



Оценка взрывоустойчивости при проектировании опасных производственных объектов

Ефремов Кирилл Владимирович

ЗАО НТЦ ПБ

Группы компаний «Промышленная безопасность»

Москва

safety.ru

riskprom.ru, рискпром.рф

С полным текстом можно ознакомиться в статье:

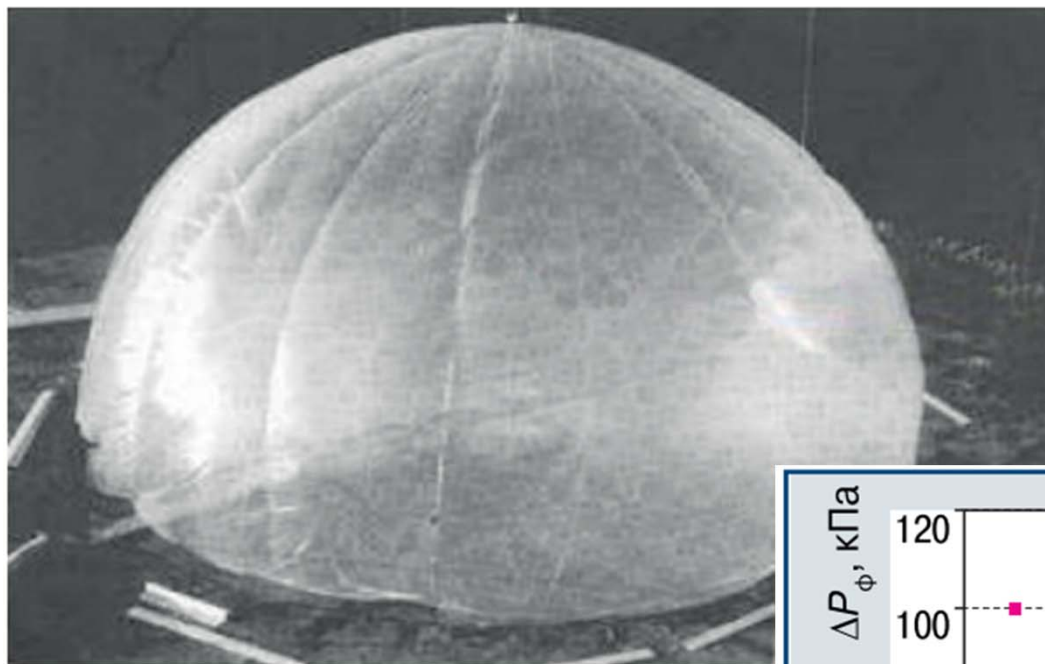
***Ефремов К.В., Лисанов М.В., Софьин А.С.,
Самусева Е.А., Сумской С.И., Кириенко А.П.***

***Расчет зон разрушения зданий и сооружений
при взрывах топливно-воздушных смесей на
опасных производственных объектах***

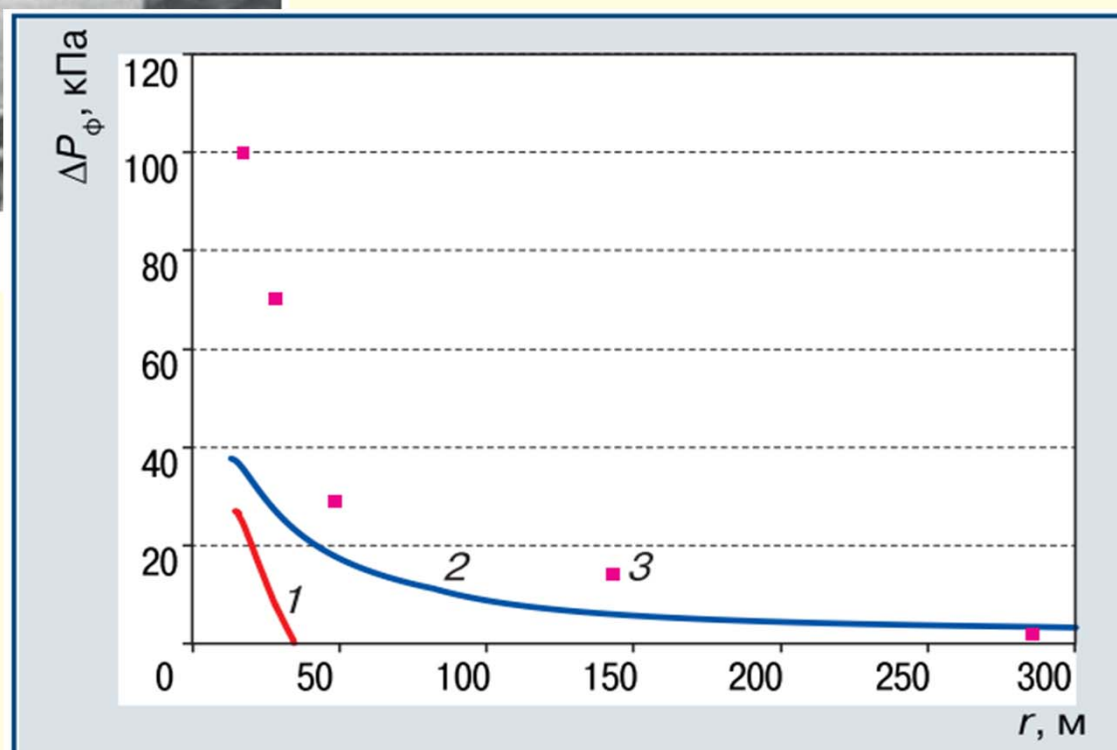
***Безопасность труда в промышленности
№9 2011 (ISSN 0409-2961), с. 70-77***

