

М. В. ЛИСАНОВ, Е. А. САМУСЕВА

Центр анализа риска ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности» (ЗАО НТЦ ПБ), г. Москва

ПРОБЛЕМЫ ВЗРЫВОУСТОЙЧИВОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Основная опасность взрывных воздействий на нефтегазовых опасных производственных объектах, способная привести к масштабным разрушениям, связана с «внутренним взрывом», возникающим вследствие выброса горючих веществ (газ, нефть, т.п.) в замкнутые или полужамкнутые помещения (модули), с воспламенением и взрывом (в режиме дефлаграции или детонации) топливно-воздушной смеси газообразных горючих веществ с воздухом. Сравнены результаты расчетов взрывных нагрузок по российским и зарубежным методикам.

Для уменьшения последствий аварийных взрывов внутри помещений необходимо идентифицировать основные факторы, определяющие их устойчивость при воздействии взрывных нагрузок. Обусловлено это тем, что, как показывает анализ последствий аварийных взрывов, наибольшее количество травм и человеческих жертв вызвано именно обрушением строительных конструкций.

Очевидно, что помещение будет устойчивым при условии, если взрывные нагрузки будут меньше допустимых. При превышении уровня взрывной нагрузки над реальной несущей способностью происходит полное или частичное обрушение помещения. Поэтому обеспечить устойчивость помещения (модуля) можно двумя путями: снижением взрывных нагрузок до допустимого для данного здания уровня или усилением основных строительных конструкций.

Для разработки мероприятий по предотвращению возникновения аварий и снижению последствий их реализации необходимо понимание процессов возникновения и воспламенения топливно-воздушных смесей (ТВС), а также нагрузок и воздействий, являющихся результатом взрыва ТВС.

В общем виде процесс возникновения облака ТВС (в результате выброса горючего газа или испарения ЛВЖ) и последствия взрыва облака ТВС представлены на рисунке 1.

В результате выброса горючего газа или испарения ЛВЖ с поверхности пролива формируется облако ТВС, которое может воспламениться (при наличии источника зажигания) как сразу, так и спустя десятки минут, в зависимости от обстоятельств. Последствия взрыва могут быть различными – от легких повреждений до полного уничтожения объекта, в т.ч. в результате реализации «эффекта домино».

Согласно п.1.4. СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия» [3] в зависимости от продолжительности действия нагрузок следует различать постоянные и временные (длительные, кратковременные, особые) нагрузки. Взрывные воздействия относятся к особым нагрузкам, которые следует учитывать при проектировании зданий и сооружений объектов капитального строительства (п.1.9). Требования по учету риска взрыва также представлены в ст. 11, 16, 30 технического регламента «О безопасности зданий и сооружений» [1].

Проблеме взрывных нагрузок в помещениях посвящены многочисленные исследования в России (ВНИИПО, МГСТУ и др. [5 - 11]) и за рубежом. Анализ существующих методических нормативных и ведомственных документов, определяющих площадь сбросных проемов, легкобрасываемых конструкций (ЛСК) для снижения взрывного давления до безопасного, показывает необходимость их совершенствования. Кроме того, указанные методики не учитывают вероятность возникновения взрывных нагрузок, алгоритм определения которых аналогичен методологии количественного анализа риска [1, 2].

