

*Б.Б. Поспелов, д.т.н., профессор, вед. научн. сотр., НУГЗУ,
В.А. Андронов, д.т.н., профессор, проректор, НУГЗУ*

СИСТЕМНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ СРЕДНЕОБЪЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ

Предложена системная классификация моделей динамики среднеобъемной температуры газовой среды при пожаре в негерметичном помещении, базирующаяся на детерминированном и стохастическом ресурсе пожара.

Ключевые слова: системная модель динамики пожара, среднеобъемная температура газовой среды, негерметичное помещение.

Постановка проблемы. Современная статистика видов пожара и наносимого ими ущерба свидетельствует о преобладании пожаров в помещениях. Эффективность противопожарной защиты неразрывно связана с совершенствованием систем раннего предупреждения о пожаре в помещении. Важное место при этом отводится моделям пожара в помещении на его начальной стадии для различных типов объектов. Наиболее опасным фактором пожара в помещениях является температура газовой среды. В настоящее время известно огромное число различных типов моделей динамики среднеобъемной температуры для различных стадий пожара в помещении. Однако в основе формирования эффективного комплекса противопожарных мер на любом объекте лежат системные исследования моделирования описания процессов возникновения и развития пожара. При этом важная проблема, применительно к пожарному делу, состоит в отсутствии системной классификации различных способов прогнозирования возникновения и развития процессов горения в помещении. Это порождает проблему системной классификации известных моделей с целью выявления системных особенностей динамики среднеобъемной температуры в помещении при пожаре и принятии адекватных решений.

Анализ последних исследований и публикаций. Рассмотрению моделей динамики температуры в помещениях на начальной стадии пожара посвящено достаточное число публикаций [1-4]. К общим недостаткам известных моделей следует отнести их многообразие, обусловливаемое различными типами ограничений и допущений, используемых при обосновании и разработке моделей, а также отсутствие системного анализа опасных факторов пожара. Так, например, для известных интегральных и зонных моделей, как правило, постулируется стационарность условий горения. В частности, в [3] рассматривается интегральная модель ди-

динамики температуры в помещении на начальной стадии пожара в предположении, что удельная массовая скорость выгорания является постоянной величиной. Однако в [4] отмечается, что величина удельной массовой скорости выгорания, например, для дизельного топлива изменяется примерно вдвое в течение первых 300с. При этом отмечается, что результаты исследований ряда авторов свидетельствуют о нестационарном характере всех физико-химических процессов в начальной стадии пожара в помещении [4]. В последнее время актуальными становятся системные исследования пожаров [5-7]. Однако в указанных работах отсутствует системная классификация моделей динамики среднеобъемной температуры газовой среды в помещении.

Постановка задачи и ее решение. Целью настоящей работы является рассмотрение системной классификации моделей динамики среднеобъемной температуры газовой среды в помещении на начальной стадии пожара.

В начальной стадии пожара в негерметичном помещении с малым значением проемности процесс газообмена осуществляется преимущественно в одном направлении. Поступление воздуха в помещение из окружающей среды на этой стадии развития пожара отсутствует [3], а среднее значение давления газовой среды является практически неизменным и его можно положить равным величине давления наружного воздуха. Поэтому можно принять, что для среднеобъемных опасных факторов пожара справедливы соотношения

$$dp_m(t)/dt \cong 0, \quad (1)$$

$$\rho_m(t)T_m(t) = T_0\rho_0, \quad (2)$$

где $p_m(t)$ – среднеобъемное давление газовой среды в помещении в момент времени t ; T_0, ρ_0 – температура и плотность газовой среды до начала пожара; $\rho_m(t), T_m(t)$ – среднеобъемная плотность и температура газовой среды в помещении в момент времени t .

Будем рассматривать начальную стадию развития пожара в помещении в виде некоторой термодинамической системы, границы которой определяются внутренней поверхностью помещения, а системные параметры характеризуются соответствующими среднеобъемными показателями. При этом среднеобъемные показатели основных факторов пожара (температура, плотность и суммарная масса газа) в помещении являются функциями времени t . Обычно справедливо предположение, что объем помещения $V = const$. Тогда масса газа в помещении в произвольный момент времени t будет определяться

$$M(t) = \rho_m(t)V. \quad (3)$$

Пусть в процессе пожара расход массы газа, покидающего помещение через проемы и щели в момент времени t , определяется $G(t)$. При этом твердые и жидкие горючие материалы переходят в газообразное состояние. Будем полагать, что массовая скорость выгорания горючего материала в момент времени t определяется $\Psi(t)$. Тогда дифференциальное уравнение материального баланса пожара для начальной стадии в негерметичном помещении запишется в виде:

$$d\rho_m / dt = \Psi(t)/V - G(t)/V. \quad (4)$$

Можно получить аналогичные уравнения баланса массы для кислорода, продуктов горения и оптического количества дыма для начальной стадии пожара в помещении [3]. При этом указанные уравнения являются независимыми. Их решение и анализ может производиться независимо от уравнений (1), (2) и (3) при условии, что известны $\Psi(t)$ и $G(t)$. В связи с этим уравнения (1), (2) и (4) можно рассматривать в качестве базовой системной модели начальной стадии пожара для негерметичного помещения.

