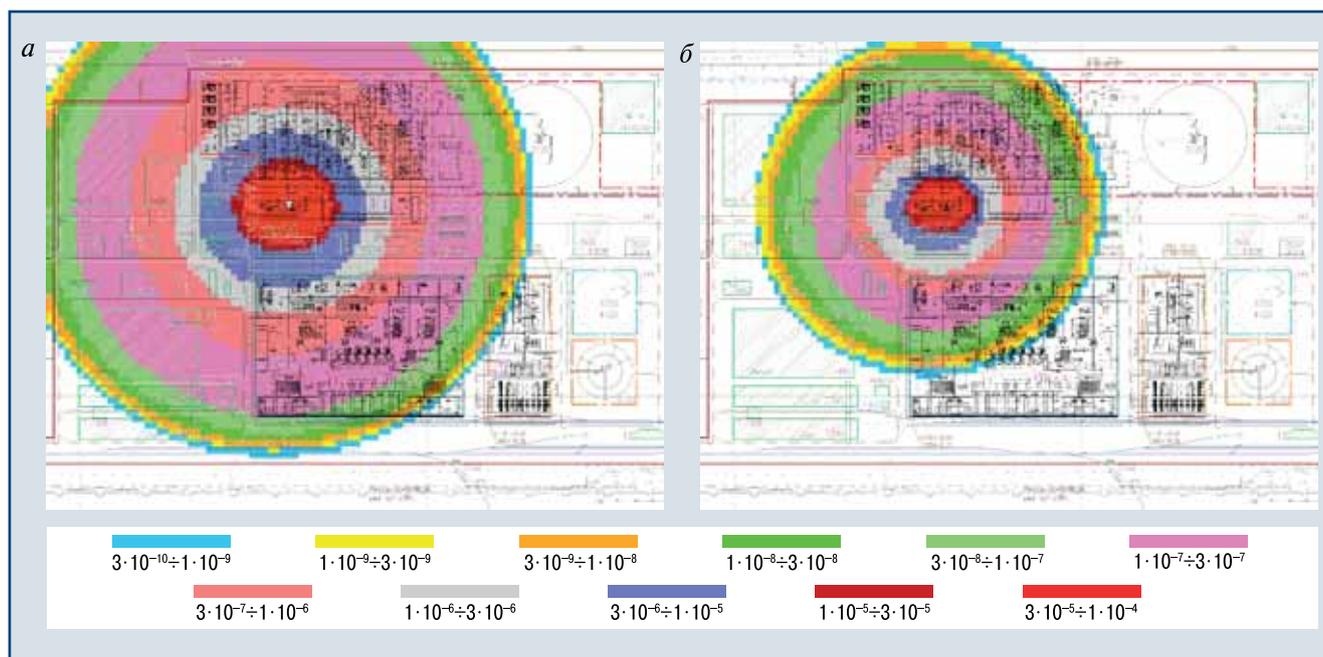
Учитывая, что условная частота гибели человека в разрушенном здании оценивается не более 0,6 [3, 6, 7, 11], и принимая во внимание долю присутствия людей с учетом сменности, получим индивидуальный риск гибели оператора не более $4 \cdot 10^{-7}$ год⁻¹.



▲ Рис. 4. Территориальное распределение потенциального риска разрушения зданий при $\Delta P_\phi = 28$ кПа при авариях на всех установках и трубопроводах со взрывом облака ТВС

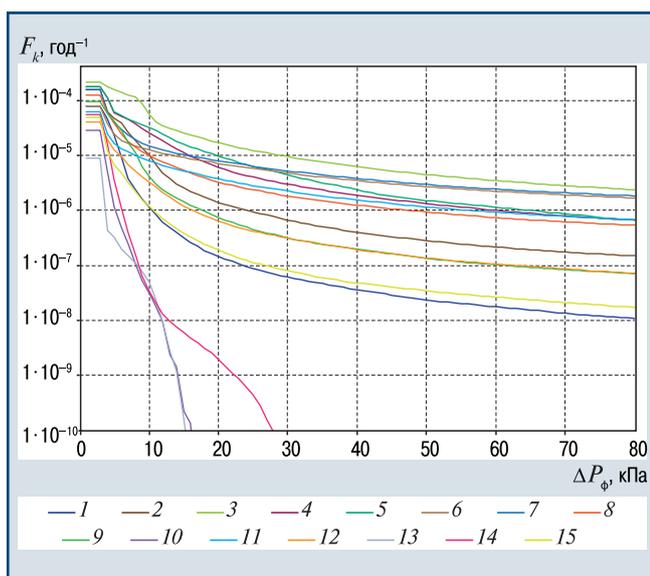
Результаты оценки показателей риска разрушения различных зданий с учетом их удаленности от источников аварии и проектного давления $P_{пр}$ представлены в табл. 5 и на рис. 5.