Основные нормативные документы по оценке взрывных воздействий

- **РД 03-409-01** Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей. Утв. постановлением Госгортехнадзора России от 26.06.2001 № 25.
- Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. Утв. приказом **МЧС России № 404** от 10.07.2009. (с изм. утв. приказом МЧС России № 649 от 14.12.2010).
- **РД-03-26-2007** Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14 декабря 2007 г. № 859.
- **ПБ 09-540-03** Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств (утверждены постановлением Федерального горного и промышленного надзора России от 05.05.2003 №29, Зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 15.05.2003, регистрационный №4537
- **ГОСТ Р12.3.047-98** Пожарная безопасность технологических процессов. Утвержден Госстандартом России от 01.01.1998
- **СП 12.13130.2009** Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.



▲ Рис. 1. Эксперимент с водородом



▲ Рис. 2. Изменение избыточного давления во фронте ударной волны от взрыва водородовоздушной смеси:
1 — в эксперименте; 2 — смоделированное по методике РД 03-409—01; 3 — по методике ПБ 09-540—03

Сравнение расчетов зон поражения избыточным давлением на фронте ударной волны по методике TNO Multi-Energy Method с помощью имитационной модели взрыва RIPRAP в системе ARAMAS с расчетами по РД 03-409-01

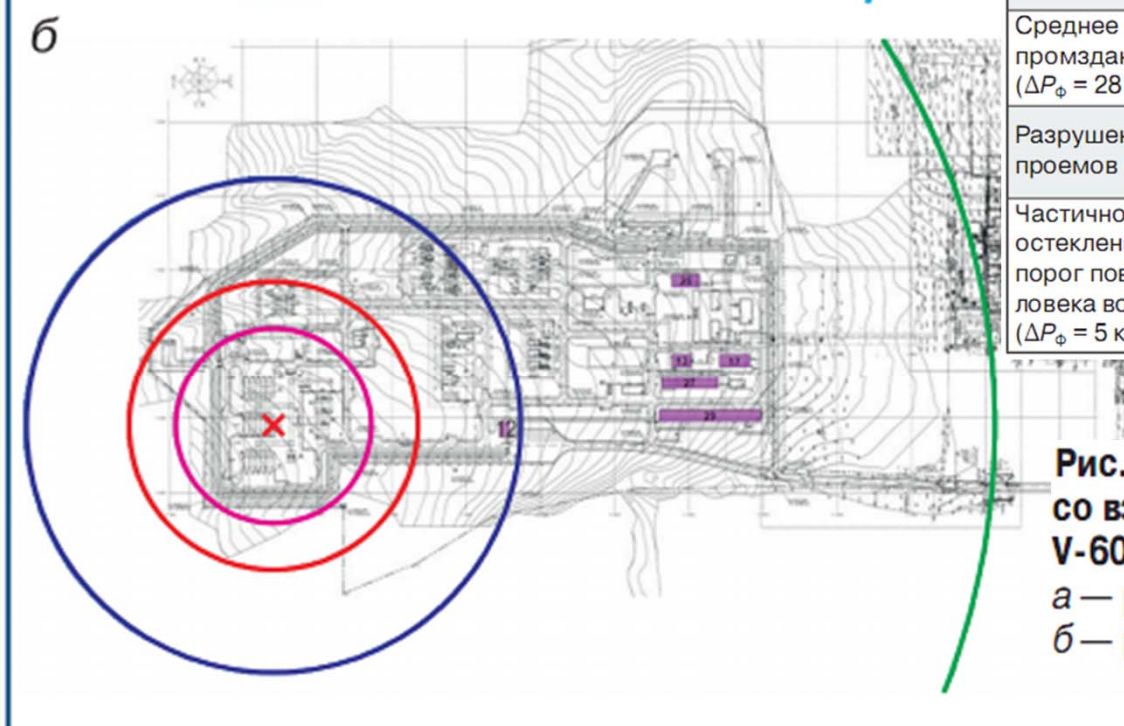
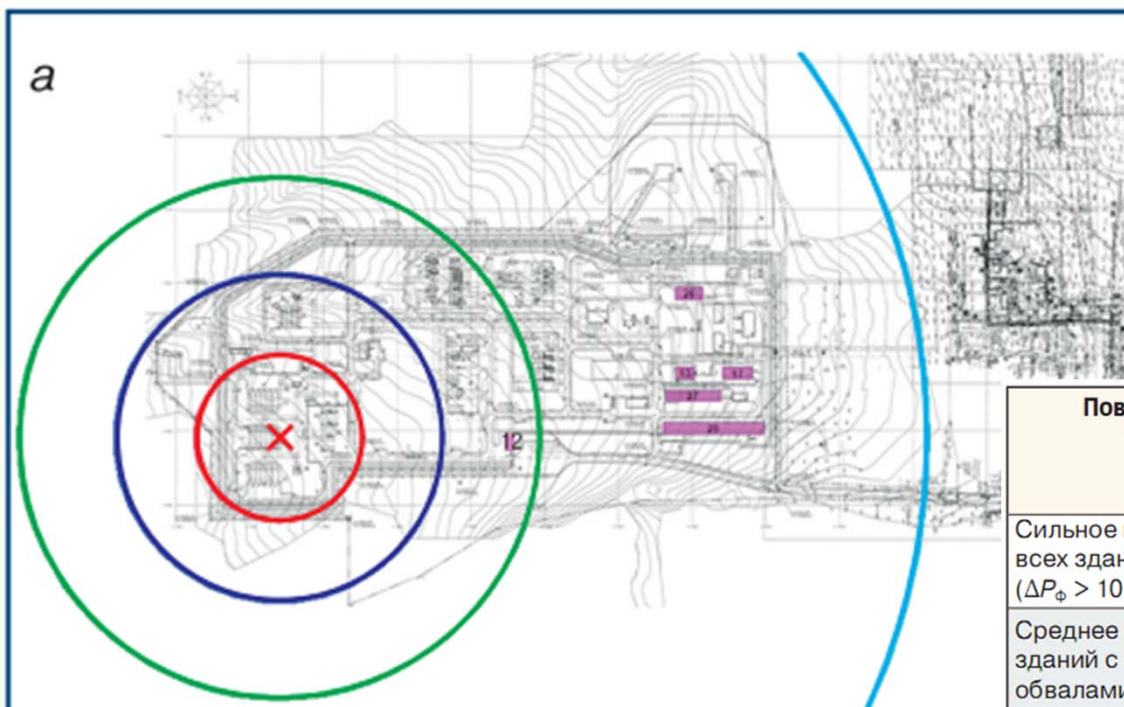
Объем емкостей с пропаном, м ³	Расстояние до поселка строителей, м	ΔP_{ϕ} в поселке, кПа		Δ , %	Расстояние, м, от центра взрыва до точки достижения ΔP_{ϕ} , кПа, значения					
		TNO	РД 03-409-01		6,9		Δ , %	4,1		Δ , %
					TNO	РД 03-409-01		TNO	РД 03-409-01	
		11 064	496		3,5	4,2	17	258	240,1	7
8065	513	3,0	3,7	19	233	216,1	7	382	322,3	16
9700	513	3,2	3,9	18	248	229,8	7	405	342,7	15
17 817	568	3,6	4,2	14	305	281,4	8	495	419,7	15
4928	381	3,5	4,1	15	198	183,3	7	325	273,5	16

