

УДК 654.9+614.84+658.345

А. Л. Ахтулов, доктор технических наук, профессор, Омский государственный университет путей сообщения
Л. Н. Ахтулова, кандидат технических наук, доцент, Омский государственный университет путей сообщения
А. Е. Любаков, аспирант, Омский государственный университет путей сообщения
Л. А. Иванова, кандидат медицинских наук, доцент, Омский государственный технический университет

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПОЖАРА НА РАННЕЙ СТАДИИ ПРИ СОЗДАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ОБЪЕКТА

По неутешительной статистике [1, 2] во всем мире постоянно происходят пожары, ведущие к гибели людей и причиняющие колоссальный экологический и материальный ущерб. Трагические события последних лет, произошедшие в нашей стране, делают задачу необходимости создания решений по своевременному выявлению и предотвращению очагов возгораний весьма актуальной. Учитывая тот факт, что практически невозможно предвидеть момент возгорания, крайне важно как можно раньше его обнаружить. В работах [3, 4, 5] отмечаются особенности, связанные с разработкой научно обоснованной совокупности оптимальных противопожарных действий на территориально распределенных объектах при раннем обнаружении и предупреждении пожаров для прогнозирования и оценки опасных факторов.

По этим причинам является актуальной автоматизация процесса формирования систем, обеспечивающих своевременное и достоверное [6] предупреждение ранней стадии пожара на основе быстрого действия пожарной автоматики, при спасении от пожара и обеспечении экологической безопасности объектов [7].

Таким образом, главной функцией систем предупреждения пожара на ранней стадии является сокращение времени получения сигнала об очаге возгора-

ния от периферийного устройства, его анализ и обработка для передачи информации на приемно-контрольный пункт [8, 9]. Затем в короткий промежуток времени должны быть обработаны полученные результаты, оценена их достоверность и сформированы сигналы оповещения, своевременно запущены устройства системы удаления дыма и пожаротушения. Формирование этих систем основано на построении математических моделей прогнозирования процессов возгорания при пожарах [10, 11, 12]. Как отмечается в работе [13], любой сложный территориально распределенный объект может быть представлен как набор используемых систем [14]: охраны и видеонаблюдения, пожаротушения, контроля среды, электропитания и аварийного питания (рис. 1).

При проектировании пожарной безопасности необходимо, чтобы система выдавала сообщение о начале возгорания по каждому элементу территориально распределенного объекта, поэтому системы пожарной сигнализации для центра обработки данных должны очень быстро реагировать на возгорания в различных местах размещения и хранения объектов. Современным подходом будет изменение параметров в каждой из рассматриваемых систем обеспечения посредством цифровой системы управления (рис. 2).

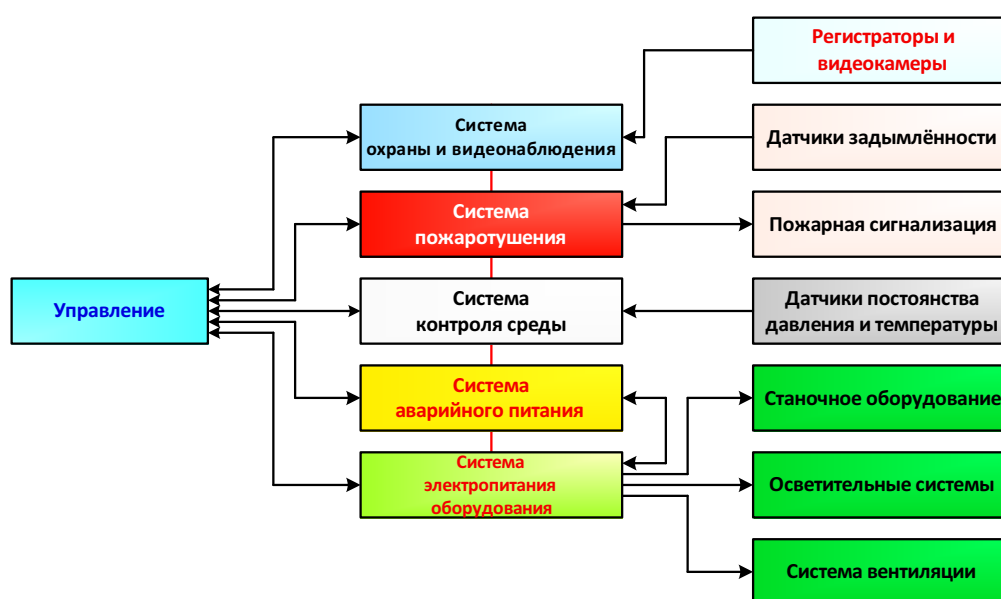


Рис. 1. Блок-схема управления системой безопасности современного промышленного объекта

