

Расположение датчиков систем сигнализации по опасной концентрации газов в воздухе помещений

Л.М. ФАСТОВ, д-р техн. наук (ООО Предприятие «Системы технического надзора. Научно-исследовательский центр экспертизы техники повышенной опасности»)

В статье Н.И. Брагина, Н.А. Бушуева, А.Н. Великанова и др. «Электронные системы предупреждения о газовой опасности на объектах жилищно-коммунального хозяйства, топливно-энергетического комплекса, на предприятиях и в общественных учреждениях» (Безопасность труда в промышленности. - 2007. - № 2. - С. 67-68), на с. 68 сказано, что «...до сих пор не решен вопрос о нормативной площади обслуживания одним сигнализатором горючих газов...».

Автор статьи представляет для опубликования имеющиеся данные, опровергающие указанное утверждение:

1. С 1988 г. действует Инструкция по установке систем сигнализации загазованности подвальных помещений (РД 204 РСФСР 3.6-88), разработанная Гипрониигазом (г. Саратов) совместно с управлением «Ленпромгаз» (руководитель темы Л.М. Фастов) и утвержденная приказом Минжилкомхоза РСФСР от 30.12.87 № 195. В инструкции в разделе 2 (с. 6-7) даны рекомендации по выбору площади контролируемого помещения и установке датчиков системы сигнализации загазованности помещений.

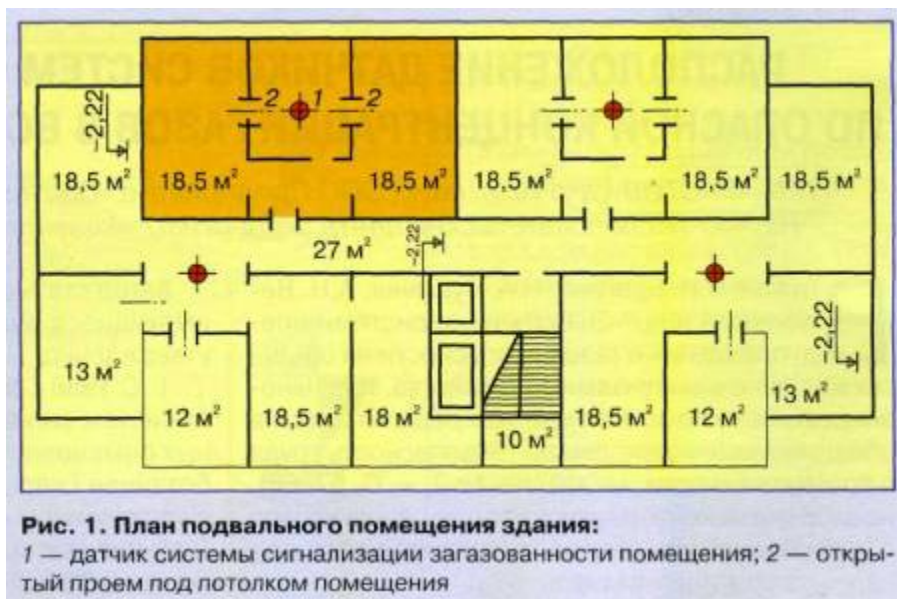
2. Имеется также патент № 2059292 «Способ формирования охранного пространства загазованного подвального помещения», зарегистрированный в государственном реестре, в котором, в дополнение к вышеуказанной инструкции, приведена формула определения минимальной площади контролируемого помещения в зависимости от величины утечки газа и времени, необходимого для ликвидации аварийной ситуации (время от принятия заявки аварийной службой Горгаза до ее прибытия и устранения утечки газа).

В основу указанных документов положены аналитические и длительные трудоемкие экспериментальные исследования. Первым этапом исследований было определение минимальной кратности воздухообмена в плохо вентилируемых помещениях и помещениях, не имеющих вентиляции, что представляет наибольшую опасность при проникновении в них газа. Результаты работ, проведенных в Саратове в помещениях (подвалы общественных зданий, учебных заведений, дворцов культуры и кинотеатров, торговых заведений и жилых домов, общее количество обследуемых объектов - 53), показали, что с некоторым запасом минимальную кратность воздухообмена можно принять равной 1. Эта величина согласуется с результатами более ранних исследований, проведенных Гипрониигазом совместно с Ленинградским инженерно-строительным институтом

в Якутске в зимний период на кухнях газифицированных квартир жилых домов. Использовался радиометрический метод с созданием концентрации индикаторного газа, меченного криптоном-85[1].

