

А. А. КОМАРОВ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

Д. А. КОРОЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, доцент, директор Института комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ikbs@mgsu.ru)

Н. В. ГРОМОВ, канд. техн. наук, заведующий лабораторией НТЦ "Взрывоустойчивость", Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: newdayru@bk.ru)

УДК 614.834

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ АВАРИЙНОГО ВЗРЫВА

На основании проведенной авторами экспертизы последствий аварийного взрыва описаны особенности расчета газодинамических параметров газозвушной смеси, формирующейся при аварии, что позволяет достаточно аргументированно восстановить сценарий развития аварии и установить меру ответственности участвующих в аварии сторон. На примере проведения экспертизы реальной взрывной аварии сделана попытка выделить некоторые особенности выполнения расчетов и определения значений в расчетах начальных исходных данных. Проведены численные расчеты процесса формирования взрывоопасного облака применительно к конкретной аварийной ситуации. На основании расчетов по определению расходов газа в различных областях горения через размеры областей горения сделан вывод, что именно при рассчитанных расходах картина взрывной аварии соответствует наблюдавшейся в действительности. Показана роль источника зажигания в формировании газозвушного облака и в развитии аварии на основании сравнительного анализа концентрационных полей, создаваемых различными источниками.

Ключевые слова: аварийный взрыв; техническая экспертиза; утечка газа; газозвушное облако; расчет полей концентраций.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.10.36-42

Введение

Аварийные взрывы достаточно часто сопровождаются человеческими жертвами. В связи с этим возбуждается уголовное дело, процедура ведения которого полностью регламентируется юридическими законами. С учетом того что следователи не обладают необходимыми знаниями в области процессов горения, они наделены полномочиями назначать технического эксперта, который помог бы разобраться в причинах аварии. Таким образом, существует определенная последовательность расследования аварийного взрыва, сопровождавшегося гибелью людей [1, 2]:

- ликвидация последствий взрыва;
- возбуждение уголовного дела;
- сбор следователем данных об аварии и при необходимости привлечение технического эксперта.

Указанная последовательность расследования обуславливает определенные особенности расчетов, на которые опирается привлеченный следователем эксперт в своих выводах [3]. В частности, эксперт в своем анализе может опираться только на данные, собранные следователем с соблюдением всех юридических норм. Поскольку следователи, как правило, впервые сталкиваются с подобными делами, часть необходимых для расчетов исходных данных ими не фиксируется и, наоборот, определенные малозначащие для восстановления сценария развития аварии данные фиксируются с особой тщательностью. Кроме того, следует отметить, что определенная часть исходных данных, необходимых для расчетов, может быть уничтожена в результате взрыва или при ликвидации его последствий, а часть имеет достаточно расплывчатый характер, так как они осно-

© Комаров А. А., Корольченко Д. А., Громов Н. В., 2017

ваны на показаниях очевидцев [4, 5]. С учетом того что взрывная авария достаточно скоротечна, многие показания очевидцев малоинформативны. Более того, часть свидетелей аварии умышленно искажает картину произошедшей аварии с целью отвести подозрения от себя или своей организации. Перечисленные особенности накладывают определенный отпечаток на весь процесс технической экспертизы [6, 7]. В настоящей работе мы ставим цель на примере проведения экспертизы реальной взрывной аварии попытаться выделить некоторые особенности выполнения расчетов и назначения в расчетах начальных исходных данных. Из этических соображений некоторые, не относящиеся к технической стороне дела, подробности об аварии приводиться не будут.

Анализ аварии, результаты расчетов

Аварийный взрыв произошел ночью в середине сентября в результате утечек из трубопроводов, принадлежащих двум различным организациям. При взрыве погибло четыре человека, приехавших к месту утечек на автомобиле. Автомобиль сгорел полностью. В момент аварии была безветренная, ясная погода (по метеосводкам — полный штиль).

На схеме места аварии (рис. 1) видны три области горения над аварийными свищами в трубопроводах. В дальнейшем будем обозначать их: Ф1 — над этанопроводом (Д219, принадлежит организации 1), Ф2 и Ф3 — над трубопроводом (Д325, принадлежит организации 2).