Из результатов расчетов видно, что для всех зданий частота превышения расчетного проектного давления $P_{пр}$ ниже $1 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹, что указывает на обоснован-



▲ Рис. 3. Территориальное распределение потенциального риска разрушения зданий при $\Delta P_\phi = 12$ кПа (а) и $\Delta P_\phi = 28$ кПа (б) при авариях на дезтанизаторе со взрывом облака ТВС

Наименование (назначение) здания	ΔP_{ϕ} , рассчитанное по «тротиловому эквиваленту» [3], кПа	P_{np} , кПа	R_{pk} , год ⁻¹
1. Здание управления с контейнерной площадкой	23	5	$1,36 \cdot 10^{-5}$
2. Склад реагентов	25	5	$3,14 \cdot 10^{-5}$
3. Операторная	44	45	$5,11 \cdot 10^{-6}$
4. Лаборатория	25	10	$1,95 \cdot 10^{-5}$
5. Склад арбитражных проб	25	10	$1,77 \cdot 10^{-5}$
6. Административное здание с автостоянкой	22	5	$2,39 \cdot 10^{-5}$
7. Здание бытовок	25	5	$3,52 \cdot 10^{-5}$
8. Гараж	24	5	$3,12 \cdot 10^{-5}$
9. Ремонтно-механическая мастерская	25	5	$2,54 \cdot 10^{-5}$
10. Пункт подготовки вагонов	14	5	$5,90 \cdot 10^{-7}$
11. КПП № 1 — центральная проходная с автостоянкой	20	5	$1,59 \cdot 10^{-5}$
12. КПП № 2 для автотранспорта с автостоянкой	20	5	$1,15 \cdot 10^{-5}$
13. КПП № 3 для автотранспорта с автостоянкой	20	5	0
14. КПП № 4 для железнодорожного транспорта с автостоянкой	20	5	$3,03 \cdot 10^{-6}$
15. КПП № 5	18	5	$6,79 \cdot 10^{-6}$



▲ Рис. 5. Зависимость частоты F_k превышения заданного избыточного давления ΔP_{ϕ} во фронте ударной волны для различных зданий от ΔP_{ϕ} : 1–15 – см. табл. 5

ность принятых проектных решений по размещению и устойчивости зданий к ударной волне [11, 24].

Выводы

1. Изложена методология обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при внешних аварийных взрывах ТВС, основанная на количественной оценке риска, в соответствии с [4].

2. Представлены результаты расчета зон разрушения, распределения частоты превышения заданного давления ударной волны по территории объекта, частоты разрушения зданий, сооружений и других показателей риска взрыва ТВС при авариях на ОПО.

3. Показано, что предлагаемая методология (с учетом критериев допустимого риска разрушения здания) позволяет обосновать безопасные расстояния в несколько раз меньшие по сравнению с упрощенным подходом, основанным на расчете максимальных зон разрушения при аварийных взрывах.

Список литературы

1. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 20 июня 1997 г.: в действующей ред. от 04.03.2013. В данном виде документ опубликован не был. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: федер. закон Рос. Федерации от 30 дек. 2009 г. № 384-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 23 дек. 2009 г.: одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 25 дек. 2009 г.// Рос. газ. — № 5079. — 2009. — 31 дек.
3. ПБ 09-540—03. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. — Сер. 09. — Вып. 11. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2013. — 108 с.
4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств»: утв. приказом Ростехнадзора от 11 марта 2013 г. № 96; взамен ПБ 09-540—03// Бюл. норматив. актов федер. органов исполнительной власти. — 2013. — № 23.
5. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (с изм.): утв. приказом МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 // Бюл. норматив. актов федер. органов исполнительной власти. — 2009. — № 37.

6. *Пособие по обследованию и проектированию зданий и сооружений, подверженных воздействию взрывных нагрузок*/ АО «ЦНИИПромзданий». — М., 2000.

7. *СТО Газпром 2-2.3-400—2009*. Методика анализа риска для опасных производственных объектов газодобывающих предприятий ОАО «Газпром». — М.: ООО «Газпром экспо», 2009.

8. *РД-13.020.00-КТН-148—11*. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах/ ОАО АК «Транснефть»: согл. Ростехнадзором, 2011.

9. *РД-03-26—2007*. Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ: утв. приказом Ростехнадзора от 14 дек. 2007 г. № 859. — Сер. 27. — Вып. 6. — М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2008. — 120 с.

