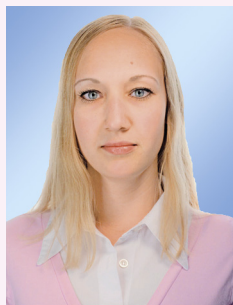


УДК 622.242.4.:622.323:541.126.011.4

© Е.А. Самусева, 2011

ПРОБЛЕМЫ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВОВ НА МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТАХ



Е.А. Самусева,
научн. сотрудник
(ЗАО НТЦ ПБ)

Обращение на морских нефтегазовых объектах пожаровзрывоопасных и горючих веществ (газ, нефть, продукция скважин) определяет необходимость оценки опасности взрыва и устойчивости платформ при взрывных нагрузках и воздействиях.

Circulation of fire and explosion hazardous, and combustible materials (oil, gas, well production) at offshore oil and gas facilities establishes the necessity of assessment of explosion hazard and platforms stability at blast loads and their effects.

Ключевые слова: морские нефтегазовые объекты, анализ аварийных выбросов, взрывные нагрузки.

Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений относятся к сфере производственной деятельности повышенной опасности. Отличительная особенность аварий на морских нефтегазовых объектах — скоротечность развития аварийных процессов, связанных с выбросом углеводородов и их горением в условиях плотного размещения оборудования.

Основная опасность масштабных разрушений морских площадочных объектов связана с возможностью выброса горючих веществ (газ, нефть и т.п.) в замкнутые или полужамкнутые помещения (модули) и последующим воспламенением и взрывом (в режиме дефлаграции или детонации) топливно-воздушной смеси (ТВС).

Как показывает анализ последствий аварийных взрывов на морских нефтегазовых объектах, наибольшее количество травм и человеческих жертв вызвано обрушением конструкций, поэтому актуальна идентификация основных факторов, определяющих их устойчивость при воздействии взрывных нагрузок.

Для разработки мероприятий по предотвращению аварий и снижению их последствий необходимо понимание процессов образования и воспламенения ТВС, а также возникновения нагрузок и воздействий — результатов аварийного взрыва.

Существенное влияние на последствия аварийного взрыва ТВС оказывает объем аварийной утечки (выброса). В случае крупной утечки в помещении очень быстро достигается концентрация ТВС, превышающая верхний предел взрываемости. Фактически взрыв (сгорание) ТВС может быть лишь в небольшом объеме помещения. Малые утечки характеризуются медленным смешением горючей смеси

с воздухом, но образующаяся ТВС может занимать объем всего помещения.

Для оценки наиболее вероятного размера утечки были рассмотрены данные об аварийности на морских нефтегазовых объектах. Сведения об аварийности на российских морских нефтегазовых объектах практически отсутствуют в открытой печати. Наиболее полная статистика об авариях и инцидентах на морских нефтегазовых объектах приведена в зарубежных источниках. Подробный анализ аварийных выбросов и утечек проводят зарубежные компании, например: Health and Safety Executive [1], Det Norske Veritas [2], Oil & Gas UK [3], Statoil [4] и др. Компания Health and Safety Executive каждый год публикует Отчеты о безопасности на море (Offshore safety statistics bulletin), которые содержат расширенную статистику аварийности (Великобритания), в том числе на шельфе. При этом выбросы углеводородов классифицируются как крупные, значительные и незначительные, учитываются утечки газа, нефти и двухфазных смесей (см. таблицу).

Рассмотрены материалы отчета «Статистика происшествий, травм и заболеваний на море за 2009–2010 гг.»¹ [5] и аналогичных отчетов за предыдущие годы [6–10], которые дают возможность проанализировать выбросы углеводородов за период 1994–2010 гг. Распределение числа утечек по годам приведено на рис. 1 (числа в скобках — общее число утечек за год). Ежегодно происходит более 150 утечек углеводородов (газовая и жидкая фаза). Большую часть всех аварийных ситуаций составляют инциденты с незначительными утечками, но ежегодно отмечаются и аварии, сопровождающиеся крупными утечками. Крупные выбросы газа

¹ Отчетный год с 1 апреля по 31 марта.