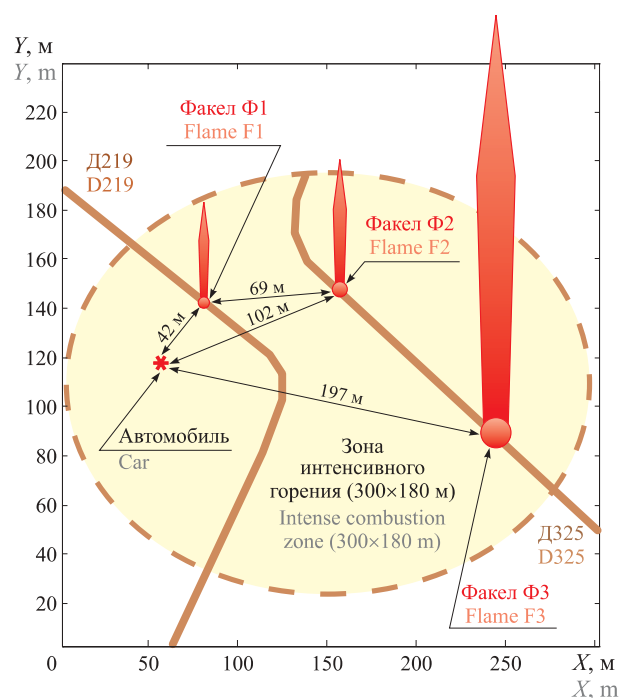


Рис. 1. Общая схема места аварии

Fig. 1. General diagram of the place of accident

Первоначальный вывод следователя заключался в том, что основной причиной аварии стала утечка газа из этанопровода. Такой вывод был мотивирован близостью факела Ф1 к месту сгоревшего автомобиля. Проведенная техническая экспертиза показала, что это не так: основной причиной аварийного взрыва послужили утечки с трубопровода (Д325), которые хотя и находились дальше, но имели большие расходы.

При численных расчетах процесса развития взрывной аварии принята расчетная область, приведенная на рис. 2. Перед проведением расчетов вероятного сценария развития взрывной аварии необходимо сделать следующие замечания. В связи с тем что достоверных данных по аварийным расходам над областями горения Ф1, Ф2 и Ф3, которые послужили причиной формирования взрывопожароопасного облака, нет, были проведены расчеты по имеющимся косвенным данным.

Для оценки аварийных расходов можно использовать два способа [8–10].

Первый способ основан на газодинамических соотношениях, описывающих процесс истечения газа из резервуара (трубы). Данный метод обладает тем недостатком, что не учитывает заглубления в грунт газопроводов и, соответственно, фильтрационных потерь давления и снижения расхода газа при его фильтрации через грунт на поверхность земли.

Второй способ основан на взаимосвязи площади фронта горения безнапорного факела с расходом газа. Другими словами, только при определенном расходе газа может сформироваться фронт горения заданной площади. При этом способе сложно точно определить площадь фронта горения на момент аварии и нормальную скорость горения смеси. Однако он позволяет с определенной точностью говорить о минимальных и максимальных расходах газа, необходимых для поддержания области горения определенных размеров [11, 12].

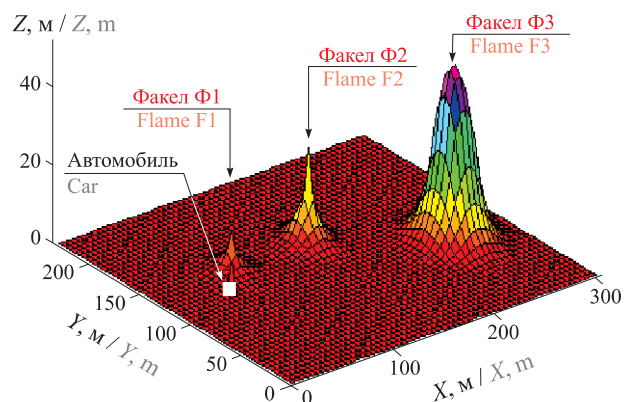


Рис. 2. Общий вид расчетной области с указанием мест расположения областей горения и поврежденного автомобиля
Fig. 2. General view of the calculated area indicated combustion zones and location of the damaged car

