

УДК : 614.8.084

Применение датчика контроля теплового потока для раннего обнаружения образования взрывной концентрации газовой смеси в условиях низких температур

Heat flow control sensor usage for the explosive concentration of the gas-air mixture formation detection at low temperatures

*А.А. Крехов¹,
Ю.Н. Безбородов¹,
д-р техн.наук, профессор,
С.В. Клочков¹
канд.физ-мат.наук, доцент,
А.Н. Минкин^{1,2}
канд.техн.наук, доцент*

¹ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет

²ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

*A.A. Krehov¹
Y.N. Bezborodov¹
Holder of an Advanced
Doctorate in Engineering
Sciences, full professor,
S.V. Klochkov¹
Ph.D. of Physico-mathematical
Sciences, docent,
A.N. Minkin^{1,2}
Ph.D. of Engineering Sciences*

¹FSAEI HE Siberian Federal University

²FSBEI HE Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia

Аннотация:

В статье рассматриваются математические и компьютерные модели применения датчика контроля теплового потока в качестве прибора, определяющего взрывоопасную концентрацию газо-воздушной смеси.

Ключевые слова: взрыв при низких температурах, пламя, газовой смесь, датчик контроля теплового потока

Abstract:

The article discusses the mathematical and computer models of heat flow control sensor application to the explosive concentration of the gas-air mixture.

Key words: low temperature explosion, flame, gas-air mixture, heat flow control sensor.

Введение

Датчик контроля теплового потока является высокоэффективным прибором в части обнаружения возгораний на раннем этапе путем анализа значения величины теплового потока. Базовый набор характеристик извещателя приведен в следующей таблице.

Таблица 1

Наименование характеристик	Значение характеристик
1. Количество возможных адресов для одного направления по RS-485	31
2. Максимальное удаление датчика от управляющего модуля, до, м	1200
3. Режим работы	непрерывный
4. Скорость передачи данных, б/сек	9600, 57600
5. Ток потребления при минимальном напряжении питания, мА	30
6. Напряжение питания по постоянному току, В	9 - 18
7. Диапазон рабочих температур, °С	-45 ... +55
8. Контролируемая зона телесный угол, не менее, град	90
9. Мощность потребления датчиком, не более, Вт	0,3
10. Габаритные размеры датчика, мм	Ø54 x 120

11. Масса датчика: не более, кг	0,25
12. Средний срок службы датчика, не менее, лет	10

Известно [1,5,7], что при разных уровнях концентрации газовой смеси ее температура изменяется.

Поскольку чувствительность датчика для условий крайнего севера возрастает, то автором делается предположение о возможности его использования в том числе как дистанционного сенсора определения появления взрывоопасной концентрации газовой смеси. Таким образом, целью данной статьи является построение математической модели, реализующей упомянутую выше возможность. Для реализации цели предлагаются к решению следующие задачи:

1. исследование изменения значений теплового потока в зависимости от расстояния до сенсора;
2. определение кривых постоянных значений уровня теплового потока в зависимости от расположения источника относительно оптической оси сенсора;
3. построение математической модели определения координат точки с повышенным значением теплового потока при помощи группы датчиков контроля теплового потока;
4. создание компьютерной программы, реализующей данную модель;
5. проведение эксперимента для различных значений концентраций газовой смеси [2, 5].

Достижение целей 1) – 3) подтверждают теоретическую значимость работы, в то время как цели 4) и 5) обуславливают возможность ее практического применения.

Для определения изменения зависимости значения величины теплового потока от расстояния был проведен следующий эксперимент.

Извещатель стационарно устанавливался на высоте 1 м и на расстоянии 10 м от стен в помещении с одинаковым тепловым фоном, значение которого было заранее определено при помощи тепловизора Testo 865. Температура внутри помещения составляла -40 градусов Цельсия. В качестве источника теплового потока применялся металлический шар диаметром 0,3 м, стабильная температура на поверхности которого в интервале 10 – 300 °С поддерживалась путем применения нагревательного элемента, расположенного в центре шара. Равномерность нагрева контролировалась группой термодатчиков. В начале эксперимента шар располагался на подвесе на расстоянии 0,25 м от корпуса извещателя так, чтобы

центр шара располагался напротив оптической оси датчика. После достижения среднего уровня теплового потока в пределах 5% погрешности значение фиксировалось, а источник отдалялся еще на 0,25 м, после чего эксперимент повторялся. Опыт заканчивался, когда значение величины теплового потока относительно пустого помещения становилось незначительным (отклонение составляло менее 5%). Полученный в итоге график иллюстрирует следующий рисунок:

