

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО
АНАЛИЗА РИСКА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЗРЫВОУСТОЙЧИВОСТИ
МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ПЛАТФОРМ**

ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», г.Москва

*Лисанов Михаил Вячеславович
Доктор технических наук*

*Сумской Сергей Иванович
Кандидат технических наук*

*Самусева Евгения Алексеевна
Аспирант*

Обзор аварий и инцидентов, произошедших на нефтегазодобывающих платформах за последние годы (см. таблицу), указывает на снижение количества аварий с катастрофическими последствиями (гибель значительного количества людей, существенный материальный ущерб, масштабное экологическое загрязнение). Это может быть связано с усовершенствованиями в части строительных конструкций, более безопасным ведением технологических процессов, использованием современных систем обеспечения безопасности.

**Перечень аварий на морских нефтегазодобывающих платформах,
произошедших в 2007-2010 годах**

| Дата и место | Вид аварии / инцидента | Описание аварии / инцидента, основные причины и последствия |
|-----------------------------------|-------------------------------|---|
| 23.10.2007. Мексиканский залив | Штормовое столкновение, пожар | Штормовые ветры вызвали колебания платформы, что привело к удару о вершину клапана фонтанной арматуры соседней платформы. Произошла утечка нефти и газа, с последующим воспламенением. Погиб 21 человек |
| 24.05.2008. Северное море | Утечка нефти | На нефтедобывающей платформе «Статфорд А» произошла утечка нефти. Были эвакуированы 156 человек. Часть нефти попала в море |
| 15.06.2008. Северное море | Пожар на платформе | На норвежской нефтедобывающей платформе «Озеберг А» произошел пожар. Сразу же после возгорания четыре вертолета эвакуировали с платформы 311 нефтяников. Пожар удалось локализовать |
| 17.09.2008. Средиземное море | Технические неполадки | На платформу упала труба, которую должны были опустить в море. Погибли 3 человека |

Предотвращение аварий зданий и сооружений

Окончание таблицы

| Дата и место | Вид аварии / инцидента | Описание аварии / инцидента, основные причины и последствия |
|--------------------------------------|------------------------|--|
| 31.10.2008. Северное море | Утечка нефти | На нефтедобывающей платформе «Heather Alpha» произошла утечка нефти. С платформы были эвакуированы 56 человек, немногим более тридцати остались на платформе для устранения последствий аварии. Возгорания не произошло |
| 24.03.2009. Шельф о. Сахалин | Утечка нефти | В результате сбоя в работе одного из узлов на морской платформе «Моликпак» на лед, окружающий платформу, попало 165 литров углеводородов. Последствия аварии были ликвидированы оперативно, загрязнение моря не произошло |
| 26.05.2009. Гвинейский залив | Нападение на платформу | Сотрудники службы безопасности нефтяной платформы компании Total отразили нападение нигерийских боевиков на скоростной лодке |
| 01.11.2009. Тиморское море | Пожар на платформе | У северо-западного побережья Австралии произошел пожар на нефтяной платформе тайландской компании PTT Exploration & Production. Пожар начался во время работ по ликвидации утечки нефти. Никто из рабочих на платформе не пострадал. Утечка нефти была обнаружена 21 августа; за этот период в море вылилось более 28 тысяч баррелей сырой нефти |
| 20.04.2010. Мексиканский залив | Пожар на платформе | На буровой нефтедобывающей платформе «Deepwater Horizon» компании Transocean Ltd. произошел пожар. Спустя два дня она затонула. Платформу успели покинуть 115 человек, 11 погибли. Ведется расследование причин аварии |

Основными физическими проявлениями аварий и сопровождающими их поражающими факторами на нефтегазодобывающих платформах являются:

- газопроявления при бурении, обустройстве или при капитальном ремонте скважин, утечки газа на этапе эксплуатации скважин, фонтанирование, в том числе с воспламенением газа и образованием вертикальной, наклонной или настильной струи пламени;
- разрыв трубопровода неразделенной продукции или технологического газопровода, разрушение емкости, аппарата, установки с природным газом под давлением с выбросом, в том числе с воспламенением газа