Повреждение	Расстояние от места инициирования взрыва до зоны с соответствующими повреждениями, м, при массе пропана, кг											
	1000		Δ, %	2000		Δ, %	5000		Δ, %	10 000		Δ, %
	[4]	[3]		[4]	[3]		[4]	[3]		[4]	[3]	
Сильное повреждение всех зданий ($\Delta P_{\phi} > 100$ кПа)	53	62	16	67	81	21	91	111	22	114	140	23
Среднее повреждение зданий с массовыми обвалами ($\Delta P_{\phi} = 70$ кПа)	64	91	42	81	119	48	109	164	50	138	207	50
Среднее повреждение промзданий ($\Delta P_{\phi} = 28$ кПа)	108	156	44	136	204	50	185	281	52	233	355	52
Разрушение оконных проемов, легкие повреждения фабричных труб ($\Delta P_{\phi} = 14$ кПа)	172	454	164	217	596	175	295	819	178	371	1034	179
Нижний порог повреждения человека волной давления ($\Delta P_{\phi} = 5$ кПа)	429	-	-	541	-	-	734	-	-	924	-	-

Повреждение	Расстояние от места инициирования взрыва до зоны с соответствующими повреждениями, м, при массе метана, кг											
	1000		Δ, %	2000		Δ, %	5000		Δ, %	10 000		Δ, %
	[4]	[3]		[4]	[3]		[4]	[3]		[4]	[3]	
Сильное повреждение всех зданий ($\Delta P_{\phi} > 100$ кПа)	Н. д.	62	-	Н. д.	82	-	Н. д.	113	-	Н. д.	143	-
Среднее повреждение зданий с массовыми обвалами ($\Delta P_{\phi} = 70$ кПа)	Н. д.	91	-	Н. д.	121	-	Н. д.	167	-	Н. д.	211	-
Среднее повреждение промзданий ($\Delta P_{\phi} = 28$ кПа)	69	156	124	81	208	156	110	286	159	139	361	160
Разрушение оконных проемов, легкие повреждения фабричных труб ($\Delta P_{\phi} = 14$ кПа)	156	454	192	196	607	210	266	834	213	335	1053	214
Нижний порог повреждения человека волной давления ($\Delta P_{\phi} = 5$ кПа)	437	-	-	550	-	-	747	-	-	941	-	-

4 - РД 03-409-01

3 - ПБ-09-540-03



Повреждение	Радиус рассчитанной зоны поражения (разрушения), м		Δ , %	Обозначение на рис. 4
	РД 03-409-01	ПБ 09-540-03		
Сильное повреждение всех зданий ($\Delta P_{\phi} > 100$ кПа)	Н. д.	132	-	
Среднее повреждение зданий с массивными обвалами ($\Delta P_{\phi} = 70$ Па)	111	195	76	
Среднее повреждение промзданий ($\Delta P_{\phi} = 28$ кПа)	219	339	55	
Разрушение оконных проемов ($\Delta P_{\phi} = 14$ кПа)	350	974	178	
Частичное разрушение остекления, нижний порог повреждения человека волной давления ($\Delta P_{\phi} = 5$ кПа)	870	-	-	

Рис. 4. Ситуационный план сценария аварии со взрывом ТВС при полном разрушении емкости V-601A-R:

a — расчет по РД 03-409-01;

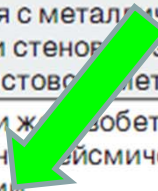
б — расчет по ПБ 09-540-03

Детерминированные критерии разрушения (повреждения) избыточным давлением на фронте ударной волны

Уровни разрушения зданий

Категория повреждения	Характеристика повреждения здания	Избыточное давление ΔP , кПа	Коэффициент K
A	Полное разрушение здания	≥ 100	3,8
B	Тяжелые повреждения, здание подлежит сносу	70	5,6
C	Средние повреждения, возможно восстановление здания	2В	9,6
D	Разрушение оконных проемов, легкосбрасываемых конструкций	14	28,0
E	Частичное разрушение остекления	$\leq 2,0$	56

Тип зданий, сооружений	Избыточное давление во фронте ударной волны, кПа, при разрушении			
	слабом	среднем	сильном	полном
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 ангары сейсмические конструкции	От 25 до 35	От 80 до 120	От 150 до 200	>200



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

Трубопроводы наземные	20	50	130	–
Кабельные подземные линии	До 800	–	–	1500
Цистерны для перевозки нефтепродуктов	30	50	70	80
Резервуары и емкости стальные наземные	35	55	80	90
Подземные резервуары	40	75	150	200

Вероятностные критерии взрывоустойчивости зданий (сооружений) можно установить, исходя из анализа данных таблиц 5, 6 и критериев приемлемого индивидуального риска гибели персонала (не более 10^{-4} год $^{-1}$ [2, 13]).