Классификация выброса	Характеристика выброса		
	газа	жидкости (нефть, конденсат)	двухфазных смесей
Крупный	Масса выброса > 300 кг Массовый расход >1 кг/с, продолжительность >5 мин	Масса выброса >9000 кг Массовый расход >10 кг/с, продолжительность >15 мин	Масса жидкого выброса >300 кг Массовый расход жидкости >1 кг/с, продолжительность >5 мин
Незначительный	Масса выброса <1 кг Массовый расход <0,1 кг/с, продолжительность <2 мин	Масса выброса <60 кг Массовый расход <0,2 кг/с, продолжительность <5 мин	Масса жидкого выброса <1 кг Массовый расход жидкости < 0,1 кг/с, продолжительность <2 мин
Значительный	Характеризуется промежуточными значениями между крупным и незначительным выбросами		

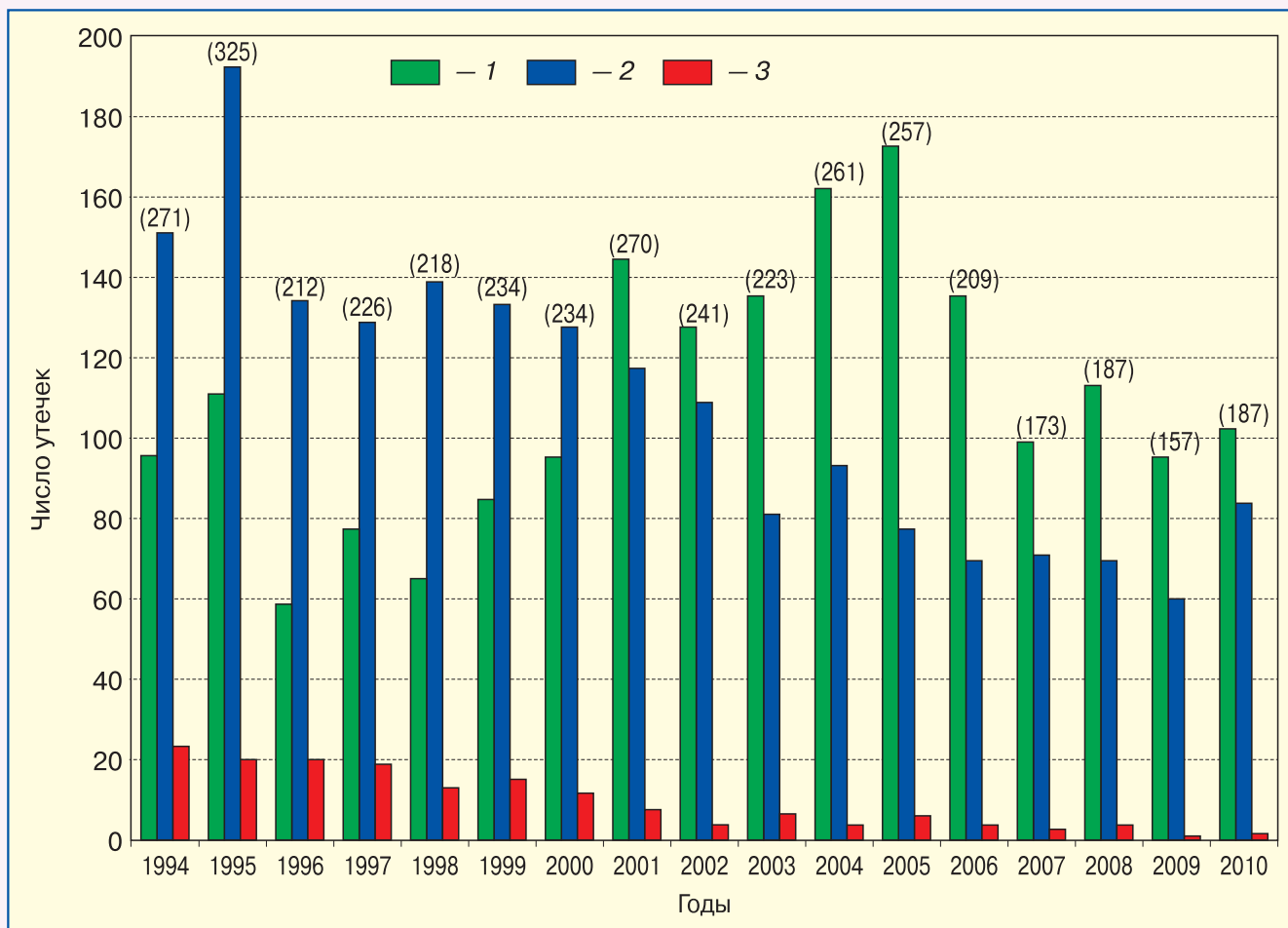


Рис. 1. Распределение числа утечек углеводородов на море по годам (1994–2010 гг.):

1, 2, 3 — утечки соответственно незначительные, значительные, крупные

представляют существенный риск эскалации события до более серьезного в случае возгорания ТВС, в том числе в связи с возможностью дрейфа газовых облаков в другие зоны морского нефтегазодобывающего объекта.