На рис. 1 показан план одного из обследованных подвалов зданий с расположением датчиков системы сигнализации загазованности в соответствии с [2]. В целях увеличения площади охраняемого пространства в смежных помещениях подвала под потолком предусмотрены открытые проемы.

Аналитические исследования [3] проводились для природного газа (метана) в представлении, что он непрерывно поступает в замкнутый объем помещения сразу вверх в виде восходящей струи, состоящей из условно дискретных объемов шаровой или цилиндрической формы.



Уравнение движения такой струи может быть представлено в следующем виде:

$$m_r \frac{d^2 X}{dt^2} = F_A - F_{TP} - P, \quad (1)$$

где m_r - масса дискретного объема газа; X - высота подъема газового объема; F_A - Архимедова сила, $F_A = 4/3\pi r^3 r_{вг}$; r - радиус дискретного объема; $r_{в}$ - плотность воздуха; g - ускорение свободного падения; F_{TP} - сила трения газового шара о воздух, по формуле Стокса: $F_{TP} = 6\pi m_v n$; m_v - динамическая вязкость воздуха; n -

скорость распространения газа; P - вес дискретного объема газа, $P = 4/3 \pi r^3 \rho_g$; r - плотность газа.

Учитывая незначительную энергию свободного восхождения потока газа в атмосфере окружающего воздуха при небольшой высоте помещения (3-5 м), для практических целей вполне доступно пренебрежение эжекций воздуха потоком газа.

Преобразуя уравнение (1), получаем дифференциальное уравнение для скорости движения дискретного объема газа

$$\frac{dv}{dr} + \frac{9\mu_B}{2r^2\rho_r} v = \left(\frac{\rho_B}{\rho_r} - 1 \right) g \quad (2)$$

Решая это уравнение с учетом, что скорость дискретного объема газа в начальный момент времени равна нулю, т.е. $v = 0$ при $i = 0$, получаем

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{2}{9} g r^2 \frac{\rho_B - \rho_r}{\mu_B} \left(1 - e^{-\frac{9\mu_B}{2r^2\rho_r} t} \right) \quad (3)$$

Сомножитель в скобках представляет собой поправку к известной формуле Стокса [4, 5]. Интегрируя формулу (3) по x от 0 до x и по t от 0 до t , получаем закон изменения высоты подъема газового объема:

$$X = \frac{b}{a^2} (a\tau + e^{-a\tau} - 1) \quad (4)$$

где

$$b = \left(\frac{\rho_B}{\rho_r} - 1 \right) g, a = \frac{9 \mu_B}{2 r^2 \rho_r}$$

Избыточное давление $P_{изб}$, которое возникло бы в газовом цилиндре площадью S , радиусом r , высотой h , если бы он не имел возможности изменять собственные размеры:

$$P_{изб} = \frac{F_A - P_{атм}}{S} = h g (\rho_B - \rho_r) \quad (5)$$

Согласно [5] примем следующую зависимость для силы трения газа о воздух, возникающей при растекании объема газа,

$$F_{тр} = 16 \mu_B^3 \sqrt{h^2 r \Delta \varphi v} \quad (6)$$

После ряда преобразований получим:

$$\frac{d^2 r}{d \tau^2} = \frac{4}{3} g \frac{v}{\pi^3} \left(\frac{\rho_B}{\rho_r} - 1 \right) - 32 \frac{\mu_B^3}{\rho_r} \sqrt{\frac{\pi}{v}} \frac{1}{r d \tau} \quad (7)$$

Результаты компьютерных расчетов с использованием численного метода Рунге-Кутты для различных объемов газа, поступающих в помещение от 0,1 до 100 м³/ч, позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Распространение газа в подвижной воздушной среде происходит в основном за счет конвективного обмена, а в неподвижной - за счет гравитационных сил.