В связи с этим риск разрушения здания (сооружения) может быть признан приемлемым, если частота воздействия взрыва на это здание (сооружение) с избыточным давлением на фронте ударной волны ΔP_{ϕ} , при котором исключена возможность разрушения основных несущих и ограждающих конструкций здания (нарушения целостности сооружения), не превышает 10^{-4} год $^{-1}$.

Выводы

1. Проведено сравнение результатов расчетов последствий взрыва ТВС по российским нормативным методикам (РД 03-409—01, ПБ 09-540—03) с экспериментальными данными по распространению волны давления от взрыва водородовоздушной смеси, а также с расчетами по методике фирмы TNO (Нидерланды). Показано:
 - при одинаковых расстояниях значения избыточного давления во фронте ударной волны, рассчитанные согласно РД 03-409—01 и по модели TNO, совпадают с точностью до 20 %. При этом полученные значения безопасных расстояний практически совпадают;
 - расчет последствий аварий с выбросами горючих газов по РД 03-409—01 может приводить к существенному уменьшению оценочных размеров зон разрушения (в 1,5 и более раз) по сравнению с ПБ 09-540—03.
2. Выполнен обзор критериев воздействия ударной волны на здания и сооружения, представлены рекомендации по оценке взрывоустойчивости, в том числе о проведении количественного анализа риска разрушения зданий и сооружений при аварийных взрывах.

Список использованных источников

1. Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»
2. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»
3. ПБ 09-540-03 Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств
4. РД 03-409-01 Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей. Утв. постановлением Госгортехнадзора России от 26.06.2001 № 25 (утверждены постановлением Федерального горного и промышленного надзора России от 05.05.2003 №29, Зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 15.05.2003, регистрационный №4537.
5. РД-03-26-2007 Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ. Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14.12.2007 № 859.
6. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. Утв. приказом МЧС России от 10.07.2009 № 404. (с изм. утв. приказом МЧС России от 14.12.2010 № 649)
7. ГОСТ Р12.3.047-98 Пожарная безопасность технологических процессов. Утв. Госстандартом России от 01.01.1998.
8. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
9. A. Beccantini, A. Malczynski, E. Studer Comparison of TNT-Equivalency Approach, TNO Multi-Energy Approach and a CRD Approach in Investigating Hemispheric Hydrogen-Air Vapor Cloud Explosions, 2007
10. Программный комплекс по расчету последствий аварий ТОКСИ+Risk <http://safety.ru/software/toxi#risk>
11. Daniel A. Crowl, Joseph F. Louvar Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications, Second Edition, Prentice Hall, 2001.
12. Бейкер У., Кокс П., Уэстайн П. и др. Взрывные явления. Оценка и последствия: В 2 кн.: Пер. с англ. М.: Мир, 1986.
13. СТО Газпром 2-2.3-400-2009 Методика анализа риска для опасных производственных объектов газодобывающих предприятий ОАО «Газпром», М. 2010.
14. В.А. Котляревский, А.В. Виноградов, С.В. Еремин и др. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Учебное пособие в 3-х книгах. Книга 2. М. Издательство АСВ, 1996.
15. Пособие по обследованию и проектированию зданий и сооружений, подверженных воздействию взрывных нагрузок. АО «ЦНИИПромзданий», Москва, 2000 г.
16. А.М. Козлитин. Вероятностные методы анализа последствий фугасного воздействия взрыва на человека, технологическое оборудование, здания, сооружения при аварийных ситуациях на предприятиях нефтегазовой отрасли. Международный научный сборник. СРО «Российская экологическая академия», ООО «Три А», 2005.
17. Методика оценки рисков чрезвычайных ситуаций и нормативы приемлемого риска чрезвычайных ситуаций, утв. первым заместителем Министра МЧС 09.01.2008 №1-4-60-09
18. РД 03-418-01 Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов, утв. постановлением Госгортехнадзора России от 10.07.2001 № 30



Спасибо за Ваше внимание!

safety.ru

riskprom.ru, riskprom.pf