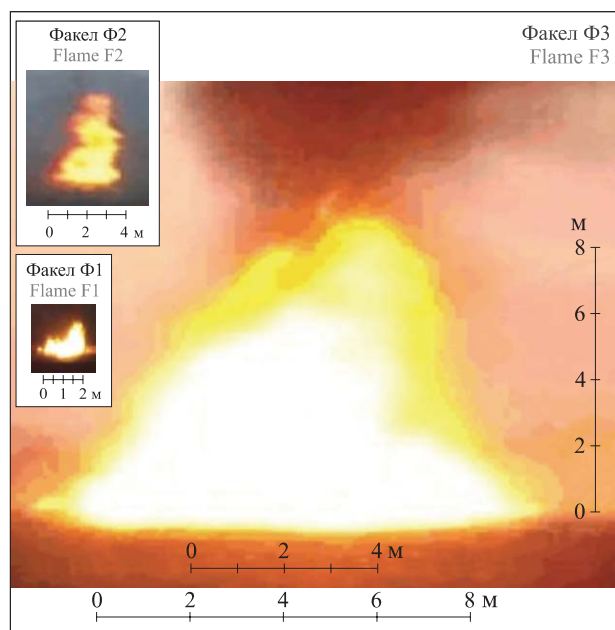


Рис. 3. Области горения Ф1, Ф2 и Ф3, приведенные к одному масштабу

Fig. 3. Combustion zones F1, F2 and F3 presented in the same scale

Приведем результаты расчетов, выполненных двумя указанными способами.

Фотографии трех областей горения, приведенных к одному масштабу, с указанием приблизительных размеров представлены на рис. 3.

Для области факельного горения Ф1 расходы газа Q_1 (л/с*), определенные по соотношениям для расхода газа из отверстия (первый способ), дают следующие результаты: $Q_1 = 4,6$ л/с при диаметре коррозионного отверстия $d_1 = 1,8$ мм и $Q_1 = 21,6$ л/с при $d_1 = 3,8$ мм (минимальный и максимальный диаметры аварийного коррозионного отверстия, фигурирующие в описаниях места осмотра).

Расчет расхода газа через размеры области горения Ф1 (второй способ) показал, что для формирования области горения с такими размерами необходим расход газа около 10 л/с.

Учитывая, что два различных способа определения расхода газа через свищ над областью горения Ф1 дали приблизительно одинаковые результаты, будем считать, что на момент аварии расход Q_1 составлял около 10 л/с.

Для областей горения Ф2 и Ф3 дело обстоит несколько сложнее. Считается, что на момент аварии трубопровод был отсечен заглушкой, в которой по неизвестной причине было отверстие диаметром 20 мм. По одной из версий по газопроводу транспортировались легкие углеводородные фракции

(этан, метан и т. д.). Исходя из этих данных, первым способом (с использованием формул, описывающих расход газа из отверстия в резервуаре) легко определить максимальный расход Q_2 (л/с), который мог попасть в атмосферу через 20-мм отверстие: он равен 99,6 л/с. Принимая площадь повреждения трубы над Ф2 $S_2 = 176,63$ мм², а площадь повреждения трубы над Ф3 — $S_3 = 936,26$ мм², получаем, что расход газа через свищ над областью горения Ф2 должен составлять $Q_2 = 15,8$ л/с, а над областью горения Ф3 — $Q_3 = 83,8$ л/с.

Размеры областей горения Ф2 и Ф3 (см. рис. 3) и их отношение к размеру факельного горения Ф1 никак не могут соответствовать полученным значениям расходов газа. Они должны быть существенно больше.

