

Е. В. Тарахно, начальник кафедры процессов горения Университета гражданской защиты Украины, кандидат технических наук, доцент,

В. Н. Сырых, доцент кафедры надзорно-профилактической деятельности в сфере гражданской защиты Университета гражданской защиты Украины, кандидат технических наук, доцент,

Р. В. Тарахно, эксперт НИЭКЦ ЛУ УМВД Украины на железнодорожном транспорте

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗРЫВОВ ГАЗОПАРОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ В ОТКРЫТОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Наведено алгоритм розрахунку параметрів вибуху газопароповітряної суміші у відкритому просторі для його формалізації в автоматизованих інформаційних системах з метою підвищення ефективності проведення пожежно-технічних експертиз.

Приведен алгоритм расчета параметров взрыва газопаровоздушной смеси в открытом пространстве для его формализации в автоматизированных информационных системах с целью повышения эффективности проведения пожарно-технических экспертиз.

Експертиза взрывов газопаровоздушних смесей (ГПВС) в открытом пространстве направлена на определение условий образования взрывоопасных концентраций горючих веществ, возможности воспламенения, характера и последствий развития взрывоопасного события. Исследование механизма образования и воспламенения ГПВС представляет определенные трудности вследствие быстротечности процесса, а также из-за уничтожения или повреждения объектов, содержавших опасные вещества. Серьезную потенциальную опасность представляют объекты, использующие большие объемы горючих газов и легковоспламеняющихся жидкостей (АЗС, склады сжиженных газов и нефтепродуктов, газопроводы и нефтепроводы). Это обусловлено в первую очередь возможностью выброса больших объемов горючих веществ в атмосферу с их последующим взрывом. Так, за последние годы произошло несколько техногенных катастроф на магистральном трубопроводе Уренгой – Помары – Ужгород, по факту которых были возбуждены уголовные дела и назначены судебные комплексные инженерно-технические экспертизы.

Определение причин и динамики развития чрезвычайных ситуаций, связанных с аварийной утечкой горючих газов и паров с последующим воспламенением ГПВС, относится к компетенции пожарно-технической экспертизы (ПТЭ). Одним из перспективных направлений развития

судебных экспертиз является применение новейших информационных технологий для исследования версий возникновения пожара (взрыва) в практике пожарно-технических исследований¹. Применение в инженерно-технических экспертизах автоматизированных информационных систем (АИС) позволит проводить такие исследования с минимальными затратами времени на поиск нужной информации и использовать научно обоснованные методики и данные. Поэтому моделирование чрезвычайных ситуаций, связанных с аварийным выходом горючего газа или жидкости из технологического оборудования и образованием зон взрывоопасной загазованности, расчет опасных параметров взрыва с целью прогнозирования последствий таких ситуаций являются актуальной проблемой.



Рисунок. Схема исследования взрыва газопаровоздушных смесей

¹ См.: *Сирих В. М.* Особливості та перспективи розвитку пожежно-технічної експертизи / В. М. Сирих, О. В. Тарахно // Проблемы пожарной безопасности : сб. науч. тр. — Х. : УГЗУ, 2008. — Вып. 24. — С. 181–185.

Для получения достоверных выводов о возможности возникновения пожаров и взрывов необходимо использовать научно обоснованные методики, адекватность которых подтверждается хорошим совпадением рассчитанных и фактически наблюдаемых или измеренных параметров. Существующие научные и нормативно-методические разработки по прогнозированию последствий аварийного выхода горючих веществ в окружающую среду дают алгоритм расчета таких параметров горения ГПВС, как мощность взрыва, избыточное давление в ударной волне, радиус поражения ударной волной, радиус и время жизни огненной сферы. Для повышения эффективности проведения ПТЭ, связанных с горением ГПВС, целесообразно формализовать в АИС методики расчетов параметров таких чрезвычайных ситуаций. На рисунке в общем виде предложена схема определения размеров зоны взрывоопасной загазованности, зоны поражения ударной волной взрыва, зоны поражения огненной сферой. Такая схема может быть положена в основу построения АИС ПТЭ.

Важным вопросом, который решается во время проведения ПТЭ технологических взрывов, является определение возможности разрушения зданий, сооружений и гибели людей от поражающего действия ударной волны и огненной сферы. Это позволяет подтвердить или опровергнуть версию возникновения и развития опасного события вследствие загорания ГПВС.