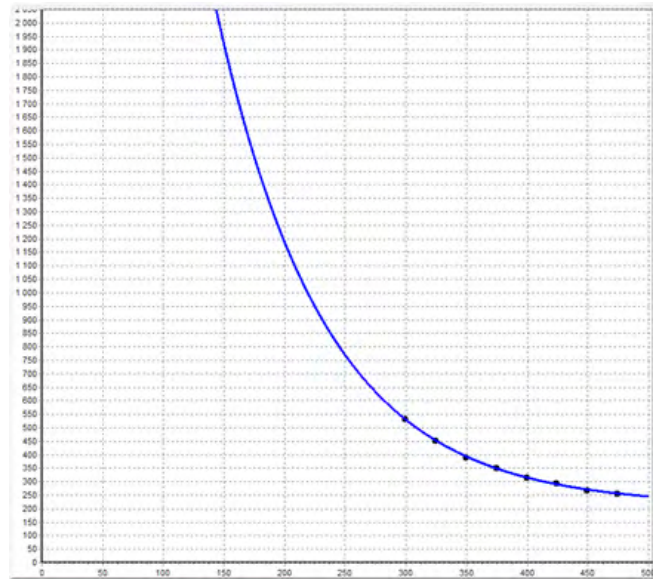


Рисунок 1. Динамика изменения значения теплового потока для температуры в 100 градусов Цельсия в диапазоне расстояний 3 – 5 м от извещателя

Зависимость величины теплового потока от расстояния будем искать в виде экспоненциальной функции вида:

$$M(d)=e^{ad+b}+c \quad (1).$$

В ходе проведения эксперимента было установлено, что при изменении температуры шара характер зависимости (иными словами коэффициенты a и b) остаются практически неизменными и составляют -0,011 и 0,913 соответственно. Существенное влияние температура оказывает на коэффициент c , который, как известно из курса элементарной математики, влияет на смещение графика функции относительно оси ординат. Таким образом, зная температуру источника и его первоначальное местоположение, можно с достаточной точностью определить значения величины теплового потока при расположении того же источника (при условии нахождения его на оптической оси) на произвольном расстоянии от извещателя.

Для определения типа кривых постоянных значений уровня теплового потока в зависимости от

расположения источника относительно оптической оси сенсора проводился следующий эксперимент.

В условия предыдущего опыта металлический шар заданной температуры располагался на расстоянии 5 метров от извещателя. Далее производился замер величины теплового потока на оптической оси извещателя. После чего подвес с шаром двигался по окружности относительно зафиксированного датчика. Смещение на каждые 5° фиксировалось измерением значения теплового потока.

Полученные данные иллюстрирует следующий рисунок:

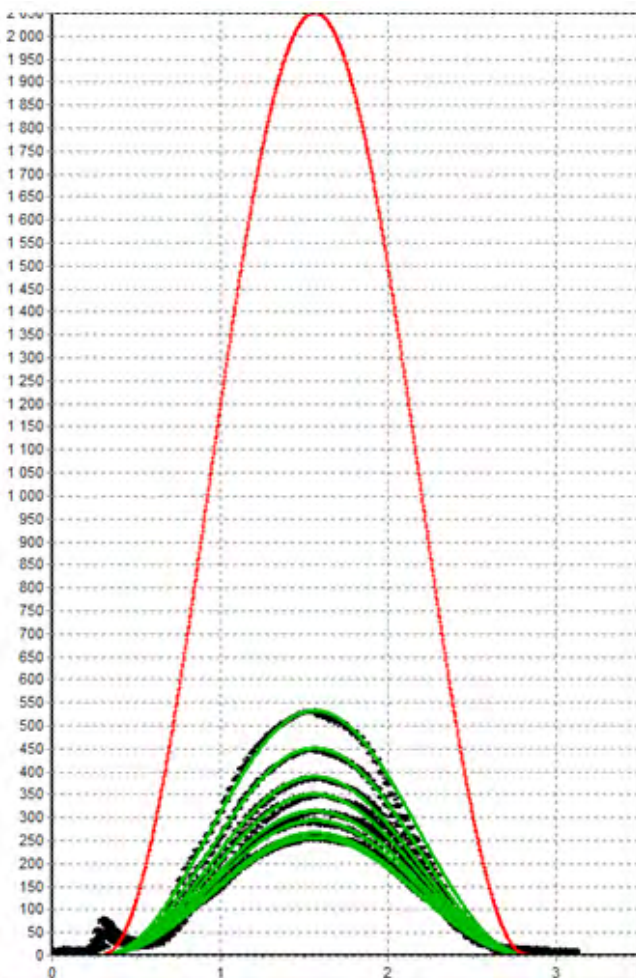


Рисунок 2. Динамика изменения значения теплового потока в зависимости от расположения источника относительно оптической оси датчика для температур 30, 40, 45, 50, 60, 75, 400 градусов Цельсия.

