

Агентство исследований промышленных рисков



Риск-ориентированное обоснование устойчивости промышленных зданий к воздействиям взрыва облака топливно-воздушной смеси

XXXII НАУЧНЫЙ СЕМИНАР
ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научный сотрудник
Невская Елена Евгеньевна
Tel/fax (495) 620-47-50, доб. 202
e-mail: e.nevskaya@safety.ru

г. Москва, 22 мая 2017 г.

Содержание сообщения

I блок

- Понятие взрывобезопасности
- Требования об учете риска взрыва и взрывных нагрузок при проектировании
- Основные показатели взрывоопасности

II блок

- Общие рекомендации по обоснованию взрывоустойчивости
- Критерии приемлемого (допустимого) риска разрушения зданий в России и за рубежом

III блок

- Превентивные меры взрывобезопасности
- Цели взрывоустойчивого проектирования
- Основные принципы повышения уровня взрывозащиты

Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

Основные термины

ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ — состояние производственного процесса, при котором исключается недопустимый риск взрыва и поражения людей;

ВЗРЫВОУСТОЙЧИВОСТЬ — свойство зданий и сооружений сохранять с заданной вероятностью устойчивость к взрывам от аварий на опасном производственном объекте;

ВЗРЫВОЗАЩИТА — мероприятия, обеспечивающие защиту обслуживающего персонала, технологического оборудования, а также зданий и сооружений от опасных и вредных воздействий взрыва, основными из которых являются:

- максимальное избыточное давление ДРф;
- обрушающиеся конструкции зданий, оборудования, коммуникаций и разлетающиеся их части;
- опасные факторы пожара (открытый огонь и искры, токсичные продукты горения, дым и другие факторы).

Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

Требования об учете риска взрыва и взрывных нагрузок при проектировании

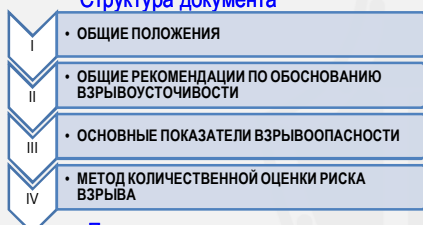
1. ст. 11, 16, 30 Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 N 384-ФЗ;
2. Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 N 123-ФЗ;
3. ФНИП «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» Приказ Ростехнадзора от 11.03.2013 N 96 (ред. от 26.11.2015);
4. РБ «Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах», утв. приказом РТН от 13.05.2015 г. №189;
5. РД-03-14-2005 Порядок оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечень включаемых в нее сведений. Утвержден приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 29.11.05 №893;
6. Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.1.010-76 "Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования" (введен в действие постановлением Госстандарта СССР от 28 июня 1976 г. N 1581).



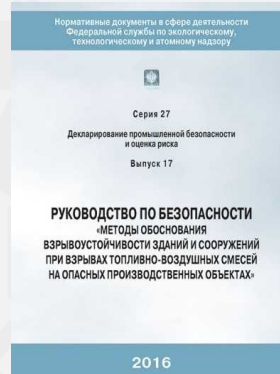
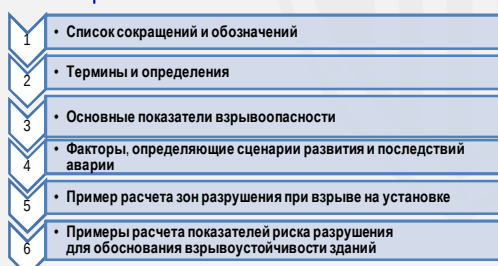
Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

РБ «Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах», утв. приказом РТН от 13.05.2015 г. №189

Структура документа



Приложения



Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

Основные этапы оценки риска взрыва:



Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

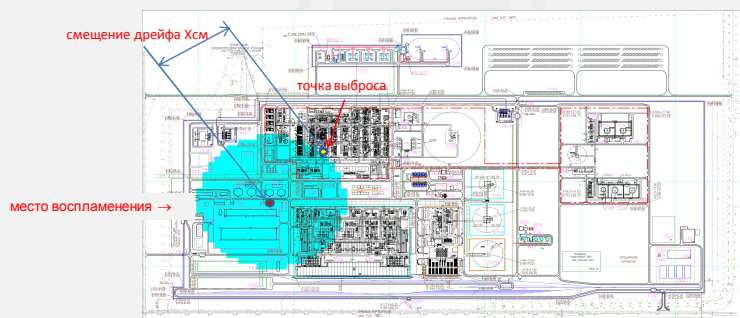
Основные показатели взрывоопасности

- ΔP_{ϕ} Избыточное давление на фронте падающей УВ, Па.
Параметр, определяющий воздействие (нагрузку) на здание
- R Радиус зоны разрушения в результате воздействия УВ с избыточным давлением во фронте ΔP_{ϕ} , м
- L Максимальное расстояние дрейфа облака ТВС, м
- R_L Максимальная дальность действия УВ, м
- λ_a Частота аварии с выбросом ОВ, 1/год
- λ_{Cn} Частота развития аварии по сценарию Cn с возникновением взрыва, 1/год
- $R_{\Delta P_{\phi}}(x, y)$ Потенциальный риск разрушения здания, находящегося на территории объекта с координатами (x, y) при воздействии на него УВ с избыточным давлением ΔP_{ϕ} , 1/год
- R_{pk} Частота разрушения определенного k -го здания при воздействии взрыва, 1/год

Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

Дрейф облака ТВС

ФНП ОПВБ указывает на необходимость учета дрейфа облаков ТВС
Зона действия ударной волны $\Delta P=35$ кПа при аварии с полным разрушением колонны установки пиролиза с дрейфом и взрывом облака ТВС



Расчет по ТОКСИ+risk.

Масса облака ТВС (пропан), участвующая во взрыве – 78 кг.

Метеоусловия: ветер северо-восточный 5 м/с, класс устойчивости атмосферы – D. Смещение центра облака ТВС от источника выброса $X_{см} = 307$ м



Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

Общие рекомендации по обоснованию взрывоустойчивости

Моделирование и расчет аварийного истечения и распространения ОВ при всех возможных сценариях аварийной разгерметизации оборудования и воспламенении облаков ТВС

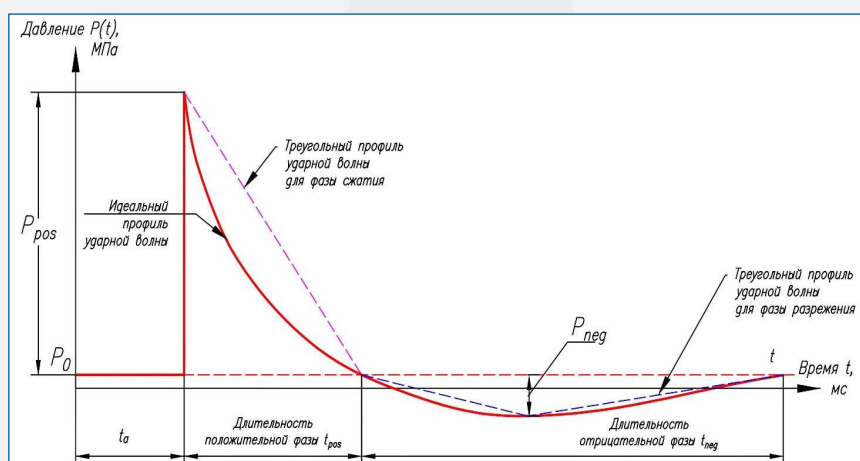
Расчет зон разрушения при воздействии УВ при аварийных взрывах ТВС

Расчет показателей риска взрыва ТВС, включающих оценку частоты превышения амплитуды давления на фронте падающей УВ для здания, сооружения на территории размещения ОПО

Применение обоснованных критериев допустимого риска разрушения зданий с учетом их типа (конструктивного исполнения)

Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

Характерный профиль УВ



Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

Оценка параметров взрывной волны

РБ Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей, Методика определения расчетных величин пожарного риска

