

*Р.М. Полстянкин, адъюнкт, НУГЗУ,
Б.Б. Поспелов, д.т.н., профессор, вед. научн. сотр., НУГЗУ*

СТОХАСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ И ПАРАМЕТРОВ ОЧАГА ЗАГОРАНИЯ В ПОМЕЩЕНИЯХ

(представлено д-ром техн. наук Абрамовым Ю.А.)

Предложены стохастические модели контролируемых опасных факторов и их параметров, имеющих место в негерметичных помещениях на ранней стадии развития пожара.

Ключевые слова: стохастические модели, опасные факторы загорания, очаг загорания, температура, случайный процесс.

Постановка проблемы. Обнаружение пожара на его ранних стадиях развития является первоочередной задачей систем пожарной сигнализации. При этом основным элементом контроля пожара в таких системах являются пожарные извещатели. Для современных производственных и бытовых помещений характерно существенное усложнение условий контроля опасных факторов загорания пожарными извещателями. Сложность условий обусловлена случайным характером параметров, определяющих динамику самих опасных факторов источника возгорания, а также среды передачи с учетом фоновых флуктуаций, сопровождающих процесс передачи контролируемых факторов пожара от источника в зону размещения пожарных извещателей. Многообразие и случайный характер реальных условий, а также наличие объективной потребности в оптимизации систем пожарной сигнализации и анализе их эффективности в реальных условиях порождают проблему разработки адекватных стохастических моделей контролируемых опасных факторов пожара в помещениях.

Анализ последних исследований и публикаций. Большая часть отечественных и зарубежных публикаций посвящена разработке детерминированных моделей опасных факторов пожара в помещениях без учета случайного характера самих параметров очага возгорания и среды передачи этих факторов. Наиболее полный их перечень можно найти в последнем учебнике Ю.А. Кошмарова. При этом в ряде работ его учеников и других авторов отмечается, что случайный характер параметров реальных очагов возгорания оказывает существенное влияние на динамику ранней стадии развития опасных факторов пожара. Впервые применение статистического подхода при одномерном и многомерном обнаружении загораний системами пожарной сигнализации содержится в работе [1]. Однако предлагаемые там модели носят частный характер и не охватывают возможного многообразия реальных условий пожара. При этом рассматриваемые модели ограничиваются интегральным оператором Дюа-

меля для чувствительного элемента пожарных извещателей без учета случайного характера преобразований факторов в среде передачи.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является разработка стохастических моделей контролируемых опасных факторов пожара в помещениях.

В общем случае пожар в помещении кроме горения характеризуется явлениями массового и теплового обмена, развивающимися во времени и пространстве. Эти явления взаимосвязаны, их интенсивность и условия развития определяются рядом факторов, многие из которых носят случайный характер. Каждый пожар представляет собой ситуацию, определяемую множеством событий, реализация которых носит случайный характер. Поэтому точно предсказать развитие пожара во всех деталях невозможно. Будем полагать, что очаг возгорания является источником информации о состоянии опасных факторов, определяемых векторным процессом $Y(t)$, характеризующим температуру, газообразные продукты выделения, дым, пламя, а также параметры, определяющие эти компоненты [2]. Тогда среда может рассматриваться в качестве элемента передачи указанной информации в зону расположения пожарных извещателей. Для реальных сред передача информации $Y(t)$ обычно сопровождается воздействием различных случайных воздействий. С учетом этого процесс передачи в общем случае можно описать обобщенным оператором $C(*)$, трансформирующим исходный процесс $Y(t)$ в соответствующий процесс $z(t)$, определяемый

$$z(t) = C\{Y(t), n(t)\}, \quad (1)$$

где $n(t)$ – соответствующий векторный процесс, определяемый случайными фоновыми воздействиями в среде передачи. Для верификации процесса (1) проводился эксперимент в соответствии со схемой, представленной на рис. 1.