Определение расходов газа в областях горения Ф2 и Ф3, выполненные через размеры области горения (второй способ), показали, что зона горения Ф2 могла быть создана источником с расходом $Q_2 \geq 150$ л/с, а факела Ф3 — $Q_3 \geq 1500$ л/с. Данные расходы могут быть обеспечены двумя способами: 1) либо на момент аварии заглушка отсутствовала, а площадь коррозионного отверстия над факелом Ф2 составляла $S_2 \geq 550$ мм² (эквивалентный диаметр свища $d_2 \approx 26$ мм) и над факелом Ф3 — $S_3 \geq 5500$ мм² (эквивалентный диаметр свища $d_3 \approx 82$ мм); 2) либо в трубе присутствовали тяжелые углеводородные соединения в жидкой фазе. В пользу второго варианта говорит наличие значительного копчения на Ф3 и тот факт, что только тяжелые углеводороды создают стелющиеся взрывоопасные облака на значительных по площади территориях.

Опираясь на вышеизложенное, проведем численные расчеты процесса формирования взрывоопасного облака применительно к данной аварийной ситуации. В расчетах учитывалось наличие незначительного движения атмосферы ($W = 0,7$ см/с = 25 м/ч), на что указывает вытянутость области горения, которая имела место в результате аварии [10].

Был проведен расчет полей концентраций, которые образовались бы при утечке газа только из источника Ф1. Расход газа был принят $Q_1 = 10$ л/с (при $Q_1 = 10$ л/с эквивалентный диаметр свища $d_1 = 2,6$ мм). Это значение соответствует имевшим место при аварии размеру факела Ф1, параметрам свища (площади свища) и параметрам продукта в этанопроводе (давление, плотность и состав газовой смеси). Принятое в расчетах значение расхода из источника Ф1 $Q_1 = 10$ л/с можно считать достаточно обоснованным, так как оно было определено двумя независимыми способами (через соотношения для истечения газа из отверстия и через размеры области горения). Расчеты показали, что максимальная концентрация газа вблизи автомобиля при утечке газа

* В дальнейшем будем использовать объемный расход газа при нормальных условиях, так как именно он необходим при расчетах объемной концентрации газа в газозвушной смеси.

только из источника Ф1 составляет не более 0,22–0,24 % об. При подобных концентрациях воспламенение газовой смеси принципиально невозможно [11].

Был проведен расчет полей концентраций при утечке газа из всех трех источников (Ф1, Ф2 и Ф3). Уровни равных концентраций приведены на рис. 4.

Расход источников был принят из условия, что на момент аварии на трубопроводе (Д325), который был причиной формирования двух факелов Ф2 и Ф3, была установлена заглушка с отверстием диаметром 20 мм, а по трубопроводу транспортировались легкие углеводороды. При таком сценарии расход из источника Ф2 составил бы $Q_2 = 15,8$ л/с, а над областью горения Ф3 — $Q_3 = 83,8$ л/с. Суммарный расход из двух источников при таком сценарии был бы равен 99,6 л/с.

Основной вывод, который следует из выполненных расчетов, заключается в следующем. Данный сценарий полностью исключается по трем основным причинам. Во-первых, создаваемые утечками из газопровода факелы Ф2 и Ф3 должны быть существенно меньше, чем наблюдались при аварии. Во-вторых, области возможного воспламенения облаков от источника Ф1 и источников Ф2 + Ф3 не пересекаются (существуют две независимые области,

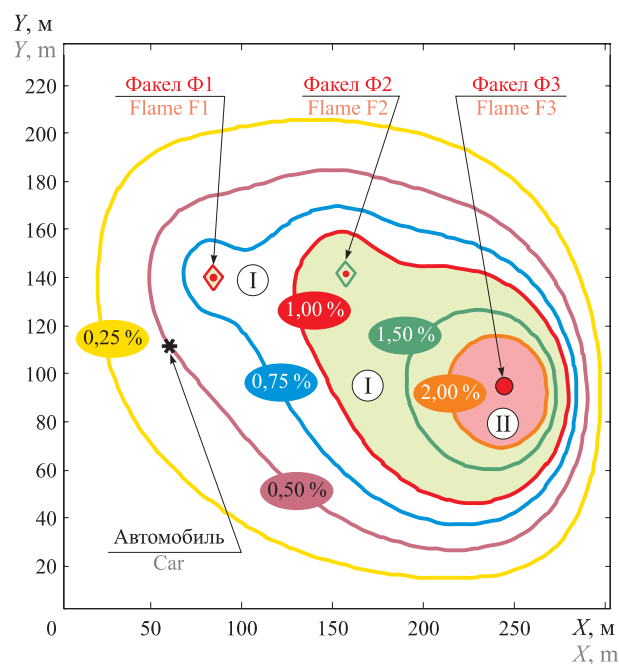


Рис. 4. Уровни равных концентраций при утечке газа из источников Ф1, Ф2 и Ф3 при $Q_1 = 10$ л/с, $Q_2 = 15,8$ л/с, $Q_3 = 83,8$ л/с и незначительном движении атмосферы в сторону автомобиля $W = 25$ м/ч: I — область возможного воспламенения смеси; II — область взрывного горения