Проведен подробный анализ крупных и значительных утечек, которые были проранжированы по массам. Соотношение количества выбросов с различной массой за 2008–2010 гг. приведено на рис. 2 [5–7]. В целом прослеживается снижение количества утечек массой более 100 кг, что, возможно, связано с совершенствованием систем их обнаружения и противоаварийной защиты.

Поскольку с точки зрения вероятности образования и взрыва облака ТВС наиболее опасны утечки газов, представляет значительный интерес отношение выбросов углеводородного газа к общему их числу (рис. 3). За последние четыре года утечки газа составляют 59–84 % общего числа выбросов углеводородов.

С учетом модульной конструкции современных нефтегазодобывающих платформ (рис. 4) рассмотрено воздействие взрывных нагрузок на различные структурные компоненты (перекрытия, палубы, стены, ребра жесткости и др.), которые в первом приближении можно разделить на следующие группы [11]:

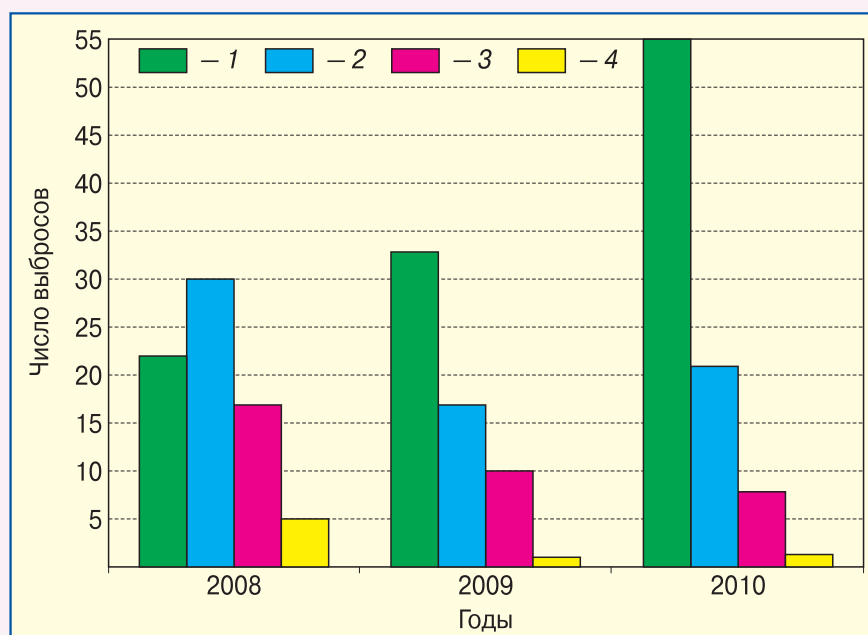


Рис. 2. Соотношение числа выбросов с различной массой:
1 — менее 25 кг; 2 — более 25 кг; 3 — более 100 кг; 4 — более 300 кг

