

*Н.Г. Топольский, Д.В. Тараканов, Е.С. Варламов, М.В. Илеменов*  
(Академия ГПС МЧС России; e-mail: den-pgs@rambler.ru)

## **АЛГОРИТМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ В ЗДАНИИ ПРИ ПОЖАРЕ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА**

*Предлагается алгоритм прогнозирования температуры газовой среды в помещениях здания при пожаре на основе информации, получаемой по данным мониторинга.*

*Ключевые слова: ликвидация пожара, мониторинг, температура газовой среды.*

## ***N.G. Topolsky, D.V. Tarakanov, E.S. Varlamov, M.V. Ilemenov*** **PREDICTION ALGORITHM GAS MEDIUM TEMPERATURE IN THE BUILDING DURING A FIRE ACCORDING TO MONITORING**

*Prediction algorithm gas medium temperature in the building during a fire based on information received from monitoring data.*

*Key words: fire suppression, monitoring, temperature.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 11 июня 2014 г.

### **Введение**

Температура газовой среды при пожаре в помещениях здания является одним из наиболее важных параметров, влияющих на действия по ликвидации пожара. Например, данный показатель определяет возможность использования сил и средств газодымозащитной службы на пожаре, а также условия работы газодымозащитников [1-4].

Развитие средств и способов сбора информации о динамике параметров пожара ставит новые задачи обработки данной информации для принятия качественных управленческих решений. В настоящее время реализуется концепция разработки систем мониторинга параметров газовой среды при пожарах в зданиях с применением средств сбора и передачи информации по радиоканалу на персональный компьютер. Наличие такой информации при правильном её использовании может повысить качество оценки обстановки на месте пожара. Для этого необходима разработка специальных программ обработки данной информации с целью принятия решений, что невозможно реализовать без специального математического обеспечения [5].

Важным аспектом ведения действий по тушению пожара является то, что с момента принятия решения до его реализации проходит некоторое время. За это время обстановка на пожаре может существенно измениться и коренным образом повлиять на результаты выбора. В таком случае руководителю тушения пожара придётся либо отменять свое решение и тем самым расходовать время на принятие и реализацию другого решения, либо корректировать решение в связи с изменившейся обстановкой [1].

Возникает необходимость разработки алгоритма прогнозирования динамики *температуры газовой среды (ТГС)* в помещениях по данным, получаемым от систем мониторинга параметров пожара.

## Алгоритм решения задачи прогнозирования температуры газовой среды

Сущность задачи прогнозирования сводится к тому, чтобы по данным, которыми располагают на текущий момент времени, можно было бы предсказать значение искомой величины в будущем времени. Построение алгоритма решения задачи прогнозирования динамики температуры будет основано на методах косвенных измерений физических величин, используемых в метрологии для повышения точности измерений [6].

В соответствии с существом косвенных измерений необходимо ввести расчетный параметр, используемый как основа для прогнозирования, и выбрать количественную шкалу измерения температуры газовой среды.

Процесс наблюдения за параметрами пожара с использованием датчиков является эмпирическим методом сбора информации. Количественная шкала для измерения ТГС должна быть шкалой, выраженной в виде логарифмической зависимости. Данный факт обоснован законом Вебера, описывающим процесс субъективных измерений человеком, применяемых, например, при расстановке пожарных подразделений [1].

Для обоснования использования логарифмической шкалы при расчёте ТГС воспользуемся интегральным термогазодинамическим методом описания параметров пожара в здании [7].

С учётом решения системы интегральных уравнений пожара, полученных в [8], были рассмотрены допущения, которые позволили получить аналитические решения относительно среднеобъемной плотности газовой среды в помещениях очага пожара и смежных с ними.