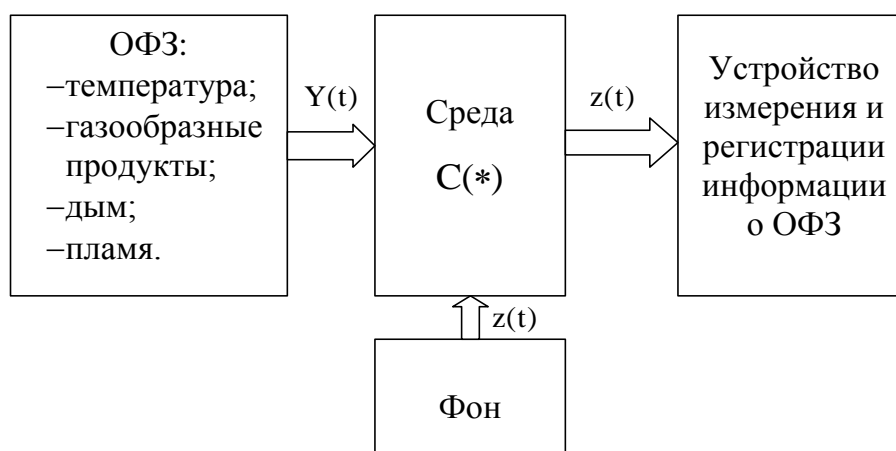


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки

Эксперимент проводился в негерметичной камере размером 1020мм:840мм:520мм, в верхней части которой располагался специальный чувствительный элемент, обладающий малой инерционностью, для контроля и регистрации реальных факторов очага загорания. В качестве очагов возгорания рассматривались горючие материалы в виде спирта (C_2H_5OH), ткани, бумаги и древесины.

Площадь очага загорания составляла 35см^2 , а высота пламени от основания очага – 200-230мм. Возгорание продуктов горения имело место на 30 секунде (рис. 2). В ходе эксперимента регистрировались данные о температуре газовой среды, плотности дыма и содержании СО в камере. В качестве иллюстрации на рис. 3 представлены результаты эксперимента для температуры газовой среды в камере для различных типов горючего материала (Т1 – спирт, Т2 – бумага, Т3 – древесина, Т4 – ткань).



Рис. 2. Внешний вид камеры и исследуемого очага возгорания материала

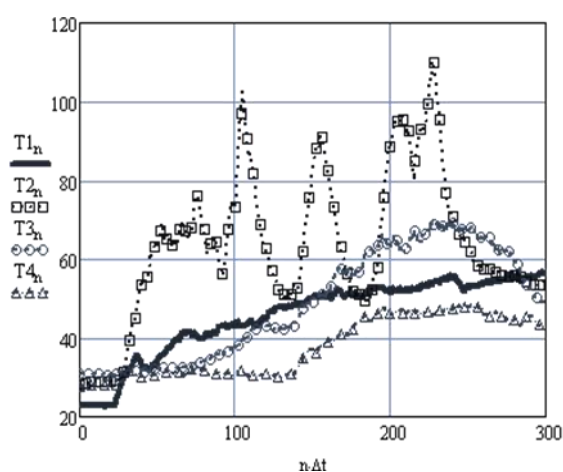


Рис. 3. Температура газовой среды в камере для различных материалов

На рис. 4 и рис. 5 представлены аналогичные зависимости соответственно для задымления (D1 – спирт, D2 – бумага, D3 – древесина и D4 – ткань) и содержания СО (СО1 – спирт, СО2 – бумага, СО3 – древесина и СО4 – ткань) в газовой среде камеры. Анализ полученных данных на рис. 3-5 свидетельствует о том, что динамика температуры, задымления и содержания СО для газовой среды в камере при горении рассмотренных типов материалов не является детерминированной, а характеризуется нестационарными процессами с явными признаками наличия тренда и случайных флуктуаций.

Это доказывает справедливость гипотезы о случайном характере представления (1). Следуя (1) и результатам эксперимента можно утверждать, что совокупность $\{Y(t), n(t), C(*)\}$ будет определять случайное состояние самого очага загорания и транспортных возможностей среды передачи опасных воздействий очага в зону размещения соответствующего пожарного извещателя.