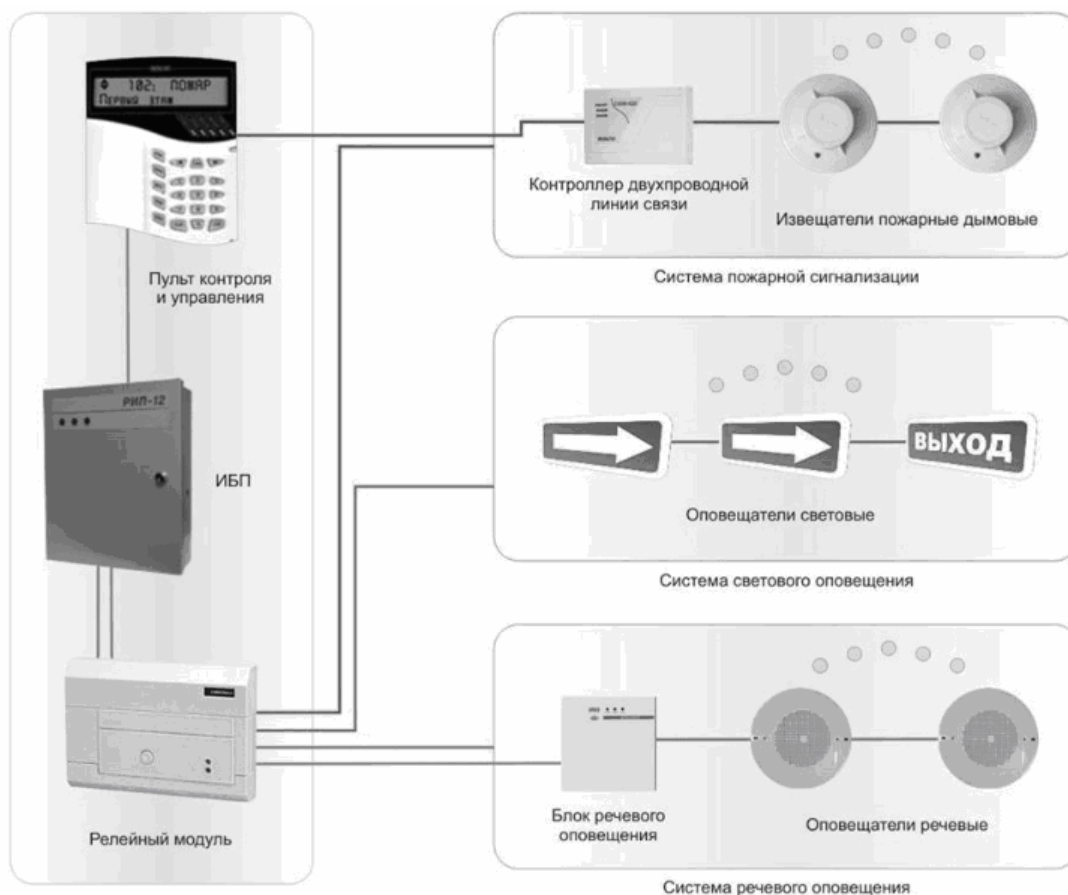


Рис. 2. Блок-схема цифровой системы управления

Существующие в настоящее время математические модели описания пожаров на различных объектах можно подразделить на три основных типа: интегральные, зонные и полевые (дифференциальные) [15]. При этом отличительной особенностью моделей является количество информации о состоянии газовой среды в окружающем пространстве и взаимодействующих с ней конструкций объекта. Интегральная модель пожара представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений, а искомыми функциями являются усредненные по объему помещения параметры, определяющие состояние среды.

В этом случае независимой переменной является время. Такие модели чаще всего применяются при описании процессов начала возгорания [16], в частности, при решении задачи синтеза систем пожарной сигнализации [17].

В настоящее время описание начальной стадии пожара интегральными моделями получило наиболее широкое распространение [18, 19], однако дальнейшее совершенствование систем пожарной безопасности приводит к необходимости разработки математических моделей пожара с использованием теории динамических систем и с применением таких математических моделей, как передаточная функция, а также временные и частотные характеристики.

Таким образом, существует необходимость создания математических моделей, описывающих про-

цессы при пожаре на его начальной стадии возгорания в помещении, имеющем малое значение проемности, так как возникает режим газообмена, при котором процесс возгорания осуществляется в одном направлении через все имеющиеся проемы. При этом считается, что поступление воздуха в помещение из окружающей среды на этой стадии развития пожара отсутствует [20]. Кроме того, полагается практически постоянной величиной и равной величине давления наружного воздуха среднее значение давления среды в рассматриваемом помещении объекта.