Степень разрушения окружающих строительных конструкций и поражения людей зависит от избыточного давления в ударной волне, которое создается вследствие резкого теплового расширения продуктов взрыва и распространяется по всем направлениям от центра взрыва. Избыточное давление в ударной волне можно установить по формуле¹

$$\Delta P = P_0 \left(0,8 \frac{m_{\text{ТНТ}}^{0,33}}{r} + 3 \frac{m_{\text{ТНТ}}^{0,66}}{r^2} + 5 \frac{m_{\text{ТНТ}}}{r^3} \right), \text{ кПа}, \quad (1)$$

где P_0 – атмосферное давление, кПа; $m_{\text{ТНТ}}$ – тротиловый эквивалент взрыва, кг; r – расстояние от геометрического центра ГПВС, м.

Для определения мощности взрыва традиционно используют тротиловый эквивалент, который учитывает, сколько килограммов тринитротолуола вызовут эквивалентное разрушение на том же расстоянии от центра взрыва, т. е. считается, что газопаровоздушные (ГПВ) взрывы могут моделироваться взрывами конденсированных взрывчатых веществ с учетом доли энергии, которая переходит в энергию ударной волны²

$$m_{\text{ТНТ}} = \frac{Q_r m_{\text{ГВ}}}{4520}, \text{ кг}, \quad (2)$$

где Q_r – теплота сгорания горючего вещества, кДж/кг; $m_{\text{ГВ}}$ – масса горючего вещества, которое взрывается, кг; 4520 – теплота взрыва тринитротолуола, кДж/кг.

¹ См.: Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою : НАПБ Б.03.002-2007. — К. : Держспоживстандарт України.

² См.: Бейкер У. Взрывные явления: оценка и последствия / [У. Бейкер, П. Кокс, П. Уэстрайн и др.] — М. : Мир, 1986.

Однако в отличие от горения конденсированных взрывчатых веществ горение ГПВС во взрывном режиме протекает лишь в внешней части облака, в которой концентрация горючего вещества находится в пределах от нижнего до верхнего концентрационного предела распространения пламени. Поэтому для оценки параметров взрыва ГПВ облака на открытом пространстве принимают, что во взрывном (кинетическом) горении участвует около 2% (максимально 10%) горючего вещества. Кроме того, горение конденсированных взрывчатых веществ протекает в детонационном режиме, в то же время переход дефлаграционного горения ГПВС в детонацию возможен только для узкого круга горючих газов, например водорода, ацетилена. Поэтому максимально возможный коэффициент полезного действия взрыва ГПВ облака во время дефлаграционного горения составляет не более 30%. Оставшаяся часть энергии переходит в нагретые продукты сгорания¹. Тогда тротиловый эквивалент взрыва ГПС облака можно рассчитать по формуле

$$m_{\text{ТНТ}} = \frac{0,3zQ_{\text{Г}}m_{\text{ГВ}}}{0,9 \cdot 4520}, \text{ кг}, \quad (3)$$

где 0,3 и 0,9 – соответственно доля энергии, которая расходуется на формирование ударной волны во время взрыва ГПВ облака и тринитротолуола; $m_{\text{ГВ}}$ – масса горючего вещества, поступившего в окружающую среду вследствие аварийной ситуации и образовавшего ГПВС, кг; z – коэффициент участия энергии паров и газов во взрыве.

Зоной разрушения и возможного травмирования людей считают площадь с принятым для расчета центром взрыва и границами, определенными радиусом поражения $r_{\text{пор}}$. Возможное разрушительное действие ударной волны во время взрыва можно оценить на основании обобщенных экспериментальных данных по аппроксимационной формуле²

$$r_{\text{пор}} = \frac{k_1 \sqrt[3]{m_{\text{вз}}}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{m_{\text{вз}}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{6}}}, \text{ М}, \quad (4)$$

где k_1 – безразмерный коэффициент уровня влияния взрыва, который определяют в зависимости от избыточного давления в ударной волне; $m_{\text{вз}}$ – масса горючего вещества, которое участвует во взрыве и равняется $m_{\text{ГВ}} \cdot z$, кг.

¹ См.: Таубкин С. И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы / С. И. Таубкин. — М. : ВНИИПО МВД России, 1999.

² См.: Маршалл В. Основные опасности химических производств / В. Маршалл. — М. : Мир, 1989.

Тем не менее в литературе¹ предлагается другая формула для расчета радиуса зон поражения с заданным избыточным давлением на границе зоны:

$$r_{\text{пор}} = k_i \frac{\sqrt[3]{0,45m_{\text{гв}}}}{\left[1 + \left(\frac{7066}{m_{\text{гв}}}\right)^2\right]^{\frac{1}{6}}}, \text{ м.} \quad (5)$$

Нами были проведены расчеты радиусов зон разрушения различной степени (от полного разрушения зданий и сооружений до повреждений стекла) по формулам (4) с разным значением коэффициента участия горючего вещества во взрыве и (5) для пропановоздушного облака, образовавшегося при выходе 35 т пропана в открытое пространство. В таблице приведено сравнение расчетных радиусов поражения с экспериментальными данными, зафиксированными во время взрыва, произошедшего вследствие аварийной разгерметизации технологической емкости с 35 т пропана².