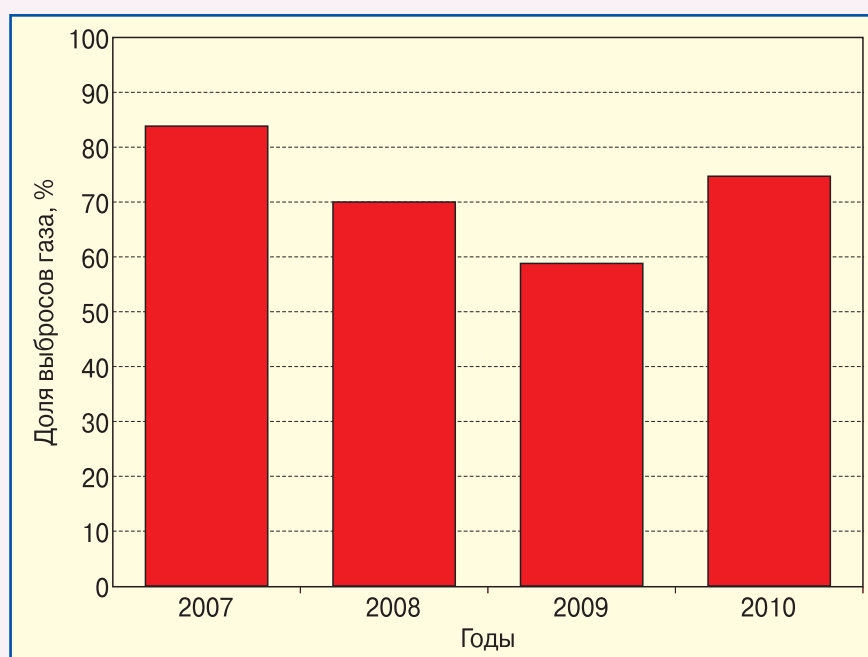


Рис. 3. Отношение выбросов углеводородного газа к общему их числу [5–8]

обшивка, ребра жесткости палубы, стены, в том числе взрывозащитные;

основные структуры — модули или часть верхних строений платформы;

поддерживающие структуры, такие как внешняя обшивка и основание платформы.

Воздействие передается от группы к группе, при этом все структурные компоненты находятся во взаимодействии. Поэтому для прогнозирования результирующего воздействия взрывных нагрузок и

оценки устойчивости сооружений необходимо анализировать каждую из указанных групп отдельно и во взаимосвязи.

Для повышения устойчивости существующих нефтегазодобывающих объектов предпринимаются:

модернизация и усиление мест концентрации напряжений (места соединений балок, задвижек и т.д.) и несущих стен;

установка легкосбрасываемых конструкций (ЛСК), взрывоустойчивых стен, противопожарных преград;

обеспечение эффективной вентиляции.

Вентиляция (естественная или принудительная) позволяет в помещении снизить концентрацию опасного вещества, способного привести к взрыву, а также уменьшить вероятность формирования облака горючей смеси и его зажигания.

Лучший вариант для обеспечения эффективной вентиляции — полностью открытая платформа. Это отчасти возможно реализовать на платформах в южных регионах (месторождения Каспийского моря и Мексиканского залива). Однако в суровом климате северных регионов (месторождения о. Сахалин, Северного и, особенно, Баренцева морей) высокая степень защиты платформы и находящегося на ней персонала от атмосферных воздействий крайне необходима [11, 12]. Для таких нефтегазодобывающих платформ используют полностью закрытые модули в сочетании с принудительной вентиляцией и ЛСК или частично

закрытые модули (некоторые из сторон которых остаются открытыми). Необходимость обеспечения герметизации увеличивает вероятность возникновения взрыва.

В целом системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха нефтегазодобывающих платформ предназначены для решения задач:

предотвращения появления потенциально опасной концентрации легковоспламеняющихся газовых смесей на опасных участках (за счет

обеспечения достаточной вентиляции);

предотвращения поступления легковоспламеняющихся газозвоздушных смесей на безопасные участки, примыкающие к опасным либо связанные с ними (путем создания избыточного давления);

обеспечения высокой эксплуатационной готовности важнейшего вентиляционного оборудования на участках, необходимых для работы в аварийных условиях или при отсутствии основного электропитания;

обеспечения контролируемых условий среды, в которых гарантирована эффективная работа персонала, технологических установок и систем.

В помещениях категории А по взрывопожарной и пожарной опасности [13], к которым относятся многие модули нефтегазодобывающих платформ, предусмотрены наружные ЛСК. Их минимальную площадь определяют расчетом согласно п. 5.9 СНиП 31-03—2001 [14]. При отсутствии расчетных данных площадь ЛСК должна составлять не менее $0,05 \text{ м}^2$ на 1 м^3 объема помещения категории А. Однако конкретные нормативные методики расчета на настоящий момент отсутствуют, что обусловлено сложностью моделирования взрывных процессов при авариях в помещениях.

При взрыве в помещении, имеющем специальные сбросные проемы (например, ЛСК), после воспламенения газопаровоздушных смесей (ГПВС) фронт пламени, распространяясь как проницаемый поршень, перемещает большую часть несгоревшей (свежей) ГПВС в пространство перед фронтом пламени. Поэтому почти сразу после воспламенения начинается истечение непрореагировавшей смеси через открытые проемы в атмосферу (время задержки определяется как отношение расстояния между точкой воспламенения и сбросным проемом к скорости звука в свежей смеси). Вследствие истечения непрореагировавшей смеси через открытый или вскрывшийся проем только часть первоначально имевшейся в объеме помещения горючей смеси успевает прореагировать (реакция окисления) при внутреннем дефлаграционном взрыве. Остальная часть смеси сбрасывается через проем в атмосферу.