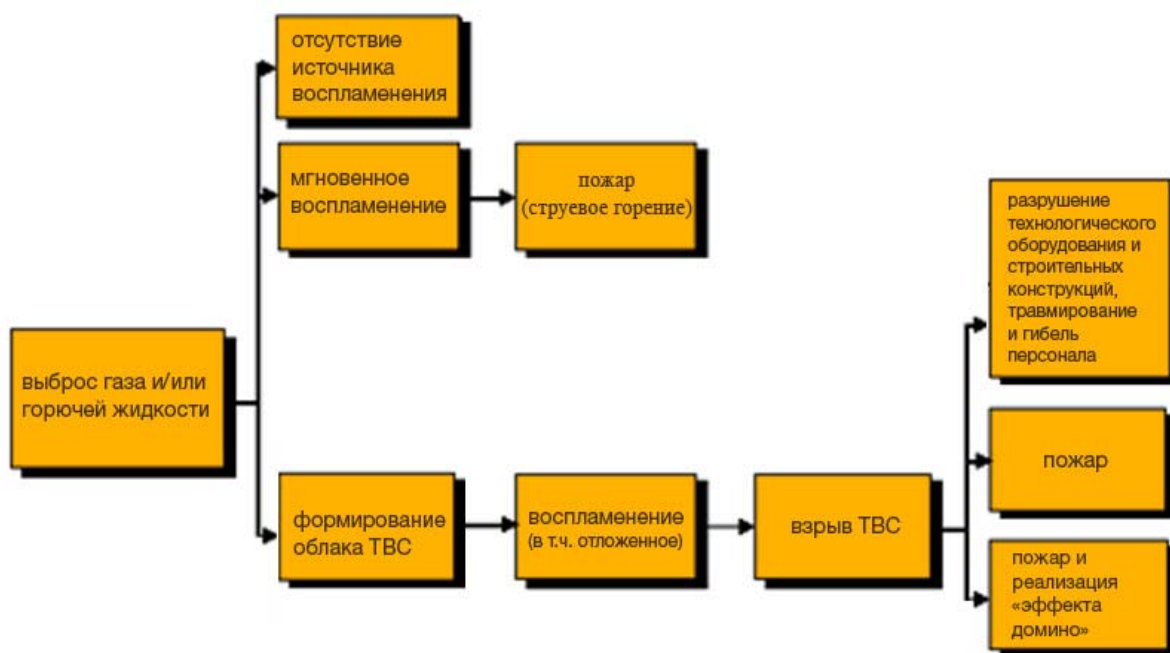


Рис. 1. Схема («дерево событий») развития аварийных ситуаций с выбросом горючих газов или горючей жидкости в атмосферу

В западных странах наиболее распространенным для оценки риска, в том числе внутреннего взрыва на нефтегазовых объектах, является программный комплекс FLACS (FLame ACceleration Simulator), который позволяет проводить численное моделирование процессов истечения, распространения и воспламенения газа в различных помещениях, рассчитывать параметры взрывных нагрузок (давление, импульс, время) с учетом вероятностей реализации различных сценариев аварийных ситуаций.

ЗАО НТЦ БП был проведен расчет взрывных нагрузок по российским методикам [4, 5] на примере морской нефтегазодобывающей платформы Аркутун-Даги и их сравнение с результатами расчета по зарубежным методикам, полученным с использованием программного комплекса FLACS/ExploRAM.

Расчеты по [4, 5] были проведены для трех значений размеров облаков ТВС в манифольдной зоне платформы Аркутун-Даги:

- для облака, которому соответствует минимальное значение избыточного давления, рассчитанное по FLACS/ExploRAM;
- для облака, которому соответствует среднее значение из диапазона рассчитанных избыточных давлений, рассчитанных по FLACS/ExploRAM;
- для облака, которому соответствует максимальное значение избыточного давления, рассчитанное по FLACS/ExploRAM.

Результаты сравнительных расчетов приведены в таблице.

Таблица. Результаты сравнительных расчетов избыточного давления в манифольдной зоне нефтегазодобывающей платформы

Расчетные характеристики	Избыточное давление, рассчитанное по FLACS/ExploRAM, бар	Избыточное давление, рассчитанное по российским методикам [4, 5], бар
объем облака 103,1 м ³ (7,2х3,6х5,5 м)	0,147	0,075
объем облака 466,8 м ³ (14,5х7,2х5,5 м)	1,447	0,250

Расчетные характеристики	Избыточное давление, рассчитанное по FLACS/ExploRAM, бар	Избыточное давление, рассчитанное по российским методикам [4, 5], бар
объем облака 1147,8 м ³ (22,9x11,4x5,5 м)	12,378	0,899

В отличие от детерминистского подхода, характерного для отечественной практики нормирования предельных нагрузок по максимальному давлению взрыва, в зарубежной практике в качестве выбора критерия устойчивости конструкций широко используется анализ кривых «частота возникновения взрыва / давление взрыва» (аналог кривой социального риска; см. рис. 2). Для построения кривых используется весь диапазон полученных возможных значений избыточных давлений и вероятностей реализации указанных событий. Критерием приемлемости в данном случае считается избыточное давление, вероятность возникновения которого не выше $1 \cdot 10^{-4}$ 1/год.

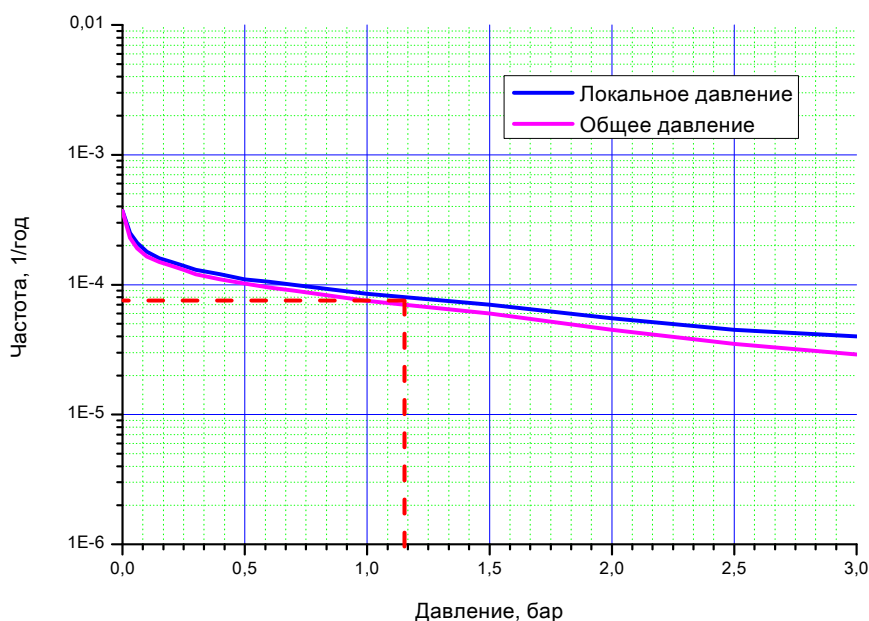


Рис. 2. Выбор критериев допустимой взрывной нагрузки согласно зарубежным подходам при проектировании нефтегазовых объектов