Важными для теории и техники систем пожарной сигнализации являются модели составляющих процесса $Y(t)$, характеризующих тем-

пературу, газообразные продукты выделения, дым, пламя очага загорания, а также параметры, от которых зависят эти составляющие. Так, например, одной из важнейших характеристик любого очага возгорания в помещении является мощность очага пожара, определяющая количество теплоты, которое выделяется очагом в единицу времени. Эта характеристика для реальных условий не является детерминированной, а зависит от случайных во времени процессов полноты сгорания, удельной массовой скорости выгорания материала и площади очага горения.

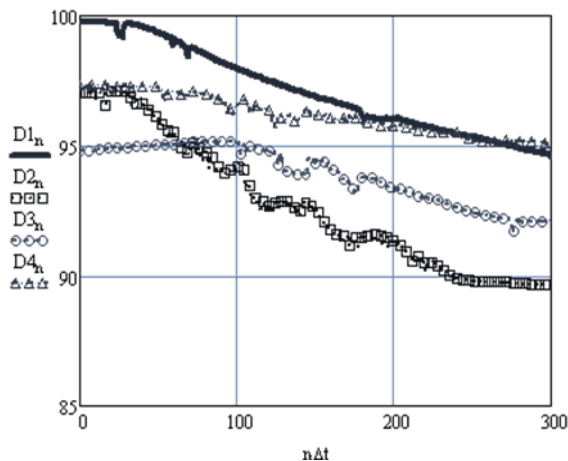


Рис. 4. Задымление газовой среды в камере для различных материалов

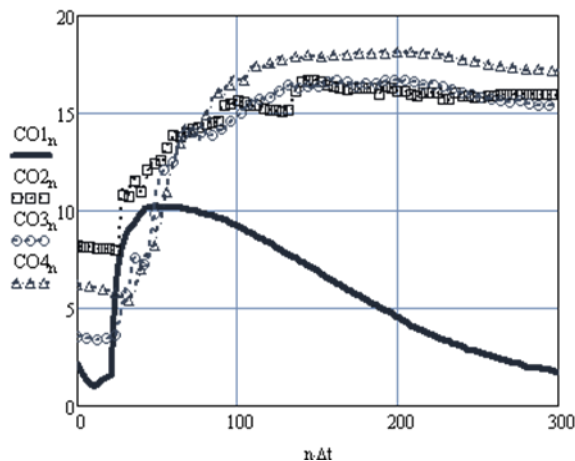


Рис. 5. Содержание СО в газовой средекамеры для различных материалов

В общем случае будем полагать, что вектор $Y(t)$ описывает указанные выше компоненты, а также некоторые их параметры. При этом пусть общее число составляющих вектора $Y(t)$ ограничивается числом m . Тогда для i -ой составляющей данного вектора справедлива обобщенная модель, определяемая

$$y_i(t) = F_p \{x_i(t), v_i(t)\}, i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

где F_p – некоторый оператор для i -ой составляющей вектора $Y(t)$; $x_i(t), v_i(t)$ – соответственно случайная и неслучайная функции времени, определяющие совместно с оператором F_p модель для i -ой составляющей вектора $Y(t)$. Соотношение (2) позволяет описывать достаточно широкий класс возможных моделей для составляющих этого вектора, характеризующихся различными видами тренда $v_i(t)$ и случайными флуктуациями $x_i(t)$.

Рассмотрим частные случаи (2) для физических компонентов очага загорания и их параметров. Для простейшей стохастической модели оператор F_p может быть линейным и аддитивным. Результат действия такого оператора сводится к суммированию соответствующих функций $x_i(t)$ и $v_i(t)$. В этом случае данный оператор может быть представлен в следующем виде

$$F_a \{*\} \rightarrow y_i(t) = \{x_i(t) + v_i(t)\}. \quad (3)$$

Для такой модели статистические свойства составляющей $y_i(t)$ или параметра будут полностью определяться на заданном интервале времени соответствующей функцией распределения $F(x_i^n, t_i^n)$ или плотностью вероятности $p(x_i^n, t_i^n)$ случайной функции $x_i(t)$. Алгоритмы моделирования процессов с различными заданными статистическими свойствами достаточно хорошо описаны в современной литературе и поэтому здесь не приводятся.