Таблица

Расстояние от технологического оборудования до зданий, которые имеют разную степень разрушения во время взрыва облака пропана

Степень разрушения промышленных и жилых зданий	Избыточное давление в ударной волне, кПа	Коэффициент k_i	Расстояние от технологического оборудования до разрушенного объекта, м				
			наблюдаемое	расчетное*			
				$r_{z=0,1}$	$r'_{z=0,3}$	r''	$1,7 r''$
Полное разрушение	≥ 100	3,8	125	52	82	95	161
Сильное разрушение (50% полного разрушения)	53	5,6	225	76	120	140	238
Средние повреждения (разрушение зданий без их обвала)	28	9,6	450	131	206	240	410
Умеренные повреждения (повреждение внутренних перегородок, дверей)	12	28	800-1200	383	600	700	1200
Малые повреждения (разбито не более 10% стекла)	3	56	2000-2300	767	1200	1400	2380

*Расстояния $r_{z=0,1}$, $r'_{z=0,3}$ рассчитанные по формуле (4) с коэффициентом участия энергии газов во взрыве 0,1 и 0,3 соответственно, r'' – по формуле (5)

¹ См.: Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определение параметров их действия : РБ Г-05-039-96. — М. : Госатомнадзор России, 2000.

² См.: Бесчастнов М. В. Оценка и обеспечение взрывобезопасности промышленных объектов / М. В. Бесчастнов // Безопасность труда в промышленности. — 1988. — № 1. — с. 52–97.

Из таблицы видно, что фактические зоны поражения не совпадают с рассчитанными значениями. Однако следует учесть, что наземные взрывы более мощные, чем взрывы тех же зарядов в свободном объеме, из-за формирования полусферической волны взрыва и отражения ударной волны от земли. По аналогии со взрывами конденсированных взрывчатых веществ, для которых мощность контактного наземного взрыва на неразрушенной преграде умножается на величину 2η , где η – коэффициент, учитывающий затраты энергии на образование воронки в грунте (для средних грунтов $\eta = 0,6-0,65$, для плотных грунтов $\eta = 0,8-0,9$), для расчета размеров зоны поражения избыточным давлением взрыва ГПВС было бы целесообразно умножить безразмерный коэффициент уровня влияния взрыва k_i на величину $2 \cdot 0,85 = 1,7$. Введение поправочного коэффициента 1,7 к формуле (5) дает расстояния, которые достаточно близко совпадают с фактически наблюдаемыми зонами поражения.

Предложенная схема исследования взрывов ГПВС во время проведения ПТЭ дает возможность формализовать в АИС расчеты зон поражения ударной волной.

В. Д. Безвесільний, старший науковий співробітник Харківського НДІСЕ

ЕКСПЕРТНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПРИЧИН ВИБУХІВ, ПОВ'ЯЗАНИХ З РУЙНУВАННЯМ (РОЗГЕРМЕТИЗАЦІЄЮ) ГАЗОВИХ БАЛОНІВ

Розглянуто методичні підходи до розроблення більш досконалої методики визначення причин руйнації побутових газових балонів з наслідками комплексних вибухових явищ, оскільки проблема дослідження механізмів таких вибухів і їх причин є актуальною на сьогодні.

Рассмотрены методические подходы к разработке более совершенной методики определения причин разрушения бытовых газовых баллонов с последствиями комплексных взрывных явлений, поскольку проблема исследования механизмов таких взрывов и их причин актуальна на сегодня.

Проблема розв'язання завдань розслідування подій, пов'язаних з вибухами (руйнуванням, розгерметизацією) побутових газових балонів є не новою, але й зараз залишається актуальною щодо встановлення причин вибухо-пожежонебезпечних явищ.

Багато авторів (І. Е. Таубкін, Д. В. Прохоров, Ю. А. Роботько О. Ю. Пименов та ін.) досить широко розкрили питання щодо комплексного дослідження причин руйнування балонів. Руйнація побутових балонів із скрапленням газом, наприклад, тягне за собою їх розгерметизацію, аварійний витік газу в навколишнє середовище з наслідками утворення вибухонебезпечної суміші пари з повітрям, яка стає потенційним небезпечним чинником. Нерідко цей процес супроводжується двостадійним (каскадним)