Fig. 4. Levels of equivalent concentration of a gas leakage in F1, F2 and F3 zones, when $Q_1 = 10$ l/s, $Q_2 = 15,8$ l/s, $Q_3 = 83,8$ l/s and motion of the atmosphere towards the car is insignificant ($W = 25$ m/h): I — area of possible ignition; II — area of explosive burning

см. рис. 4), поэтому возгорание одного из облаков не привело бы к распространению пламени на соседнее. В-третьих, зона возгорания, наблюдавшаяся при аварии, была существенно больше. Кроме того, воспламенение смеси (при данном сценарии развития аварии) полностью исключено при появлении источника зажигания внутри или вблизи автомобиля. Концентрация газа вблизи автомобиля не превысила бы 0,6 % об., что полностью исключает возможность его воспламенения.

Был проведен расчет формирования газовой смеси при условии, что расходы газа из источников Ф2 и Ф3 соответствовали бы размерам наблюдавшихся при аварии факелов. Расчеты по определению расходов газа в областях горения Ф2 и Ф3, выполненные ранее через размеры областей горения, показали, что источник Ф2 должен иметь расход $Q_2 \geq 150$ л/с, а источник Ф3 — $Q_3 \geq 1500$ л/с. Только при таких расходах (не меньше) размеры областей горения соответствовали бы имевшим место при аварии факелам.

На рис. 5 приведены уровни равных концентраций газа, которые образовались бы в атмосфере при принятой утечке газа.

Под областью горения (III на рис. 5) понимается область с концентрацией газа выше 5 % об. Для боль-

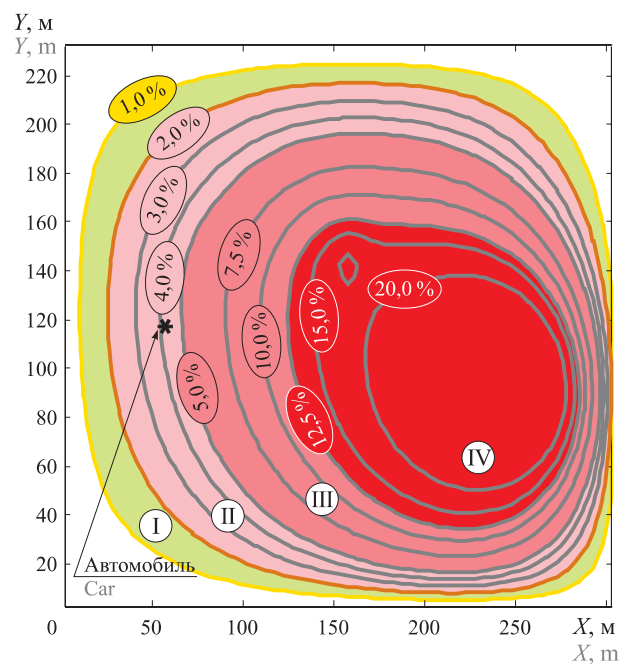


Рис. 5. Уровни равных концентраций при утечке газа из источников Ф1, Ф2 и Ф3 при $Q_1 = 10$ л/с, $Q_2 = 150$ л/с, $Q_3 = 1500$ л/с и $W = 25$ м/ч: I — область возможного воспламенения смеси; II — область взрывного горения; III — область горения; IV — область пожара

Fig. 5. Levels of equivalent concentration of a gas leakage in F1, F2 and F3 zones, when $Q_1 = 10$ l/s, $Q_2 = 150$ l/s, $Q_3 = 1500$ l/s and the motion of atmosphere is insignificant ($W = 25$ m/h): I — area of possible ignition; II — area of explosive burning; III — area of combustion; IV — fire