В ходе анализа полученных данных была предложена следующая функция:

$$f(\alpha) = \frac{M}{2} \left(\sin\left(\frac{5}{2}\alpha - \frac{3}{4}\pi\right) + 1 \right) \quad (2),$$

где M – значение на оптической оси извещателя, α – угол поворота.

Примем теперь $f(\alpha)=K$ – некоторой константе и выразим из (1) расстояние d, а из (2) значение величины теплового потока M:

$$d = \frac{1}{a} (\ln(M - c) - b);$$

$$M = \frac{2K}{\sin\left(\frac{5}{2}\alpha - \frac{3}{4}\pi\right) + 1},$$

откуда:

$$d = \frac{1}{a} \left(\ln\left(\frac{2K}{\sin\left(\frac{5}{2}\alpha - \frac{3}{4}\pi\right) + 1} - c\right) - b \right) \quad (3).$$

По сути (3) является выражением формой записи в полярных координатах. Для перевода в Декартову систему координат, воспользуемся известными формулами:

$$\begin{cases} x = d * \cos(\alpha) \\ y = d * \sin(\alpha) \end{cases} \quad (4).$$

Если предположить, что в плоскости (x,y) извещатель имеет координаты (x_0, y_0) , то (4) перепишетя как:

$$\begin{cases} x = x_0 + d * \cos(\alpha) \\ y = y_0 + d * \sin(\alpha) \end{cases} \quad (5).$$

В случае, если в данной точке датчик повернут на угол β , то (5) преобразуется:

$$\begin{cases} x_\beta = x * \cos(\beta) - y * \sin(\beta) \\ y_\beta = x * \sin(\beta) + y * \cos(\beta) \end{cases} \quad (6).$$

Таким образом, опираясь на (3) - (6), становится возможным построить график линий уровня датчика – линий, «двигаясь» вдоль которых, источник возгорания будет выдавать одинаковое значение уровня теплового потока. Характер данных линий иллюстрирует следующий рисунок.

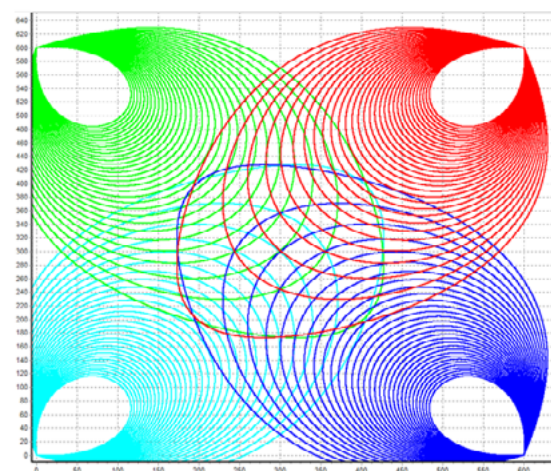


Рисунок 3. Линии уровня для четырех извещателей, расположенных по углам квадратной области, размерами 6 на 6 метров. Оптические оси соринтированы вдоль диагоналей области.

Исходя из вышесказанного, становится актуальной задача определения координат источника теплового потока, исходя из заданной геометрии расположения извещателей и получаемых от них значений. Очевидно, что для решения данной задачи необходима система, состоящая как минимум из трех датчиков. В случае известной заранее мощности теплового потока проблема нахождения его координат является тривиальной, поскольку для каждой пары извещателей будут существовать только две точки, отвечающие условиям задачи. Решением, очевидно, является общая для всех трех извещателей точка.

В случае, если мощность источника не известна, то для практических целей можно предложить численное решение, состоящая в переборе с некоторым шагом предполагаемой мощности источника от минимального значения до максимального. Критерием сходимости будет являться уменьшение площади фигуры, образованной совместными общими для каждой пары извещателей точками линий уровня. Графическая визуализация данного метода представлена на следующем рисунке.

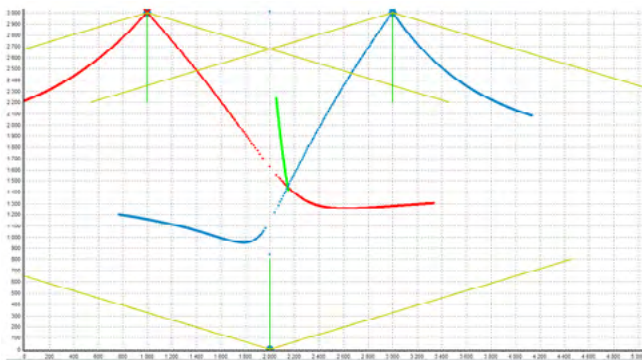


Рисунок 4. Визуализация метода поиска координат источника теплового потока с заранее неизвестной мощностью системой из трех датчиков.