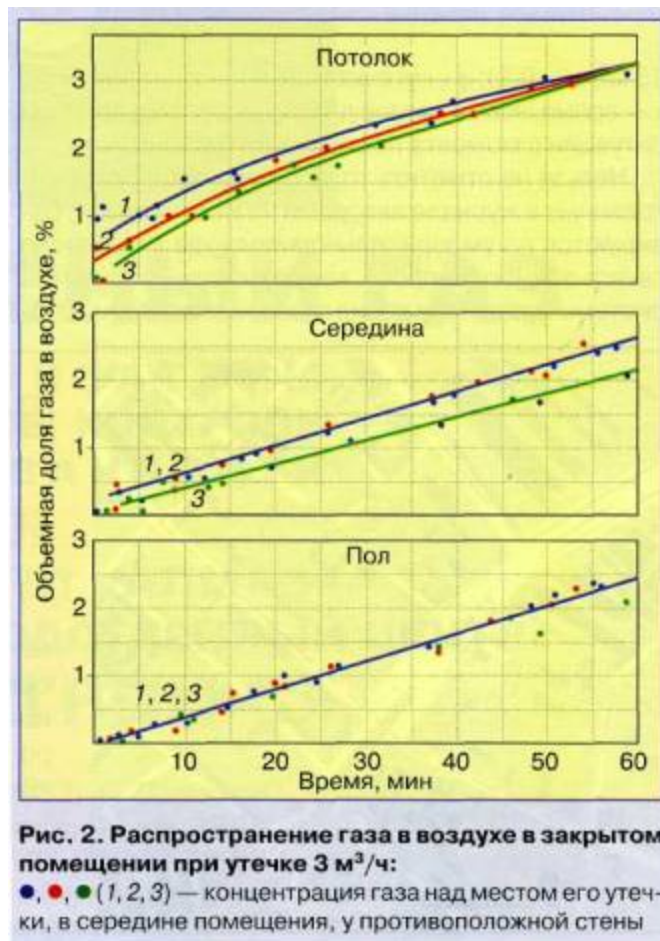
Диффузия газа в воздухе в этом случае, как фактор создания взрывоопасных концентраций, практического значения не имеет.

2. Газ восходящей струей быстро поднимается вверх. Примерно через 1 -2 с он уже оказывается у потолка помещения, коснувшись которого, сразу растекается по нему сравнительно тонким слоем.

3. Происходит послойное покрытие последующих слоев газа по предыдущим. При этом концентрация газа в воздухе в общем слое начинает возрастать по мере приближения к потолку помещения.

Экспериментальные исследования проводились в помещении площадью 32,5 м² размером 5,7'5,7 м и высотой 3 м. В помещении была выполнена хорошая герметизация дверного и оконных проемов и обеспечена низкая кратность воздухообмена, около 0,5 (критические условия для подвальных помещений). Помещение имело одинаковую температуру внутри и снаружи, что исключало конвективный воздухообмен. Газ в атмосферу помещения подавался снизу (средняя часть стены). Концентрацию газа в воздухе измеряли по оси помещения в трех местах: у стены над впуском газа, в середине помещения, у противоположной стены. В каждом из указанных мест камеры замеры проводились на одинаковой высоте в трех точках: на расстоянии 3 см от потолка, 1,5 м от пола и 3 см от пола. Расход газа измерялся счетчиком, а его концентрация в воздухе - газоанализатором EX-TEX РМ фирмы ФРГ «Герман Северин» с пределом измерения от 0 до 5 % об. метана и погрешностью 0,2 % от максимального предела измерения.