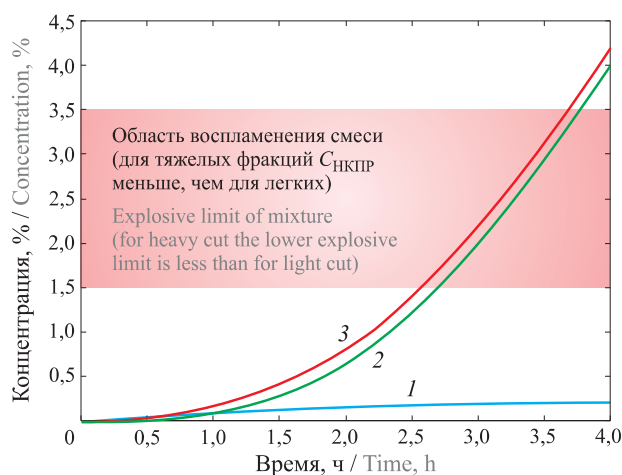


Рис. 6. Временная зависимость концентрации газа вблизи автомобиля при утечке: 1 — только из источника Ф1; 2 — из источников Ф2 и Ф3; 3 — из источников Ф1, Ф2 и Ф3; $Q_1 = 10$ л/с, $Q_2 = 150$ л/с, $Q_3 = 1500$ л/с

Fig. 6. Time-dependent change of concentration of the gas leakage occurred near the car: 1 — only from F1 source; 2 — from F2 and F3 sources; 3 — from F1, F2 and F3 sources; $Q_1 = 10$ l/s, $Q_2 = 150$ l/s, $Q_3 = 1500$ l/s

шинства углеводородов (особенно тяжелых) данная концентрация превышает верхний концентрационный предел распространения пламени (ВКПР) и горение смеси не носит явно выраженный взрывной характер, а растянуто по времени, так как оно происходит по мере поступления в область горения кислорода. Под областью пожара (IV на рис. 5) понимается область с концентрацией газа более 12,5 % об., которая выше ВКПР всех углеводородов. Горение носит характер “огневого шторма” или “огневого шара”. Время его существования достаточно велико, поэтому можно говорить о пожаре. Область горения при таком сценарии развития аварии соответствует области горения, наблюдавшейся в действительности.

Были проведены расчеты для определения роли источника Ф1 в формировании газовоздушного об-

лака. На рис. 6 представлена временная зависимость концентрации газа вблизи автомобиля для нескольких вариантов развития аварии — при утечке только из источника Ф1; из источников Ф2 и Ф3; из всех трех источников (Ф1, Ф2 и Ф3). Из расчетов следует, что влияние источника Ф1 на концентрационный состав газовоздушной смеси вблизи автомобиля крайне мало.

Выводы

На основании проведенных расчетов были сделаны следующие выводы.

1. Сценарий, который предполагает, что на газопроводе (Д325) была установлена заглушка с отверстием диаметром 20 мм, а по газопроводу транспортировались легкие углеводороды, полностью исключается. При данном сценарии развития аварии воспламенение смеси внутри или вблизи автомобиля невозможно.

2. Расчеты по определению расходов газа в областях горения показали, что источник Ф2 должен иметь расход $Q_2 \geq 150$ л/с, а источник Ф3 — $Q_3 = 1500$ л/с. Только при таких расходах (не меньше) размеры областей горения соответствовали бы имевшим место при аварии факелам.

3. Расчет формирования газовоздушного облака при условии, что расходы газа из источников Ф2 и Ф3 соответствовали бы размерам наблюдавшихся при аварии факелов ($Q_2 = 150$ л/с и $Q_3 = 1500$ л/с), показал, что при данных расходах расчетная картина взрывной аварии соответствует наблюдавшейся в действительности.