Графическая визуализация метода подтверждена рядом практических экспериментов для различных значений концентраций газовой смеси:

Таблица 2. Проведения взрыва ГВС

№	Объем (%) газа от основного объема рукава	Примечание
Сценарий 1	2,0	Объем 3,5% и 5,0% имеет схожие характеристики и динамику протекания, поэтому из испытаний объем 5,0% исключен
Сценарий 2	3,5	
Сценарий 3	6,5	
Сценарий 4	8,0	
Сценарий 5	9,5	

Каждый блок испытаний состоял из 5 сценариев

развития взрыва (таблица 2).

Зависимости мощности взрыва от времени по параметру концентрации ГВС представлены на рисунках 5 – 10.

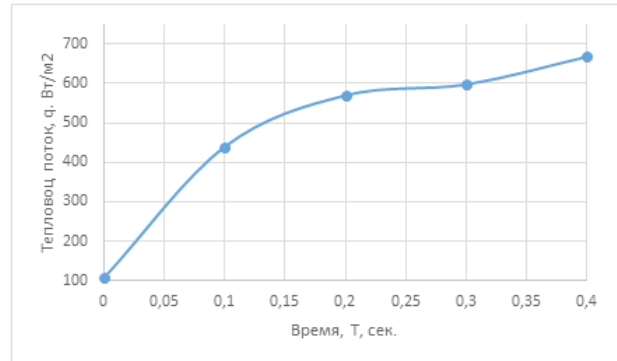


Рисунок 5 – Экспериментальные данные с датчика ДКТП полученные

при концентрации газа 2,0% от основного объема газовой смеси

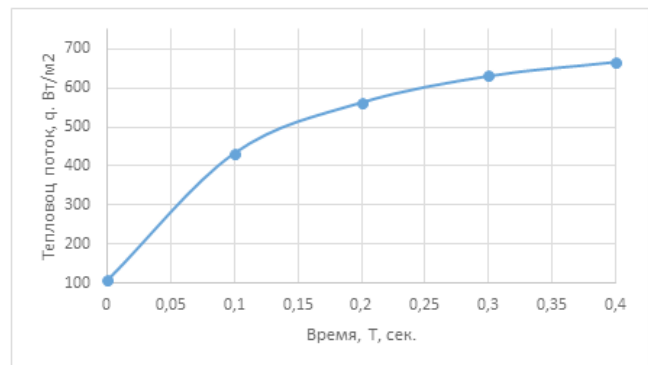


Рисунок 6 – Экспериментальные данные с датчика ДКТП полученные

при концентрации газа 3,5% от основного объема газовой смеси

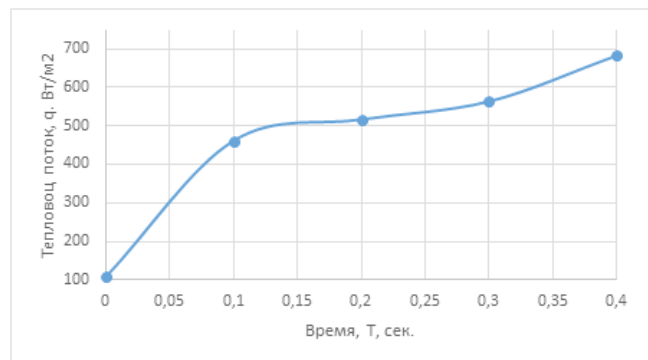


Рисунок 7 – Экспериментальные данные с датчика ДКТП полученные

при концентрации газа 5,0% от основного объема газовой смеси

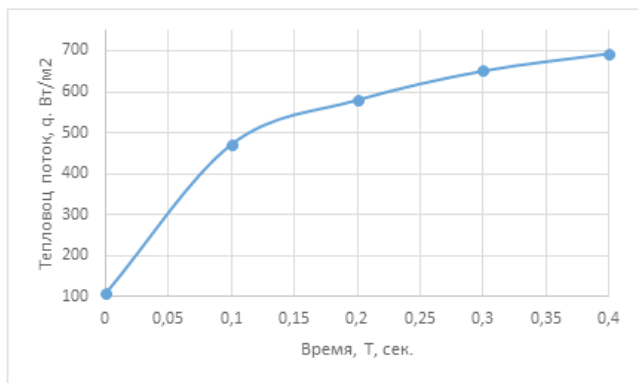


Рисунок 8 – Экспериментальные данные с датчика ДКТП полученные при концентрации газа 6,5% от основного объема газозвоздушной смеси