Итак, зависимость, описывающая динамику среднеобъемной плотности газовой среды ( $\rho_1$ ) для помещения очага пожара, имеет вид:

$$\rho_1 = \frac{1}{a} + \left( \rho_0 - \frac{1}{a} \right) \exp \left( - \frac{a}{V_1} M_\tau \right), \quad (1)$$

для смежного помещения:

$$\rho_j = \rho_{j-1} + (\rho_0 - \rho_{j-1}) \exp \left( - \frac{a}{V_j} M_\tau \right). \quad (2)$$

В выражениях (1) и (2) параметры  $a$  и  $M_\tau$  рассчитываются по формулам:

$$a = \frac{\eta Q_H^p (1 - \varphi)}{C_p T_0 \rho_0}, \quad (3)$$

$$M_\tau = A \cdot t^n, \quad (4)$$

где  $\eta$  – коэффициент полноты сгорания ГН;  
 $\rho_j$  – среднеобъемная плотность газовой среды в  $j$ -м помещении,  $кг \cdot м^{-3}$ ;  
 $C_p$  – теплоемкость среды при постоянном давлении,  $Дж \cdot кг^{-1} \cdot К^{-1}$ ;  
 $\varphi$  – коэффициент теплопотерь;  
 $V_j$  – объем  $j$ -го помещения,  $м^3$ ;  
 $\rho_0$  – начальная среднеобъемная плотность газовой среды,  $кг \cdot м^{-3}$ ;

$T_0$  – начальная среднеобъемная температура газовой среды в помещении, °K;

$A$  и  $n$  – константы, определяемые в зависимости от процесса развития пожара;

$t$  – время, с.

Температура пожара определяется как производная функция от среднеобъемной плотности газовой среды. Поэтому решение задачи прогнозирования ТГС будет основано на анализе выражения динамики среднеобъемной плотности этой среды.

Итак, обобщая выражения (1), (2) и (4) получим:

$$\rho_1 = \frac{1}{a} + \left( \rho_0 - \frac{1}{a} \right) \cdot \exp\left( -\frac{a \cdot A}{V_j} t^n \right),$$
$$\rho_j = \rho_{j-1} + \left( \rho_0 - \rho_{j-1} \right) \exp\left( -\frac{a \cdot A}{V_j} t^n \right).$$
(5)

Упростим выражение (5), введя следующие обозначения:

$$D_j = \frac{a \cdot A}{V_j}, \quad n = 1.$$

С учётом этого получим:

$$\rho_j = \rho_{j-1} + \left( \rho_0 - \rho_{j-1} \right) \cdot \exp(-D_j \cdot t).$$
(6)

Преобразуем выражение (6) к сумме двух слагаемых:

$$\rho_j = \rho_0 \cdot \exp(-D_j \cdot t) + \rho_{j-1} \cdot (1 - \exp(-D_j \cdot t)).$$
(7)

Используя допущения, оговоренные в [7] и опуская второе слагаемое выражения (7), получим:

$$\rho_j = \rho_0 \cdot \exp(-D_j \cdot t).$$
(8)

Следствие из уравнения состояния газовой среды в помещении при пожаре  $\rho_0 T_0 = \rho_j T_j$  позволяет выразить формулу для прогнозирования ТГС по показаниям датчика, расположенного в помещении:

$$T_j = T_0 \exp(D_j \cdot \Delta t),$$
(9)

где  $j$  – номер датчика.

Анализируя выражение (9), можно сделать вывод, что для прогнозирования динамики ТГС на отрезке времени  $[t_{i-1}; t_i]$  может использоваться формула

$$T_{ji} = T_{ji-1} \exp(D_{ji} \cdot (t_i - t_{i-1})),$$
(10)

где  $i$  – номер показания датчика (номер измерения);

$j$  – номер датчика.

Тогда значения параметра  $D_{ji}$ , характеризующего шкалу измерений, можно рассчитать для каждого датчика с номером  $j$  для измерения с номером  $i$  по формуле

$$D_{ji} = \frac{1}{t_i - t_{i-1}} \ln \left( \frac{T_{ji}}{T_{ji-1}} \right). \quad (11)$$

Как видно из выражения (11), для измерения динамики ТГС используется логарифмическая шкала, то есть шкала отношений.