4. Сравнительный анализ концентрационных полей, создаваемых источниками Ф1, Ф2 и Ф3, показал, что роль источника Ф1 (Д219), имеющего относительно малый расход, практически не оказывает никакого влияния на формирование газовоздушного облака и на весь ход развития аварии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котляревский В. А. Прогнозирование последствий аварий на объектах нефтегазодобычи // Безопасность России. Безопасность строительного комплекса. — М.: Знание, 2012. — С. 739–750.
2. Таубкин С. И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы. — М.: ВНИИПО, 1999. — 600 с.
3. Комаров А. А. Прогнозирование нагрузок от аварийных дефлаграционных взрывов и оценка последствий их воздействия на здания и сооружения: дис. ... д-ра техн. наук. — М.: МГСУ, 2001. — 492 с.
4. Казеннов В. В. Динамические процессы дефлаграционного горения во взрывоопасных зданиях и помещениях: дис. ... д-ра техн. наук. — М.: МГСУ, 1997. — 445 с.
5. Герасев М. А., Григорьева Т. Ю. Оценка последствий аварийного взрыва на АЗС и определение зон поражения // Успехи современного естествознания. — 2012. — № 6. — С. 179.
6. Мишуев А. В., Комаров А. А., Хуснутдинов Д. З. Общие закономерности развития аварийных взрывов и методы снижения взрывных нагрузок до безопасного уровня // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2001. — Т. 10, № 6. — С. 8–19.

7. *Molkov V., Shentsov V.* Numerical and physical requirements to simulation of gas release and dispersion in an enclosure with one vent // *International Journal of Hydrogen Energy*. — 2014. — Vol. 39, Issue 25. — P. 13328–13345. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.06.154.
8. *Сулименко В. А., Комаров А. А., Васюков Г. В., Загуменников Р. А.* Особенности расчета параметров процесса возникновения взрывоопасных смесей при аварийных ситуациях // *Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал*. — 2015. — № 4(62). — С. 109–116.
9. *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Теоретическая физика. Т. 6. Гидродинамика. — 4-е изд. — М. : Наука, 1988. — 733 с.
10. Численное решение многомерных задач газовой динамики / Под ред. Годунова С. К. — М. : Наука, 1976. — 400 с.
11. *Komarov A., Bazhina E., Bobrov Yu.* Relationship between gas-dynamic flows and impacts of emergency explosions indoors // *MATEC Web of Conferences*. 5th International Scientific Conference “Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education”. — 2016. — Vol. 86. — Article No. 04048. DOI: 10.1051/mateconf/20168604048.
12. *Molkov V., Kashkarov S.* Blast wave from a high-pressure gas tank rupture in a fire: Stand-alone and under-vehicle hydrogen tanks // *International Journal of Hydrogen Energy*. — 2015. — Vol. 40, Issue 36. — P. 12581–12603. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2015.07.001.

Материал поступил в редакцию 25 февраля 2017 г.

Для цитирования: *Комаров А. А., Корольченко Д. А., Громов Н. В.* Особенности гидродинамических расчетов при проведении технической экспертизы аварийного взрыва // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2017. — Т. 26, № 10. — С. 36–42. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.10.36-42.

English

FEATURES OF THE HYDRODYNAMIC CALCULATIONS FOR TECHNICAL EXPERTISE OF ACCIDENTAL EXPLOSION

KOMAROV A. A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Complex Safety in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

KOROLCHENKO D. A., Candidate of Technical Sciences, Director of Institute of Complex Safety in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: ikbs@mgsu.ru)

GROMOV N. V., Candidate of Technical Sciences, Chief of Laboratory STC “Vzryvoustoychivost” (Explosion stability), National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: newdayru@bk.ru)

ABSTRACT

This paper presents some features of calculations to analyze the accident and to determine the values for calculations of primary source data on the basis of technical expertise of accidental explosion on ethane supply pipeline. The accident development scenario is shown and the measures of responsibility for involved parties are established. Before numerical calculation of the probable scenario of the accidental explosion it have been estimated the emergency consumption of gases. Two methods of estimation of emergency consumption are presented. The first one is based on the gas-dynamic ratios describing its leakage from pipeline, and the second one is describing interrelation of the area of free-flow flame front with gas consumption value. The relevant calculation results are presented. Numerical calculations of explosive cloud formation in relation to particular accident are also presented. Calculation of concentration fields which could appear in case of gas leakage is shown. The conclusion is that modelled accidental explosion relevant to real one only if the values of gas consumption have been calculated for various combustion zones according to their dimensions.