Тогда получаем:

$$\frac{dP}{dt} \cong 0; \quad \rho T = \rho_0 T_0, \quad (1)$$

где P – усредненное по объему помещения давление; ρ, T – плотность и температура среды в рассматриваемый момент времени соответственно; ρ_0, T_0 – плотность и температура среды перед начальной стадией пожара соответственно.

С учетом принятых допущений уравнения пожара будут иметь вид:

$$V \frac{d\rho}{dt} = \psi - G_r; \quad (2)$$

$$\psi Q_1 \zeta - c T G_r - Q_2 = 0, \quad (3)$$

где V – объем помещения; ψ – массовая скорость выгорания; G_r – расход газов, вытекающих из помещения через проемы; Q_1 – теплота сгорания; ζ – коэффициент полноты сгорания; c – теплоемкость воздуха; Q_2 – тепловой поток в ограждении.

Коэффициент тепловых потерь будет определяться по формуле

$$\varphi = \frac{1}{\tau_0} \int_0^{\tau_0} Q_2 Q_3^{-1} d\tau, \quad (4)$$

где τ_0 – время окончания начальной стадии пожара; $Q_3 = \psi Q_1 \zeta$ – скорость тепловыделения.

Тогда (3) с учетом (4) примет вид

$$\psi Q_1 \zeta (1 - \varphi) - c T G_r = 0, \quad (5)$$

откуда с учетом (1) получим выражение для G_r :

$$G_r = \frac{\psi \zeta Q_1 (1 - \varphi)}{c \rho_0 T_0} \rho. \quad (6)$$

Объединение (1), (2) и (6) дает выражение

$$-\frac{\rho_0 T_0 V}{T^2} \frac{dT}{dt} + \frac{\psi \zeta Q_1 (1 - \varphi)}{c T} = \psi. \quad (7)$$

Используя процедуру линеаризации [21] уравнения (7) относительно произвольно выбранного квазистационарного режима c , получим выражение

$$\begin{aligned} \frac{\rho_0 T_0 V}{T_0^2} \frac{d(\Delta T(t))}{dt} + \frac{\psi_0 \zeta Q_1 (1 - \varphi)}{c T_0^2} \Delta T(t) = \\ = \left[\frac{\zeta Q_1 (1 - \varphi)}{c T_0} - 1 \right] \Delta \psi(t), \end{aligned} \quad (8)$$

где

$$T(t) = T_0 + \Delta T(t); \quad \psi(t) = \psi_0 + \Delta \psi(t) \quad (9)$$

при $\Delta T(t) \ll T_0$ и $\Delta \psi(t) \ll \psi_0$.

Предполагая $\Delta \psi(t) = A = \text{const}$, получим решение уравнения (8) при нулевых начальных условиях:

$$\begin{aligned} \Delta T(t) = \frac{T_0 A}{\psi_0} \left[1 - \frac{c T_0}{\zeta Q_1 (1 - \varphi)} \right] \times \\ \times \left[1 - \exp \left(- \frac{\psi_0 \zeta Q_1 (1 - \varphi)}{\rho_0 T_0 c V} t \right) \right], \end{aligned} \quad (10)$$

что по смыслу представляет собой переходную функцию пожара как динамического объекта на начальной стадии его развития [22]; тогда для рассматриваемого случая передаточная функция [23] определяется по выражению

$$W(p) = A^{-1} p L[\Delta T(t)], \quad (11)$$

где L – оператор интегрального преобразования Лапласа.

Тогда из (10) и (11) получаем выражение для передаточной функции

$$W(p) = \frac{K}{\tau p}, \quad (12)$$

где K и τ – соответственно, коэффициент передачи и остоянная времени, которые определяются из следующих выражений:

$$K = \frac{T_0}{\psi_0} \left[1 - \frac{c T_0}{\zeta Q_1 (1 - \varphi)} \right]; \quad \tau = \frac{\rho_0 T_0 c V}{\psi_0 \zeta Q_1 (1 - \varphi)}. \quad (13)$$

Из выражений (13) видно, что постоянная времени τ является линейной функцией объема помещения V .

Таким образом, использование передаточной функции (12) позволяет определить среднеобъемную температуру в помещении в зависимости от характера изменения массовой скорости выгорания.

Так, при $\Delta \psi(t) = at$, где a – параметр [24], получим приращение среднеобъемной температуры $\Delta T(t)$ в помещении объекта из [25] уравнение

$$\Delta T(t) = L^{-1} \left(\frac{W(p)}{p^2} \right) = aK \left(\tau e^{-\frac{t}{\tau}} + t - \tau \right), \quad (14)$$

где L^{-1} – оператор обратного интегрального преобразования Лапласа.