10. *РД 03-409—01*. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей (с изм. и доп.): утв. постановлением Госгортехнадзора России от 26 июня 2001 г. № 25. — Сер. 27. — Вып. 2. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2013. — С. 4—48.

11. *Расчет зон разрушения зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах*/ К.В. Ефремов, М.В. Лисанов, А.С. Софьин и др.// Безопасность труда в промышленности. — 2011. — № 9. — С. 70—77.

12. *Fire and explosion guidance*. P. 1: Avoidance and mitigation of explosions. — UK: Offshore Operators Association Limited, 2002.

13. *Offshore Installations (Safety Case) Regulations 2005*. Regulation 12 Demonstrating compliance with the relevant statutory provisions. — UK: Health and Safety Executive, 2005.

14. *Structural strengthening of offshore topsides structures as part of explosion risk reduction methods*. — UK: Health and Safety Executive, 2006.

15. *Технический регламент о требованиях пожарной безопасности*: федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 4 июля 2008 г.: одобр. Советом Федерации Фе-

дер. Собр. Рос. Федерации 11 июля 2008 г.// Рос. газ. — № 4720. — 2008. — 1 авг.

16. *Сравнение результатов моделирования аварийных выбросов опасных веществ с фактами аварий*/ С.И. Сумской, К.В. Ефремов, М.В. Лисанов, А.С. Софьин// Безопасность труда в промышленности. — 2008. — № 10. — С. 42—50.

17. *Lees F.P. Loss Prevention in the Process Industries*. — 4-th edn. — Boston: Butterworth-Heinemann, 1996.

18. *API RP 752*. Управление рисками, связанными с расположением постоянных зданий технологической установки. URL: <http://www.api.org/environment-health-and-safety/process-safety/process-safety-standards/standard-rp-752> (дата обращения: 10.06.2013).

19. *Бесчастнов М.В.* Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. — М.: Химия, 1991. — 432 с.

20. *Methods for the calculation of physical effects CPR 14E*. P. 2. Yellow Book. — 3-rd edn. — TNO, 2005.

21. *Взрывные явления*. Оценка и последствия: в 2 кн./ У. Бейкер, П. Кокс, П. Уэстайн и др.: Пер. с англ. — М.: Мир, 1986.

22. *Анализ риска аварий на магистральном трубопроводе, транспортирующем широкую фракцию легких углеводородов*/ С.И. Сумской, А.В. Пчельников, Е.Л. Шанина и др.// Безопасность труда в промышленности. — 2007. — № 2. — С. 48—52.

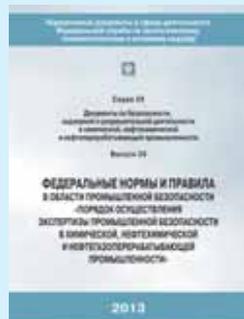
23. *Программный комплекс по расчету последствий аварий ТОКСИ+Risk*. URL: <http://safety.ru/software/toxi#risk> (дата обращения: 10.06.2013).

24. *СТУ на проектирование, строительство и эксплуатацию в части обеспечения надежности и безопасности объекта «Строительство комплекса по добыче, подготовке, сжижению газа, отгрузке сжиженного природного газа и газового конденсата Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения» по адресу: Российская Федерация, Тюменская область, Ямало-Ненецкий автономный округ, Ямальский район, пос. Сабетта: согл. Минрегионом России, 2012*. URL: http://www.minregion.ru/upload/documents/2013/02/200213/200213_sty.xlsx (дата обращения: 10.06.2013).

risk@safety.ru

Внимание! В издательстве ЗАО НТЦ ПБ вышли новые нормативные документы

ФЕДЕРАЛЬНЫЕ НОРМЫ И ПРАВИЛА В ОБЛАСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ «ПОРЯДОК ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ХИМИЧЕСКОЙ, НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ И НЕФТЕГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»



Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Порядок осуществления экспертизы промышленной безопасности в химической, нефтехимической и нефтегазоперерабатывающей промышленности» разработаны на основе и взамен Положения о порядке проведения экспертизы промышленной безопасности в химической, нефтехимической и нефтегазоперерабатывающей промышленности (РД 09-539—03), утвержденного постановлением Госгортехнадзора России от 18.03.2003 № 8 и не подлежащего применению на основании приказа Ростехнадзора от 15.10.2012 № 584.

Эту книгу и другие нормативные документы можно приобрести по адресу:

Москва, Переведеновский пер., д. 13, стр. 21,
а также заказать в отделе распространения по тел/факсам:
(495) 620-4753 (многоканальный), 620-4747, 620-4746. E-mail: ornd@safety.ru.

Реклама