It has been established that the flames generated by leakages from gas pipeline have to be significantly less than it were observed during accident, and areas of possible ignition of clouds formed by different sources do not overlap. It has been determined that ignition of one gas cloud couldn't lead to spreading of the flame on near-by cloud and the ignition area observed during accident could be significantly larger. It is shown that ignition of the air-gas mixture in such accident is completely excluded when the source of ignition inside or near the car because the concentration of gas near the car can't exceed 0.6 %. The time dependence of gas concentration near the car is given for several scenarios of the accident. The impact of ignition source on formation of air-gas clouds and on the accident development taking into account the data of comparative analysis of concentration fields formed by various sources is shown.

Keywords: accidental explosion; technical expertise; gas leakage; air-gas cloud; calculation of concentration fields.

REFERENCES

1. Kotlyarevskiy V. A. Prognosis of the accident consequences on objects of oil and gas production. In: *Bezopasnost Rossii. Bezopasnost stroitel'nogo kompleksa* [Safety of Russia. Safety of the construction complex]. Moscow, Znaniye Publ., 2012, pp. 739–750 (in Russian).
2. Taubkin S. I. *Pozhar i vzryv, osobennosti ikh ekspertizy* [Fire and explosion, special features of their expert examination]. Moscow, VNIPO Publ., 1999. 600 p. (in Russian).
3. Komarov A. A. *Prognosis of loadings of deflagration explosions and assessment of their consequences for buildings and constructions*. Dr. tech. sci. diss. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering, 2001. 492 p. (in Russian).
4. Kazennov V. V. *Dynamic processes of deflagration burning inside explosive buildings and premises*. Dr. tech. sci. diss. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering, 1997. 445 p. (in Russian).
5. Gerashev M. A., Grigoryeva T. Yu. Assessment of consequences of the emergency explosion occurred at fuel station and definition of exposure areas. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya / Advances in Current Natural Sciences*, 2012, no. 6, p. 179 (in Russian).
6. Mishuev A. V., Komarov A. A., Khusnutdinov D. Z. General regularities of development of accidental explosions and methods of reducing of explosion loadings to the safe level. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2001, vol. 10, no. 6, pp. 8–19 (in Russian).
7. Molokov V., Shentsov V. Numerical and physical requirements to simulation of gas release and dispersion in an enclosure with one vent. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2014, vol. 39, issue 25, pp. 13328–13345. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.06.154.
8. Sulimenko V. A., Komarov A. A., Vasjukov G. V., Zagumennikov R. A. Features of calculation of parameters the occurrence of explosive mixtures at emergency. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal / Technology of Technosphere Safety. Internet-Journal*, 2015, no. 4(62), pp. 109–116 (in Russian).
9. Landau L. D., Lifshits E. M. *Teoreticheskaya fizika. Tom 6. Gidrodinamika* [Theoretical physics. Vol. 6. Hydrodynamics]. 4th ed. Moscow, Nauka Publ., 1988. 733 p. (in Russian).
10. Godunov S. K. (ed.). *Chislennoye resheniye mnogomernykh zadach gazovoy dinamiki* [Numerical solution of multidimensional problems of gas dynamics]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 400 p. (in Russian).
11. Komarov A., Bazhina E., Bobrov Yu. Relationship between gas-dynamic flows and impacts of emergency explosions indoors. In: *MATEC Web of Conferences. 5th International Scientific Conference "Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education"*, 2016, vol. 86, article No. 04048. DOI: 10.1051/mateconf/20168604048.
12. Molokov V., Kashkarov S. Blast wave from a high-pressure gas tank rupture in a fire: Stand-alone and under-vehicle hydrogen tanks. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2015, vol. 40, issue 36, pp. 12581–12603. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2015.07.001.

For citation: Komarov A. A., Korolchenko D. A., Gromov N. V. Features of the hydrodynamic calculations for technical expertise of accidental explosion. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 10, pp. 36–42 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.10.36-42.