По аналогии, при $\Delta \psi(t) = \frac{bt^2}{2}$, где b – параметр приращения среднеобъемной температуры в помещении, получим уравнение

$$\Delta T(t) = L^{-1} \left(\frac{bW(p)}{p^3} \right) = bK \tau^2 \left(\tau^2 + \tau t + 2t^2 - \tau^2 e^{-\frac{t}{\tau}} \right). \quad (15)$$

Таким образом, для описания начальной стадии возгорания в помещении получены переходная характеристика и передаточная функция пожара как динамического объекта. Использование передаточной функции как одной из характеристик динамики развития пожара позволяет по заданной модели массовой скорости выгорания горючего вещества определить изменение среднеобъемной температуры в помещении как функции времени.

В заключение следует отметить, что в настоящее время наиболее перспективным направлением в создании систем пожарной сигнализации можно считать применение тепловизоров и видеонаблюдения [26], которые обладают способностью надежно и в минимально короткие сроки определять очаг возгорания.

Библиографические ссылки

1. Кошмаров Ю. А., Рубцов В. В. Процессы нарастания опасных факторов пожара в производственных помещениях и расчет критической продолжительности пожара. – М.: МИПБ МВД России, 1999. – 89 с.

2. Кошмаров Ю. А. Развитие пожара в помещении. Горение и проблемы тушения пожаров // Сб. науч. тр. ВНИИПО МВД СССР. – Вып. 5. – М., 1955. – С. 31–45.

3. Разработка методики и средств организации технологической подготовки производства пожарнотехнической продукции / А. Л. Ахтулов, Л. А. Иванова, А. Е. Любаков, П. В. Одинцов // Ориентированные фундаментальные и прикладные исследования – основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России : материалы Всерос. 65-й науч.-техн. конф. ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (с междунар. участием). – Омск : Изд-во СибАДИ, 2011. – С. 219–224.

4. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. – Введ. 2009-06-30. – М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – 71 с.

5. Шаровар Ф. И. Методы раннего обнаружения загораний. – М. : Стройиздат, 1988. – 336 с.

6. Однолько А. А., Ситников И. В. Определение величины пожарного риска в производственном помещении с выделением горючих жидкостей и газов // Научный вестник Воронеж. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. – 2011. – № 3(23). – С. 125–133.

7. Ахтулов А. Л., Ахтулова Л. Н., Леонова А. В. Методика оценки качества процессов проектирования сложных технических устройств // Омский научный вестник. – 2013. – № 3(123). – С. 87–92.

8. Сафронов В. В., Аксенова Е. В. Выбор и расчет параметров установок пожаротушения и сигнализации. – Орел : ОрелГТУ, 2004. – 57 с.

9. Синилов В. Г. Системы охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации. – М. : Академия, 2010. – 512 с.

10. Моделирование пожаров и взрывов / под общ. ред. Н. Н. Брушлинского и А. Я. Корольченко. – М. : Пожнаука, 2000. – 482 с.

11. Пузач С. В. Математическое моделирование газодинамики и теплообмена при решении задач пожаровзры-

вобезопасности. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2002. – 150 с.

12. Термодинамика пожаров в помещении / под ред. Ю. А. Кошмарова. – М. : Стройиздат, 1988. – 448 с.

13. Особенности построения при автоматизации проектирования систем пожаротушения на распределенных объектах / А. Л. Ахтулов, Л. Н. Ахтулова, А. Е. Любаков, Л. А. Иванова // Омский научный вестник. – 2013. – № 3(119). – С. 58–62.

14. Сафронов В. В., Аксенова Е. В. Указ. соч.

15. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. – М. : АГПС МВД России, 2000. – 118 с.

16. Шаровар Ф. И. Методы раннего обнаружения загораний. – М. : Стройиздат, 1988. – 336 с.

17. Шаровар Ф. И. Принципы построения устройств и систем автоматической пожарной сигнализации. – М. : Стройиздат, 1983. – 355 с.

18. Драйсдейд Д. Введение в динамику пожаров. – М. : Стройиздат, 1988. – 336 с.

19. Термодинамика пожаров в помещении.

20. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении.

21. Абрамов Ю. А. Основы пожарной автоматики. – Харьков : ХИПБ, 1993. – 288 с.

22. Там же.

23. Абрамов Ю. А., Садковой В. П. Математические модели гидромагистралей систем автоматического пожаротушения // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – Вып. 72. – Киев : Техніка, 2006. – С. 336–343.

24. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении.

25. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. – М. : Наука, 1968. – 720 с.

26. Пивоваров В. В., Цариченко С. Г., Здор В. Л. Средства пожарной автоматики. Область применения. Выбор типа. Рекомендации. – М. : Изд-во ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2004. – 96 с.