Более сложной является модель, для которой оператор F_p является мультипликативным. При этом результат воздействия такого оператора сводится к произведению случайной функции $x_i(t)$ и функции $v_i(t)$ тренда. В этом случае оператор может быть представлен в виде

$$F_{am}\{*\} \rightarrow y_i(t) = \{x_i(t)v_i(t)\}. \quad (4)$$

Для данной модели статистические свойства составляющей $y_i(t)$ или параметра определяются свойствами случайного процесса $x_i(t)$, а корреляционная функция $R_y = v_i^2(t)R_x$, где R_x – корреляционная функция случайного процесса $x_i(t)$.

Более сложной разновидностью модели для составляющей $y_i(t)$ или параметра является аддитивная интегральная модель, когда случайная составляющая модели описывается интегральным линейным преобразованием случайного процесса $x_i(t)$, а функция $v_i(t)$ тренда – представляет аддитивную составляющую. В этом случае модель описывается в виде

$$F_{ai}\{*\} \rightarrow y_i(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h_i(t-\tau)x_i(\tau)d\tau + v_i(t), \quad (5)$$

где $h_i(t-\tau)$ – заданное ядро интегрального преобразования. В рамках модели (5) возможно обобщение на случай мультипликативной интегральной модели. Наряду с интегральным представлением возможно использование дифференциальной модели для составляющей $y_i(t)$ или параметра.

В этом случае аддитивная дифференциальная модель представляется в виде

$$F_{ad}\{*\} \rightarrow y_i(t) = D\{x_i(t) + v_i(t)\}, \quad (6)$$

где D – оператор дифференцирования. Разновидностью модели (6) является модель, определяемая в виде

$$F'_{ad}\{*\} \rightarrow y_i(t) = D\{x_i(t)\} + v_i(t). \quad (7)$$

Важной особенностью моделей (6) и (7) является то, что они описываются стохастическими дифференциальными уравнениями. Это открывает новые возможности по моделированию очагов загорания и среды передачи опасных воздействий очага в зону размещения пожарных извещателей на основе метода переменных состояния, получившего в последнее время широкое использование и обладающего рядом важных преимуществ. Прежде всего, в отличие от других видов описания случайного процесса они непосредственно указывают способ генерации его реализаций.

Выводы. В статье предложены стохастические модели контролируемых опасных факторов и их параметров, имеющих место в негерметичных помещениях на ранней стадии развития пожара. Рассмотрены частные стохастические модели в виде дифференциальных уравнений, позволяющие решать широкий круг практических задач по моделированию начальной стадии пожара в помещениях на основе метода переменных состояния.

Использование стохастических дифференциальных уравнений в форме уравнений состояния позволяет синтезировать оптимальные алгоритмы обработки в пожарных извещателях и устройствах обнаружения маломощных загораний системами пожарной сигнализации для гораздо более широкого класса процессов, описывающих составляющие вектора $Y(t)$, чем другие известные методы, и эти алгоритмы лучше приспособлены для реализации на современной элементной базе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шаровар Ф.И. Пожаропредупредительная автоматика: Теория и практика предотвращения пожаров от маломощных загораний / Монография. – М.: Специнформатика – СИ, 2013. – 556с.

2. Пospelов Б.Б. Системная классификация моделей динамики среднеобъемной температуры пожара в помещении / Б.Б. Пospelов, В.А. Андронов // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2015. – Вип. 37. – С. 178-185.

Р.М. Полстянкін, Б.Б. Пospelов

Стохастичні моделі небезпечних факторів і параметрів осередку загорянь в приміщенні

Запропоновано стохастичні моделі контрольованих небезпечних факторів і їх параметрів, що мають місце в негерметичних приміщеннях на ранній стадії розвитку пожежі.

Ключеві слова: Стохастичні моделі, небезпечні фактори загоряння, осередок загоряння, температура, випадковий процес.

R.M. Polstiankin, B.B. Pospelov

Stochastic models of hazardous factors and parameters of a fire in the premises

Proposed stochastic models controlled hazards and their parameters occurring in-leaky buildings in the early stages of a fire.

Keywords: Stochastic models, the hazards of combustion, heat source, temperature, random process.