Детонация облака газовой ТВС

$$\ln(P_x) = -1,124 - 1,66 \ln(R_x) + 0,26 (\ln(R_x))^2 \pm 10 \%$$

$$\ln(I_x) = -3,4217 - 0,898 \ln(R_x) - 0,009 (\ln(R_x))^2 \pm 15 \%$$

Детонация гетерогенной ТВС

$$P_x = 0,125 / R_x + 0,137 / R_x^2 + 0,023 / R_x^3 \pm 10 \%$$

$$I_x = 0,022 / R_x \pm 15 \%$$

Дефлаграция

$$P_{x1} = (V_x / C_0)^2 ((\sigma - 1) / \sigma) (0,83 / R_x - 0,14 / R_x^2)$$

$$I_{x1} = (V_x / C_0)^2 ((\sigma - 1) / \sigma) (1 - 0,4(\sigma - 1) V_x / \sigma C_0) (0,06 / R_x + 0,01 / R_x^2 - 0,0025 / R_x^3)$$

Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

Расчет показателей риска разрушения сооружений

При определении риска разрушения сооружений согласно [РБ-взрывоустойчивость] для каждой точки территории определяют частоту реализации сценариев, при которых имеет место превышение давления во фронте ударной волны $\Delta P_\Phi(x, y)$ заданной величины давления ΔP_Φ :

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

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 .

Для точек (x_j, y_j) территории, в которых расположены сооружения, испытывающие взрывные нагрузки строят зависимости частоты реализации избыточного давления взрыва от ΔP_Φ :

$$F_{x_j, y_j}(\Delta P_\Phi) = R_{P \geq \Delta P_\Phi}(x_j, y_j).$$

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 $P_{пр k}$:

$$R_{\text{здание}}^k = F_{x_k, y_k}^k(P_{пр k}).$$

Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

- **ГОСТ 12.1.010-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Взрывобезопасность. Общие требования (с Изм. N 1) (Дата последнего изменения: 18.10.2016)**

1.1. Производственные процессы должны разрабатываться так, чтобы вероятность возникновения взрыва на любом взрывоопасном участке в течение года не превышала 10^{-6} .

В случае технической или экономической нецелесообразности обеспечения указанной вероятности возникновения взрыва производственные процессы должны разрабатываться так, чтобы вероятность воздействия опасных факторов взрыва на людей в течение года не превышала 10^{-6} на человека. При этом принятое значение вероятности возникновения взрыва на любом взрывоопасном участке производственного процесса должно быть обосновано и согласовано в установленном порядке с органами государственного надзора.

1.2. Взрывобезопасность производственных процессов должна быть обеспечена взрывопредупреждением и взрывозащитой организационно-техническими мероприятиями.

Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

API RP 752

В п.5.2.1. рекомендаций Американского нефтяного института (American Petroleum Institute) Management of Hazards Associated with Location of Process Plant Permanent Buildings. API Recommended practice 752, Third edition, December 2009. («**Управление рисками, связанными с расположением постоянных зданий технологической установки**») содержатся 3 подхода к обоснованию устойчивости промышленных зданий к внешним воздействиям (взрыв, пожар, токсический выброс):

- а) подход, основанный на оценке последствий максимально вероятных событий (maximum credible events);
- б) «риск - ориентированный» подход, учитывающий оценки как последствий, так и частоты всех сценариев аварий;
- в) «табличный» подход (the «spacing tables»), использующий эмпирические нормативные значения для определения минимального расстояния между установками и зданиями.

Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

Зарубежная практика



На основании опыта

- Типичные размеры пожара пролива, Таблица 1 API 2218

На основании последствий

- Правдоподобный сценарий
- Стандарт: 1 или 2 дюйма

На основании риска

- Вероятность и последствия
- Частота разрушения объекта, например $1E-4$ в год

Protected Equipment (or Potential Source of Fuel Release)	Dimensions of Fire Scenario Envelope (feet/meter)		Section in API 2218 or other Reference
	Horizontal	Vertical	
Equipment within a fire scenario	20 ft to 40 ft (6 m to 12 m)	20 ft to 40 ft (6 m to 12 m)	2218 Section 4.2.3
Release of liquid fuel pool release – General	20 ft to 40 ft (6 m to 12 m)	20 ft to 40 ft (6 m to 12 m)	2218 Section 4.2.3
Pipe racks	20 ft to 40 ft (6 m to 12 m)	20 ft to 40 ft (6 m to 12 m)	2218 Section 5.2.1
Pipe racks near process units containing highly pressurized flammables	Review release scenario for fireproofing needs.	Review release scenario for fireproofing needs.	2218 Section 4.2.3
Process equipment structures	20 ft to 40 ft (6 m to 12 m)	20 ft to 40 ft (6 m to 12 m) Or up to the highest level supporting equipment.	2218 Section 5.1.1.1
Non-fire potential equipment structures above the potential equipment	20 ft to 40 ft (6 m to 12 m)	20 ft to 40 ft (6 m to 12 m)	2218 Section 5.1.3
LPG vessels as potential source of pool fire exposure	Pipe supports within 50 ft (15 m) or within spill containment area.	20 ft to 40 ft (6 m to 12 m)	2218 Section 4.2.3 API 2010 API 2510A
Flu-fan coolers on pipe racks within pool fire scenario envelope	20 ft to 40 ft (6 m to 12 m)	20 ft to 40 ft (6 m to 12 m) Or up to the highest level supporting equipment.	2218 Section 5.1.2
Rotating equipment	20 ft to 40 ft (6 m to 12 m) from the scenario source of leakage.	20 ft to 40 ft (6 m to 12 m)	
Tanks, spheres, and sphericals containing liquid flammable material other than LPG	The area shall extend to the disk wall, or 20 ft (6 m) from the storage vessel, whichever is greater.	20 ft to 40 ft (6 m to 12 m) Or as specified for equipment of concern.	
Marine docks where flammable materials are handled	100 ft (30 m) horizontally from the marlinde or loading connections.	From the water surface up to and including the dock surface.	

Source: API RP 2218 Table 1

Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

Необходимые совершенствования РБ

Дополнение п. 12 РБ «Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах» в части обеспечения требования:

- Не превышении давления на фронте падающей УВ, образующейся при наиболее вероятном сценарии развития аварии, значения предельного давления $P_{пр}$, на которое рассчитано здание.



Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

Цели взрывоустойчивого проектирования

Первичными целями обеспечения взрывоустойчивого проектирования здания являются:

- I. Безопасность персонала.
- II. Контролируемая остановка.
- III. Финансовые соображения.

Взрывоустойчивое проектирование должно обеспечивать уровень безопасности для людей в здании, не меньшую, чем для людей за пределами здания в случае взрыва. Свидетельства прошлых инцидентов указывают на то, что причиной многих смертей и серьезных травм было обрушение зданий на людей, находящихся внутри. Эта цель – снижение вероятности того, что здание само по себе станет угрозой при взрыве.

Предупреждение эскалации аварии и каскада событий из-за потери контроля над эксплуатационными блоками, не задействованными в событии, является еще одной целью взрывоустойчивого проектирования. Происшествие на одном блоке не должно воздействовать на продолжение безопасной эксплуатации или нормального останова других блоков.

Предупреждение или минимизация финансовых потерь является еще одной целью взрывоустойчивого проектирования. Здания, содержащие деловую информацию, критически важное или основное оборудование, дорогостоящее или оборудование длительного пользования, или оборудование, которое в случае уничтожения приведет к значительному перерыву или финансовым потерям для владельца, должны быть защищены.

Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

Основные принципы повышения уровня взрывозащиты здания

I

Выбор конструкции здания, устойчивого к параметрам взрывной волны (степень разрушения: среднее или слабое) в месте его предполагаемого расположения;

II

Размещение здания заданной конструкции на расстоянии от предполагаемого эпицентра взрыва, на котором оно устойчиво к возникающим взрывным нагрузкам;

III

Отражение УВ путем размещения между эпицентром взрыва и защищаемым зданием преград в виде твердых прочных стен или барьеров из грунта, песка, бетона, стальных и композиционных материалов;

IV

Поглощение энергии ударной волны путем размещения между эпицентром взрыва и защищаемым зданием преград с деформируемыми или разрушаемыми структурами;

V

Снижение интенсивности падающей ударной волны путем размещения перед зданием или прямо на его стенах обтекателей;

VI

Размещение защищаемого здания в противовзрывном укрытии.

Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

Эксперимент по испытанию взрывоустойчивого фасада здания



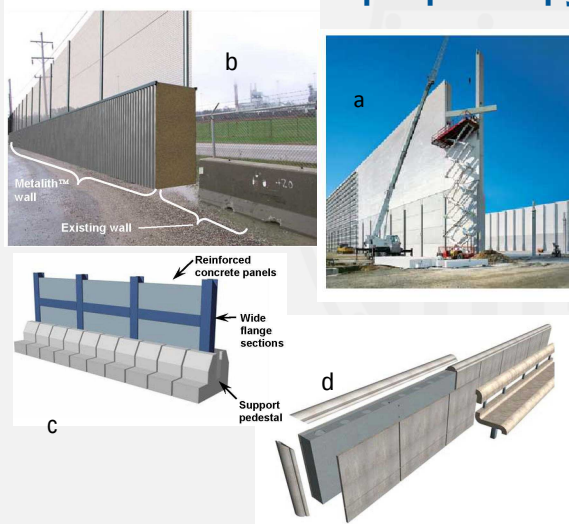
Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

Эксперимент по проверке взрывоустойчивости защитной стенки



Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

Примеры использования защитных стен и барьеров за рубежом



■ При использовании стен или барьеров, расположенных на некотором удалении от защищаемых зданий, необходимо учитывать возможность усиления избыточного давления в отражённых от стены волнах и возможность их вторичного воздействия.

■ При эпицентре взрыва выше высоты стены, ее наличие может проводить к увеличению взрывных нагрузок на защищаемые здания.

■ При опускании облака с высоты или его затекании в пространство между стеной и защищаемыми зданиями в случае его взрыва между стенами и зданием будет происходить усиление взрывных нагрузок.

Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

Для повышения взрывоустойчивости зданий и сооружений на предприятиях нефтегазового комплекса **предлагается установка по пути движения УВ специального устройства оптимального типа, способного уменьшить её воздействие.**

Цель исследования — создание нового типа конструкции, как эффективного метода защиты от взрывных волн и локализации их действия в условиях существующей плотной застройки пространства территории предприятий, а также обеспечение метода определения его эффективности.

Актуальность — увеличение числа аварий, заканчивающихся взрывами приводит к возрастающей потребности в создании новых и усовершенствовании существующих методов и способов повышения безопасности эксплуатации производства, а также обеспечения защищенности обслуживающего персонала.

Область исследования — соответствует требованиям паспорта специальности 05.26.03:

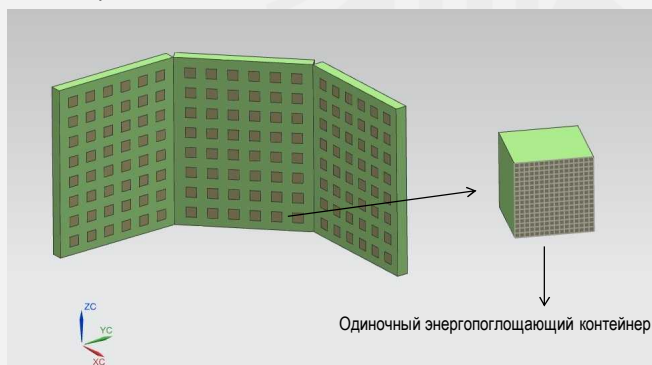
№6 Исследование и разработка средств и методов, обеспечивающих снижение пожарной и промышленной опасности технологических процессов, предупреждения пожаров и аварий, тушения пожаров;

№7 Разработка технических средств защиты людей от пожаров, взрывов и производственного травматизма.

Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

Конфигурация защитного устройства

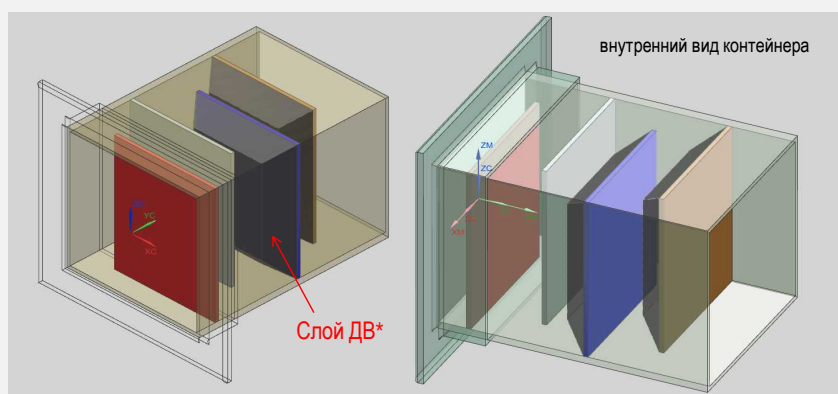
Конструкция защитного устройства представляет собой сварную стальную ячеистую перегородку, состоящую из балочных профилей, стальных листов, и разрушаемых элементов – энергопоглощающих контейнеров.



Защитное устройство рассеивает энергию ударной волны за счёт ее частичного отражения, а также за счёт поглощения энергии ударной волны в специальных ячейках – гасителях.

Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

Конструкция энергопоглощающего контейнера

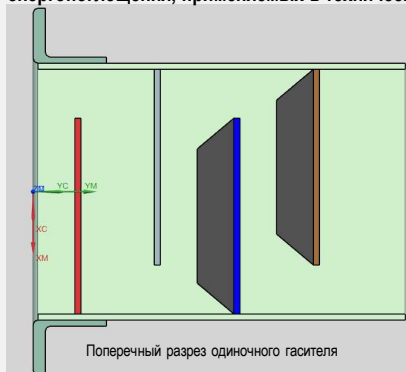


Энергопоглощающий контейнер – гаситель, который представляет собой набор стальных листов, расположенных особым образом, формирующих канал типа «гребенка», обеспечивающих при его прохождении снижение давления на неотраженной части фронта УВ. При прохождении УВ гасители могут упруго-пластически деформироваться и за счёт этого также обеспечивать поглощение энергии.

Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

Акустическое взаимодействие УВ с пористым сжимаемым материалом

При исследовании звуковых волн, догоняющих УВ вместе с энтропийными и вихревыми возмущениями, наблюдается эффект усиления УВ за счет относительно слабых звуковых волн. Поэтому целесообразно применение на последующих стенках гасителя методов энергопоглощения, применяемых в технической акустике.



Поперечный разрез одиночного гасителя

При уменьшении амплитуды УВ она вырождается в слабый (звуковой) сигнал*.

1. *К.А. Наугольных. О переходе ударной волны в акустическую, 1972;
2. Л.Д. Ландау. Об ударных волнах на далеких расстояниях от места их возникновения, 1945;
3. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Механика сплошных сред, 1954;
4. М. J. Lighthill. Viscosity effects Viscosity effects in sound waves of finite amplitude, in Surveys in mechanics, 1956.
5. А.Ш. Султанов. К акустической теории взаимодействия УВ с пористой средой, Уфа 2007 г.

Вблизи критического угла падения амплитуда колебаний УВ под действием акустических возмущений достигает максимальных значений **.

**McKenzie J. F., Westphal K. O. Interaction of linear waves with oblique shock waves // Phys. Fluids. — 1968. V. 11, p. 2350 — 2362

Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

Основное научное положение

За счёт разрушения ячеек происходит преобразование энергии взрывной волны в энергию упругопластического деформирования и, таким образом, после прохождения взрывной волной защитной конструкции уменьшается давление на её фронте. За счёт демпфирующих свойств поглощающего материала происходит ослабление амплитуды давления, в виду чего значительно снижается ударное нагружение на конструкцию, в совокупности двух факторов обеспечивается безопасность персонала.

Любое воспроизведение только с письменного разрешения © АНО «Агентство исследований промышленных рисков»



Благодарю за внимание!

Невская Елена Евгеньевна

По всем вопросам вы можете обращаться:

www.safety.ru

+7 (495) 620-47-47

Всегда актуальная информация в журнале Ростехнадзора



БЕЗОПАСНОСТЬ
труда в промышленности

www.btpnadzor.ru