Сравнительные расчеты на примере наиболее опасной манифольдной зоны (см. табл.) показали, что значения избыточного давления взрыва, рассчитанные по FLACS, в рассмотренных случаях выше, чем результаты, рассчитанные по российским методикам [4, 5].

Вероятность взрыва облака ТВС на опасных производственных объектах на текущий момент все еще остается достаточно высокой, а последствия таких взрывов могут быть весьма драматичными. Анализ аварийных ситуаций, связанных с взрывами ТВС, показывает, что предупреждение взрывов газа только за счет снижения возможности образования источника воспламенения, не является достаточным. Снизить вероятность взрывов ТВС, в том числе на нефтегазовых опасных производственных объектах, возможно, выполняя всесторонний анализ безопасности, с учетом статистики и выявленных причин реальных аварий. В этой связи необходимо дальнейшее совершенствование методологии оценки взрывных нагрузок на основе вероятностных подходов.

Процедуры анализа риска взрыва при соответствующем методическом обеспечении, осуществляемые на этапе проектирования, позволяют оптимизировать проектные решения с учетом различных факторов, в том числе затрат на реализацию мер безопасности.

1. Федеральный закон № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009. Принят Государственной Думой 23.12.2009 г., одобрен Советом Федерации 25.12.2009 г.
2. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. Утверждена приказом МЧС России № 404 от 10.07.2009.
3. СНиП 2.01.07-85*. «Нагрузки и воздействия». Утвержден постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 29.08.85 г. № 135. Введен в действие 01.01.87 г.
4. СТО РД Газпром 39-1.10-084-2003 Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром».
5. Комаров А.А. Прогнозирование нагрузок от аварийных дефлаграционных взрывов и оценка последствий их воздействия на здания и сооружения: дис. на соискание научн. степени доктора техн. наук: 05.26.03 / Комаров Александр Андреевич. – М., 2001. – 492 с.
6. Мольков В.В., Некрасов В.П. Динамика сгорания газа в постоянном объеме при наличии истечения // Физика горения и взрыва – 1981. – Т. 17, № 4. – С. 17-24.
7. Казеннов В.В. Динамические процессы дефлаграционного горения во взрывоопасных зданиях и помещениях: дис. на соискание научн. степени доктора техн. наук: 05.26.03 / Казеннов В'ячеслав Васильевич. – М., 1997. – 445 с.
8. Годжелло М.Г. Расчет площади легкобрасываемых конструкций для зданий и сооружений взрывоопасных производств. – М.: Стройиздат, 1982. – 49 с.
9. Мишуев. А.В. и др. Исследование процесса взрывного горения в близких к кубической форме помещениях с учётом размещения в них технологического оборудования. // Объекты гражданской обороны. Защитные сооружения. Сб. научн. тр. – № 4. – М.: ЦНИИПромзданий, 1991.
10. Орлов Г.Г. Легкобрасываемые конструкции для взрывозащиты промышленных зданий – М.: Стройиздат, 1987. – с. 202
11. Пилюгин Л.П. Конструкции сооружений взрывоопасных производств – М.: Стройиздат, 1988. – с. 316

М.В. Лісанов, Е.А. Самусева

ПРОБЛЕМИ ВИБУХОСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД НЕБЕЗПЕЧНИХ ВИРОБНИЧИХ ОБ'ЄКТІВ

Основна небезпека вибухових впливів на нафтогазових небезпечних виробничих об'єктах, здатна привести до масштабних руйнувань, пов'язана з „внутрішнім вибухом”, що виникає внаслідок викиду горючих речовин (газ, нафта тощо) у замкнуті або напівзамкнуті приміщення (модулі), із займанням та вибухом (у режимі дефлагації або детонації) паливно-повітряної суміші газоподібних паливних речовин з повітрям. Порівняні результати розрахунків вибухових навантажень за російськими та зарубіжними методиками.

M.V. Lisanov, E.A. Samuseva

PROBLEMS OF BLAST-RESISTANT OF DANGEROUS INDUSTRIAL OBJECTS STRUCTURES AND CONSTRUCTIONS

The main danger of explosive effects on oil and gas hazardous industrial facilities can lead to large-scale destruction associated with "internal explosion" caused by the release of flammable substances (gas, oil, etc.) in closed or semiclosed room (modules), with the ignition and explosions (in the mode of detonation) of fuel-air mixture of gaseous fuel substances with air. The comparative results of calculations of explosive load in accordance with the method force in Russian Federation and foreign countries were done.