- и образованием струевых пламен или пожара в загроможденном пространстве, или с образованием зоны загазованности и последующим задержанным воспламенением и дефлаграционным сгоранием газозвушной смеси;
- утечка природного газа внутри помещения с образованием взрывоопасной газозвушной смеси, воспламенением смеси и ее взрывное превращение по дефлаграционному типу с образованием волны сжатия и пожара колонного типа в загроможденном пространстве;
 - взрыв топливно-воздушной смеси (ТВС) в емкостях с газовым конденсатом, метанолом, дизельным топливом с последующим разливом и воспламенением горючих жидкостей и горением в виде пожара пролива с распространением вблизи места аварии поражающих факторов: осколков емкостей, воздушной волны сжатия, прямого воздействия пламени и теплового излучения от пламени;
 - утечка горючей жидкости (дизельного топлива, турбинного масла, метанола) из емкости, резервуара, технологического трубопровода с образованием лужи пролива и испарением жидкости с поверхности разлива; воспламенение топливно-воздушной смеси от какого-либо источника зажигания, находящегося вблизи лужи пролива с возникновением воздушной волны сжатия, образующейся при взрывном сгорании смеси, прямого воздействия пламени при сгорании облака ТВС и теплового излучения от пламени пожара пролива.

Наиболее тяжелыми по своим последствиям являются аварии с взрывом топливно-воздушных смесей, расчет последствий которых для наружных установок («внешний взрыв») проводится согласно [3, 4].

Основная опасность взрывных воздействий на нефтегазовых платформах, способная привести к полному разрушению платформы, связана с «внутренним взрывом», возникающим вследствие выброса горючих веществ (газ, нефть, продукция скважин) в замкнутые или полужамкнутые помещения (модули), воспламенения и взрыва (в режиме дефлаграции или детонации) топливно-воздушной смеси газообразных горючих веществ с воздухом.

Согласно п.1.4. СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия» [6], 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 об учете риска взрыва также представлены в ст.11, 16, 30 технического регламента «О безопасности зданий и сооружений» [1].

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, что 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 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 рис. 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».

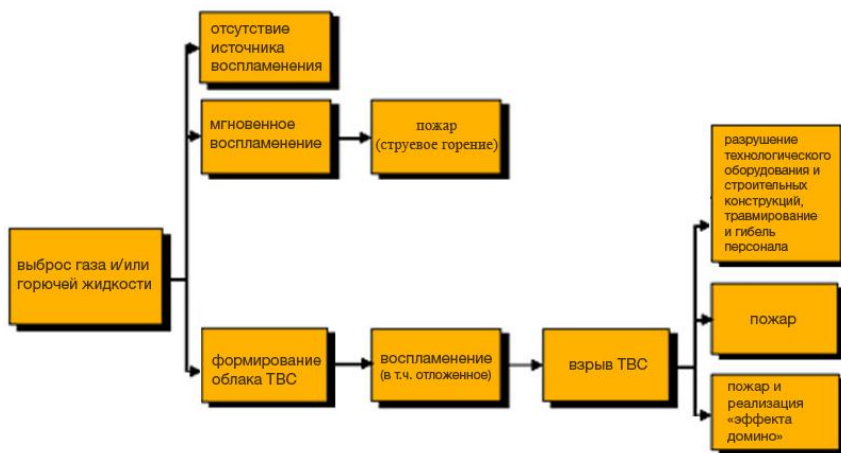


Рис. 1. Схема («дерево событий») развития аварийных ситуаций с выбросом горючих газов или горючей жидкости в атмосферу

Проблеме взрывных нагрузок в помещениях посвящены многочисленные исследования в России (ВНИИПО, МГСТУ и др. [7-12]) и за рубежом. Анализ существующих методических нормативных и ведомственных документов, определяющих площадь сбросных проемов, легко-сбрасываемых конструкций (ЛСК) для снижения взрывного давления до безопасного, показывает необходимость их совершенствования. Большинство методик предназначено для расчета взрывных нагрузок и ЛСК для помещений промышленных и гражданских строений, которые не вполне подобны помещениям (модулям/технологическим блокам), характерным для морских платформ. Кроме того, указанные методики не учитывают вероятность возникновения взрывных нагрузок, алгоритм определения которых аналогичен методологии количественного анализа риска [1, 5].

Программный комплекс FLACS (FLame ACceleration Simulator)¹, являющийся наиболее распространенным для оценки риска аварий на нефтегазовых объектах, позволяет проводить численное моделирование процессов истечения, распространения и воспламенения газа в различных помещениях, рассчитывать параметры взрывных нагрузок (давление, импульс, время) с учетом вероятностей различных сценариев аварийных ситуаций.