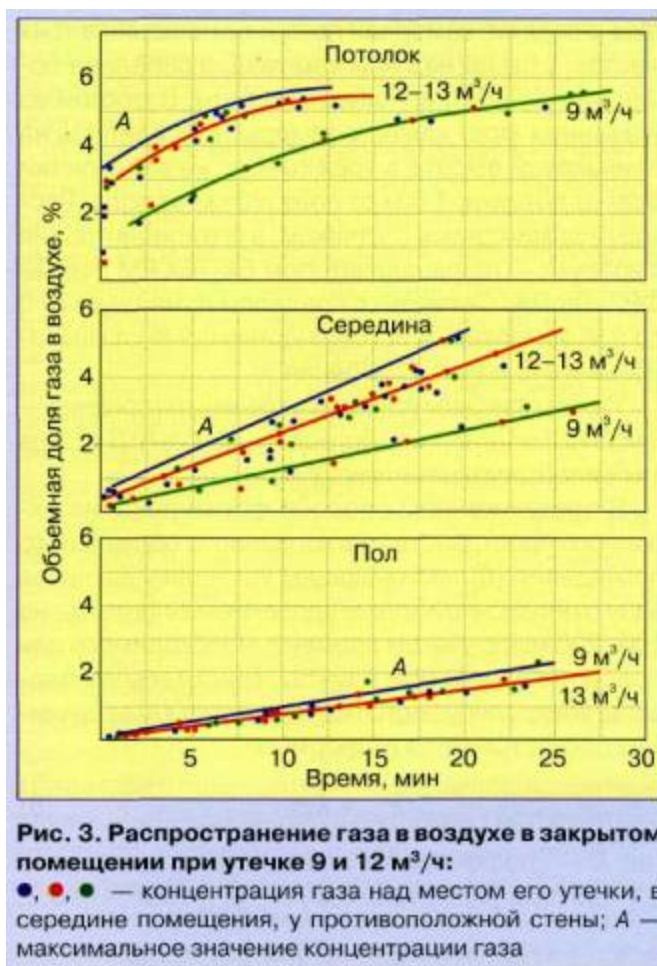
Утечки газа были условно разделены на средние - 3 м³/ч (0,1 м³/ч на 1 м²), большие - 9 м³/ч (0,3 м³/ч на 1 м²) и максимальные (рис. 2,3).



В предложенном способе формирования охранного пространства загазованного подвального помещения [6], включающем установку датчиков на его потолочной зоне с удалением от потолка на 100-200 мм, с учетом времени, необходимого для прибытия аварийной службы, минимальная площадь контролируемого помещения каждым датчиком рассчитывается по формуле

$$F_{\min} = Kqr, \quad (8)$$

где K - коэффициент, изменяется в диапазоне 0,1 -0,3 (при утечке газа 5 м³/ч - 0,1; 10 м³/ч - 0,2; 15 м³/ч - 0,3); q - утечка газа в помещении, м³/ч; i - время, необходимое для ликвидации аварийной ситуации с момента поступления сигнала, мин.



Нельзя не отметить то, что материалы, опубликованные в журнале авторами из НПП «Алмаз», базируются на умозрительном подходе к решению такого важного вопроса, как размещение датчиков системы предупреждения газовой опасности. Очевидно, не проводились ни аналитические, ни экспериментальные исследования, а также сбор статистического материала по отравлениям оксидом углерода (угарным газом) обслуживающего персонала в котельных. Также необходимо учесть, что плотность оксида углерода и воздуха при нормальных условиях практически одинакова (1,25 и 1,29 кг/м³), а температура в топке (в градусах Кельвина), откуда поступает оксид углерода, примерно в 3 раза выше, чем в помещении. В этом случае оксид углерода будет еще более активно восходить вверх, чем природный газ и примерно также растекаться по потолку помещения. Налеты сажи на топочных щитках свидетельствуют об этом. Следовательно, датчики по оксиду углерода должны располагаться так же, как по природному газу - у потолка помещения, а не на расстоянии 1,5 м от пола.

Список литературы

1. Шмагин Ю.А., Иделевич И.Х. Санитарно-гигиеническая оценка воздушной среды в кухнях газифицированных квартир в районах Крайнего Севера. Использование газа в народном хозяйстве. Сб. статей, вып. XIV. - Изд-во Саратовского университета, 1979. - С. 70-75.
2. Фастов Л.М. и др. Инструкция по установке систем сигнализации загазованности подвальных помещений (РД 204 РСФСР 3.6-88). - Саратов, 1988. - 22 с.
3. Система сигнализации загазованности подвальных помещений / Л.М. Фастов, С.В. Вааз, М.С. Недлин и др. Промежуточный отчет Гипрониигаса. - Саратов, 1986.
4. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Гидродинамика. - М.: Наука, 1986. - 736 с.
5. Хаппель Дж., Бреннер Г. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса. - М.: Мир, 1976. - 630 с.
6. Пат. 2059292 Россия, С1G08B17/10. Способ формирования охранного пространства загазованности подвального помещения / Л.М. Фастов, А.Л. Закгейм; Оpubл. 27.04.96; Приоритет 16.06.92, Бюл. № 12.

Журнал "Безопасность труда в промышленности" № 8, 2007 г.