Проблеме взрывных нагрузок посвящены многочисленные исследования в России и за рубежом.

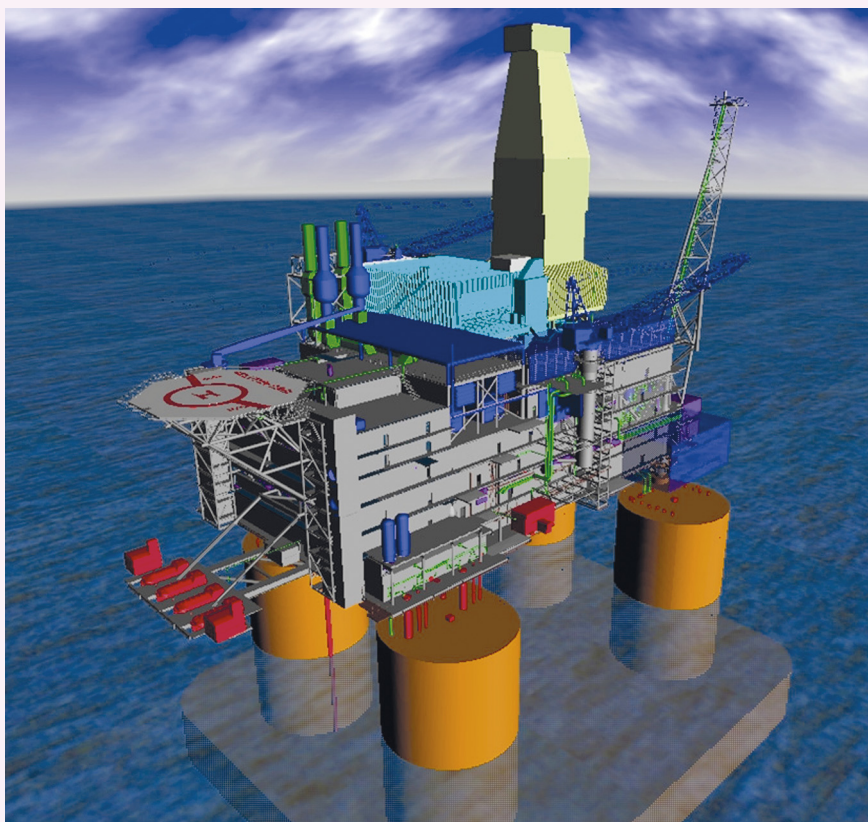


Рис. 4. Общий вид современной модульной нефтегазодобывающей платформы

Для расчета параметров внутренних взрывов широко применяют методики, разработанные сотрудниками Московского государственного строительного университета [15], которые ранее были использованы в СТО РД Газпром 39-1.10-084—2003. Однако в настоящее время этот документ отменен в связи с вступлением в действие СТО Газпром 2-2.3-400—2009 [16]. Следует учитывать, что существующие методики недостаточно верифицированы для использования их на практике, а также предназначены для расчета взрывных нагрузок и площади ЛСК для помещений промышленных и гражданских строений, которые не вполне подобны помещениям на морских нефтегазодобывающих платформах. Кроме того, указанные методики не учитывают вероятность возникновения взрывных нагрузок.

Методы, используемые для оценки взрывных нагрузок, могут быть весьма разнообразными и приводить к различным результатам. Существуют отличия в наборе исходных данных, принятии допущений и методах моделирования аварийных процессов. Основные различия объясняются рядом предположений и допущений, принятых при использовании уравнений, описывающих аварийное истечение вещества, воспламенение и режимы взрывного превращения; оценке частоты аварийных ситуаций; определении вероятности воспламенения ТВС; установлении типа взрывного

превращения (дефлаграция или детонация); расчете скорости фронта пламени; выборе критериев устойчивости перегородок, помещений, сооружений к ударной волне и тепловому воздействию; оценке возможности эскалации аварийного взрыва на соседние помещения, модули.

В части объемов облака ТВС в большинстве случаев принимают наиболее консервативные допущения:

объем модуля считается полностью заполненным (на 100 %) газом со стехиометрической концентрацией;

объем газового облака в модуле определяется исходя из максимальной возможной загрузки всего оборудования.