Последствия взрыва ТВС зависят от различных факторов, таких как:

- тип горючего вещества;
- размер и концентрация в облаке ТВС;
- расположение и сила источника воспламенения;
- расположение и размеры элементов конструкций и оборудования в помещении.

При расчетах взрывных нагрузок должны учитываться различные сочетания этих параметров. Рассмотрим влияние некоторых из них немного подробнее.

На опасных производственных объектах, в том числе на нефтегазодобывающих платформах, при различных неполадках и аварийных ситуациях возникают условия для образования топливно-воздушных смесей с высоким уровнем неоднородности состава в диапазоне от нижнего до верхнего концентрационного предела воспламенения. При такой концентрационной неоднородности смесей возникают существенные изменения скоростей горения и других параметров разрушающей способности взрывного горения и ударных волн. При больших объемах ТВС и наличии различного оборудования возникает турбулентность в местах контакта потока с препятствиями, что приводит к детонации газовой смеси в

¹ Данные сайта www.gexcon.com.

некоторых областях. В этих областях за очень короткий промежуток времени (~ 1 мс) давление достигает высоких значений ($\sim 1,5$ МПа) [13], что может привести к сильным локальным разрушениям не в точке зажигания, а в удаленных от нее участках, где состав горючей смеси наиболее близок к стехиометрическому. Результаты численного моделирования процессов распространения газа в помещении платформы, выполненного с помощью программного комплекса FLACS, приведены на рис.2.

Существенное влияние на взрывные нагрузки оказывает положение источника иницирования. При перемещении источника иницирования (при поддержании постоянными других параметров) избыточное давление взрыва может существенно меняться (рис.3).

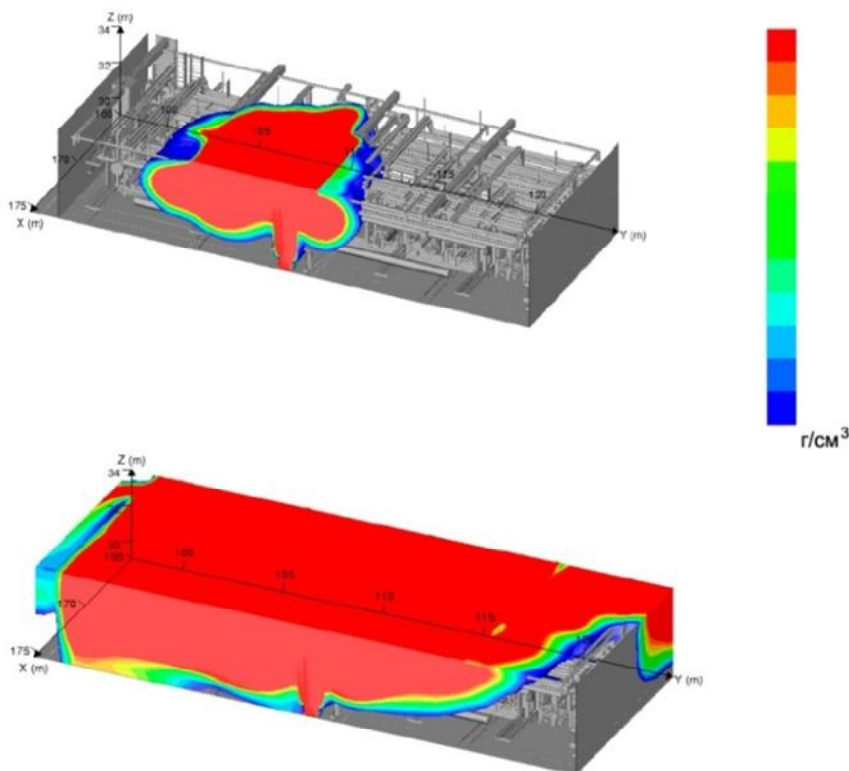


Рис. 2. Пример рассеяния газа в помещении, рассчитанный использованием FLACS (начальная скорость утечки 15 кг/с; представлена ситуация через 5 и 30 с соответственно)