Таким образом, располагая результатами математического анализа параметров газовой среды при пожаре представляется возможным предложить алгоритм решения задачи прогнозирования ТГС как в помещении очага пожара, так и смежных с ним помещениях. Алгоритм можно разделить на следующие этапы:

1. Сбор данных о температуре газовой среды с выбранной дискретностью. В общем случае значения ТГС для разных временных промежутков представляются в графической либо табличной форме. Важно, чтобы количество наблюдений было не менее 3-х.

2. Расчёт значений параметра  $D$  для полученных данных по формуле (11). Стоит отметить, что количество полученных значений параметра  $D$  будет на 1 меньше, в сравнении с исходным количеством наблюдений, то есть минимальное количество расчетных значений параметра  $D$  будет 2.

3. Выбор трендовой (регрессионной) зависимости параметра  $D$  от времени с необходимой степенью точности, удовлетворяющей эмпирическим данным. В данный этап входит также расчет параметров регрессионной модели.

4. Расчёт значения параметра  $D$  для будущего момента времени по регрессионной зависимости. По полученному прогнозному значению параметра  $D$  определяется и прогнозное значение температуры газовой среды.

### **Заключение**

Анализ динамики температуры газовой среды при пожаре в помещении с использованием интегрального термогазодинамического метода описания параметров пожара позволил разработать алгоритм прогнозирования температуры с использованием данных мониторинга параметров пожара. Алгоритм разделён на четыре этапа и по своей структуре аналогичен многочисленным способам косвенных определений величин, используемых в метрологии. В отличие от известных, данный алгоритм имеет этап прогнозирования значений расчетного показателя, характеризующего шкалу измерений, с использованием которого вычисляется искомое значение температуры пожара.

Практическое применение данного алгоритма предусматривается в качестве математической основы для разработки программных продуктов, позволяющих осуществлять поддержку принятия решений при тушении пожаров в зданиях [9]. Стоит также отметить, что наличие задач прогнозирования изме-

няет содержание электронных документов предварительного планирования действий по тушению пожаров в зданиях, оборудованных системами мониторинга параметров пожара. Выбранный способ прогнозирования температуры пожара позволяет при предварительном планировании действий по тушению пожара (для имитации процессов развития пожара в здании) использовать интегральную модель.

#### **Литература**

1. *Теребнев В.В., Богданов А.В., Семенов А.О., Тараканов Д.В.* Принятие решений при управлении силами и средствами на пожаре: учебное пособие. Екатеринбург: "Издательство Калан". С. 100.
2. *Теребнев В.В., Семенов А.О., Тараканов Д.В.* Теоретические основы принятия решений при управлении силами и средствами на пожаре // Пожаровзрывобезопасность. 2012. № 9. С. 51-57.
3. *Денисов А.Н., Захарьевская С.Н.* Принятие управленческого решения при тушении пожара // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. Вып. 3 (55). 2014. 12 с. <http://ipb.mos.ru/ttb/2014-3>.
4. *Денисов А.Н., Лукьянченко А.А., Соколов А.В., Григорьев А.Н.* Исследование факторов, влияющих на управление пожарными подразделениями при тушении пожаров в помещениях // Пожаровзрывобезопасность. 2011. № 8. С. 48-52.
5. *Топольский Н.Г.* Основы автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности объектов. М.: МИПБ МВД России, 1997. 165 с.
6. *Пицык В.В.* Модель прогнозирования нестационарного состояния измерительной техники с параметрическими отказами // Метрология. 2010. № 3. С. 3-15.
7. *Кошмаров Ю.А.* Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учебное пособие. М.: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.
8. *Федосов С.В., Ибрагимов А.М., Соловьев Р.А., Мурзин Н.В., Тараканов Д.В., Лапишин С.С.* Математическая модель развития пожара в системе помещений // Вестник МГСУ. 2013. № 4. С. 121-128.
9. *Теребнев В.В., Семенов А.О., Смирнов В.А., Тараканов Д.В.* Анализ и поддержка решений при тушении пожаров // Пожаровзрывобезопасность. 2010. № 5. С. 10-17.