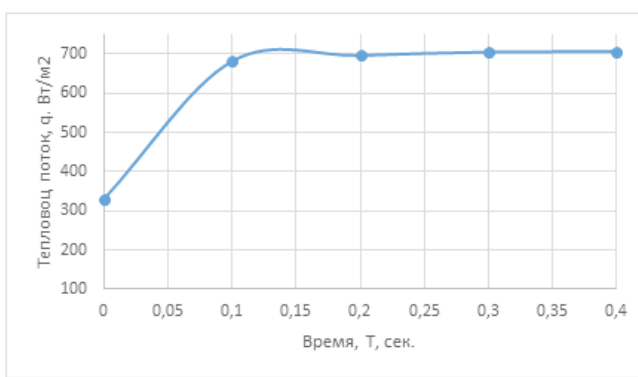


Рисунок 9 – Экспериментальные данные с датчика ДКТП полученные

при концентрации газа 8,0% от основного объема газозвоздушной смеси

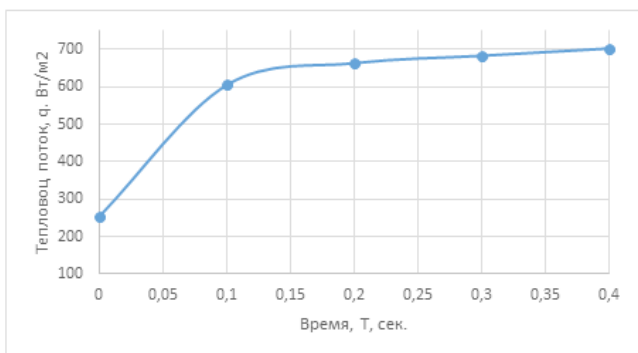


Рисунок 10 – Экспериментальные данные с датчика ДКТП полученные при концентрации газа 9,5% от основного объема газозвоздушной смеси

В ходе проведения эксперимента установлено, что оптимальная концентрация, для проведения натурных испытаний при различной температуре окружающей среды, составляет 8,0% от всего объема рукава. Температура окружающей среды, при которой были получены самые высокие показания с датчиков контроля теплового потока, составляет -

42 °С. Характеристики, полученные в диапазоне -30 °С до 0 °С имеют незначительные расхождения. Величины в диапазоне +10 °С до +30 °С практически не отличаются. При незначительном понижении температуры и повышении давления газ превращается в жидкость, а при температуре —40...40°С и атмосферном давлении переходит в газообразное состояние.

Заключение

В ходе работы проведено исследование изменения значений теплового потока в зависимости от расстояния до сенсора датчика контроля теплового потока. Выполнено определение кривых постоянных значений уровня теплового потока в зависимости от расположения источника относительно оптической оси сенсора. Создана компьютерная программа, реализующая возможность построения математической модели определения координат точки с повышенным значением теплового потока при помощи группы датчиков контроля теплового потока. Так же проведен ряд экспериментов для различных значений концентраций газозвоздушной смеси.

Литература

1. Богданович А.Б., Кирсанов А.А., Сеницын В.В., Татаринов В.В. Оперативная оценка параметров ударной волны при взрыве газозвоздушной смеси // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – № 3 (67). – С.112-116.
2. Акатьев В.А., Волкова Л.В. Оценка сходимости моделей избыточного давления взрыва газозвоздушной смеси // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2012. – № 2. – С. 41-46.
3. Орлов Г.Г., Корольченко Д.А. Оценка степени интенсификации взрывного горения газозвоздушной смеси // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – Т. 24, № 5. – С. 62-67.
4. Поландов Ю.Х., Барг М.А., Власенко С.А. Экспериментальная установка для исследования взрывов газозвоздушной смеси // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2007. – № 4-3. – С. 33-35.
5. Суетнова И.С., Ефимов С.В. Расчет избыточного давления взрыва при сгорании взрывоопасной газозвоздушной смеси // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2018. – Т. 1, № 9. – С. 862-864.

6. Рачевский Б.С. Прогноз и устранение взрывов баллонов со сжиженным углеводородным газом // Безопасность труда в промышленности. – 2018. – №7. – С. 43-46.
7. Азатян В.В., Тимербулатов Т.Р., Шатилов С.В. Эффективные химические методы управления горением, взрывом и детонацией газов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2012. – №2. – С.27-37.