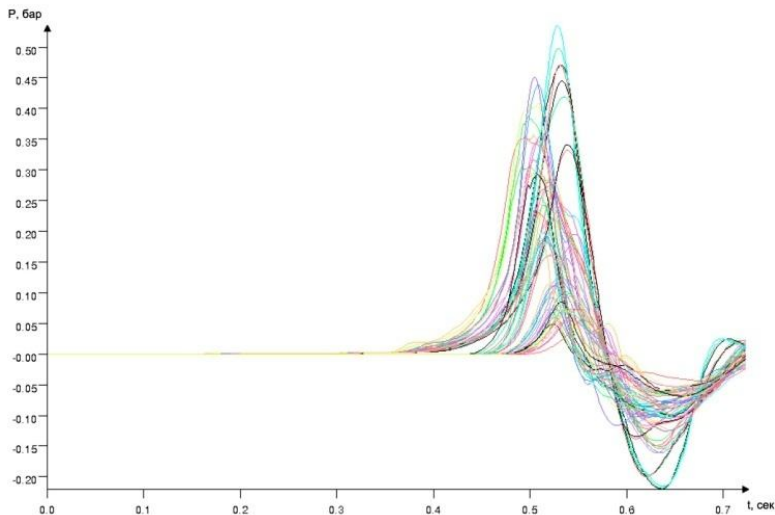


Рис. 3. Динамическое развитие избыточного давления при моделировании взрыва (с использованием FLACS); взрыв контролируется по 64 контрольным точкам

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). Критерием приемлемости в данном случае считается давление, вероятность возникновения которого не выше $1 \cdot 10^{-4}$ 1/год (рис.4).

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 объектах нефтегазовых месторождений, возможно, выполняя всесторонний анализ безопасности, с учетом статистики и выявленных причин реальных аварий.

Процедуры анализа риска и декларирования промышленной безопасности, осуществляемые на этапе проектирования, дают возможность оценить уровень безопасности объектов нефтегазовых месторождений. Результаты анализа риска позволяют планировать и осуществлять организационные и технические меры обеспечения безопасности и снижения возможности возникновения аварийных ситуаций и ущерба от них.

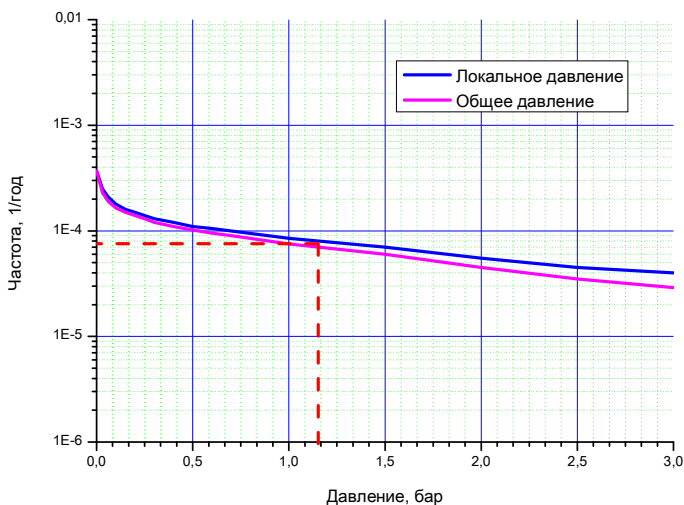


Рис. 4. Пример зависимости «давления взрыва – частота взрыва» для конкретного технологического блока платформы

Библиографический список

1. Федеральный закон №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 г. Принят Государственной Думой 23.12.2009 г., одобрен Советом Федерации 25.12.2009 г.
2. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. Утверждена Госгортехнадзором России 10.07.2001 г. №30.
3. РД 03-409-01. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей // Методики оценки последствий на опасных производственных объектах: Сб.док. - Сер.27. - Вып.2. - М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2005. - С. 4–34.
4. РД-03-26-2007. Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ. - Сер.27. - Вып.6. - М.: НТЦ «Промышленная безопасность».
5. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. Утверждена приказом МЧС России №404 от 10.07.2009 г.
6. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. Утвержден постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 29.08.1985 г. №135. Введен в действие 01.01.1987 г.

7. 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.
8. Казеннов В.В. Динамические процессы дефлаграционного горения во взрывоопасных зданиях и помещениях. Дисс. ... д-ра техн.наук. – М.: МГУ, 1997.
9. Годжелло М.Г. Расчет площади легкобрасываемых конструкций для зданий и сооружений взрывоопасных производств. – М.: Стройиздат, 1982. – 49 с.
10. 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.
11. Орлов Г.Г. Легкобрасываемые конструкции для взрывозащиты промышленных зданий. - М.: Стройиздат, 1987.
12. Пилюгин Л.П. Конструкции сооружений взрывоопасных производств. - М.: Стройиздат, 1988.
13. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. – М.: Химия, 1991.