В России требования об учете риска взрыва представлены в ст. 11, 16, 30 технического регламента «О безопасности зданий и сооружений» [17], в Федеральном законе «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [18] и ряде нормативных документов.

Существуют различия в том, каким образом оценка риска осуществляется и включается в проект в России и за рубежом, где критерии приемлемости приводятся не в государственных документах, а определяются стандартами компаний или обосновываются в процессе проектирования [12].

Обоснование мер по снижению риска взрывов ТВС, в том числе на морских нефтегазовых опасных производственных объектах, должно быть выполнено с учетом всестороннего анализа безопасности, статистики и выявленных причин реальных аварий. Сложность учета аварийных процессов определяет необходимость численного моделирования на основе решения систем уравнений, описывающих воспламенение и распространение взрывных превращений в реальных условиях морской нефтегазодобывающей платформы. В этой связи необходимо дальнейшее совершенствование методологии оценки взрывных нагрузок на основе вероятностных подходов.

Список литературы

1. *Health and Safety Executive*. URL: <http://www.hse.gov.uk> (дата обращения: 22.07.2011).
2. *Pet Norske Veritas*. URL: <http://www.dnv.com> (дата обращения 22.07.2011).
3. *Oil & Gas UK*. URL: <http://www.oilandgasuk.co.uk> (дата обращения 22.07.2011).
4. *Statoil*. URL: <http://www.statoil.com> (дата обращения 22.07.2011).
5. *Offshore Injury*, III Health and Incident Statistics 2009/2010 / Health and Safety Executive. — Issue:

December 2010. URL: <http://www.hse.gov.uk> (дата обращения 22.07.2011).

6. *Offshore Injury*, III Health and Incident Statistics 2008/2009/ Health and Safety Executive. — Issue: December 2009. URL: <http://www.hse.gov.uk> (дата обращения 22.07.2011).

7. *Offshore Injury*, III Health and Incident Statistics 2007/2008/ Health and Safety Executive. — Issue: December 2008. URL: <http://www.hse.gov.uk> (дата обращения 22.07.2011).

8. *Offshore Injury*, III Health and Incident Statistics 2006/2007/ Health and Safety Executive. — Issue: January 2008. URL: <http://www.hse.gov.uk> (дата обращения 22.07.2011).

9. *Offshore Injury*, III Health and Incident Statistics 2005/2006/ Health and Safety Executive. — Issue: February 2007. URL: <http://www.hse.gov.uk> (дата обращения 22.07.2011).

10. *Offshore Injury*, III Health and Incident Statistics 2004/2005/Health and Safety Executive. — Issue: March 2006. URL: <http://www.hse.gov.uk> (дата обращения 22.07.2011).

11. *Structural strengthening of offshore topsides structures as part of explosion risk reduction methods/ Prepared by The Steel Construction Institute, 2006*. URL: <http://www.hse.gov.uk> (дата обращения 22.07.2011).

12. *Российско-Норвежский проект «БАРЕНЦ–2020»: гармонизация стандартов в области анализа риска/ Б. Пааске, М.В. Лисанов, В.С. Сафонов, А.А. Петрулевич // Безопасность труда в промышленности. — 2011. — № 4. — С. 11–15.*

13. *СП 12.13130.2009*. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности / МЧС России: Введ. 01.05.2009. — М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.

14. *СНиП 31-03–2001*. Производственные здания / Госстрой России: Введ. 01.01.2002. — М.: ГУП ЦПП, 2001.

15. *Влияние места воспламенения газозудной смеси на величину взрывного давления в вытянутых зданиях. Объекты гражданской обороны. Защитные сооружения/ В.В. Казеннов, А.В. Мишуев, А.А. Комаров, Т.В. Агаджанян: Сб. науч. тр. — № 6. — М.: ЦНИИПромзданий, 1992.*

16. *СТО Газпром 2-2.3-400–2009*. Методика анализа риска для опасных производственных объектов газодобывающих предприятий ОАО «Газпром» / ОАО «Газпром»: Введ. 05.10.2009. — М.: ОАО «Газпром», 2009.

17. *Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» // Рос. газ. — № 255 (5079). — 2009. — 31 дек.*

18. *Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» // Рос. газ. — № 163 (4720). — 2008. — 1 авг.*

samuseva@safety.ru

Поправка!

В № 2 журнала за 2011 г. на с. 60 рис. 4, в и рис. 4, г следует поменять местами.