В практике пожарной безопасности чаще вместо среднеобъемной плотности газовой среды в помещении используется ее среднеобъемная температура. С учетом (1) уравнение энергии пожара в помещении на начальной его стадии для текущего времени t будет определяться в виде

$$\Psi(t)Q_p\eta - c_p T_m(t)G(t) - Q_w(t) = 0, \quad (5)$$

где Q_p – теплота сгорания горючего материала, Дж/кг; η – коэффициент полноты сгорания горючего материала ($0 < \eta \leq 1$); c_p – теплоемкость газовой среды в помещении, Дж/(кг К); $Q_w(t)$ – тепловой поток, поглощаемый ограждающими конструкциями и излучаемый через проемы и щели, Дж/с (Вт). Из выражения (5) следует, что

$$G(t) = [\Psi(t)Q_p\eta - Q_w(t)] / c_p T_m(t). \quad (6)$$

Подставляя (6) в (4), получим, что

$$d\rho_m / dt = \Psi(t)/V - [\Psi(t)Q_p\eta - Q_w(t)] / Vc_p T_m(t). \quad (7)$$

На основании (2) уравнение (7) можно представить в виде

$$dT_m / dt = [\Psi(t)Q_p\eta - Q_w(t)]T_m(t) / Vc_p T_0\rho_0 - \Psi(t)T_m^2(t) / VT_0\rho_0. \quad (8)$$

Уравнение (8) определяет базовую системную модель динамики среднеобъемной температуры газовой среды в помещении на начальной стадии пожара. Частными системными параметрами этой модели являются $\Psi(t), Q_p, \eta, Q_w(t), V, c_p, T_0$ и ρ_0 . При этом в общем случае массовая скорость выгорания горючего материала $\Psi(t)$ является функцией времени и зависит от множества факторов Ψ_n , которые в реальных условиях являются случайными. Тепловой поток $Q_w(t)$, поглощаемый ограждающими конструкциями и излучаемый через проемы и щели, также в реальных условиях пожара является не только функцией времени, но текущего значения среднеобъемной температуры T_m газовой среды в помещении и других Q_n случайных факторов.

Для системной классификации моделей пожара преобразуем (8) к более удобному виду. С этой целью представим (8) в виде

$$dT_m / dt = r\{T_m, \Psi_n, Q_n, t\} T_m(t) - b\{\Psi_n, t\} T_m^2(t). \quad (9)$$

В уравнении (9) $r\{T_m, \Psi_n, Q_n, t\} = [\Psi(\Psi_n, t) Q_p \eta - Q_w(T_m, Q_n, t)] / V c_p T_0 \rho_0$ и $b\{\Psi_n, t\} = \Psi(\Psi_n, t) / V T_0 \rho_0$ являются основными системными функциями, характеризующими классификационные признаки модели пожара. Важной системной особенностью модели (9) является ее соответствие классу автономных систем, описывающих динамику среднеобъемной температуры газовой среды в начальной стадии пожара, управляемую самой среднеобъемной температурой. При этом качественная оценка динамики среднеобъемной температуры пожара для различных моделей в рамках (9) может быть произведена посредством анализа фазовых портретов [7].

Вместо системной функции $r\{T_m, \Psi_n, Q_n, t\}$ рассмотрим частную функцию $r1\{\Psi_n, t\} = \Psi(\Psi_n, t) Q_p \eta / V c_p T_0 \rho_0$, характеризующую тепловую производительность очага пожара, а также частную функцию $r2\{T_m, Q_n, t\} = Q_w(T_m, Q_n, t) / V c_p T_0 \rho_0$, определяющую тепловую производительность естественной и искусственной систем отвода тепла из помещения. При этом связь указанных функций с исходной системной функцией будет определяться соотношением:

$$r\{T_m, \Psi_n, Q_n, t\} = r1\{\Psi_n, t\} - r2\{T_m, Q_n, t\}.$$

Системная функция $b\{\Psi_n, t\} = \Psi(\Psi_n, t) / V T_0 \rho_0$ описывает системные особенности горючего материала и характеризует его массовую производительность выгорания на единицу среднеобъемной температуры газовой среды при пожаре. На основе рассмотренных функций можно ввести некоторую интегральную системную функцию в виде ресурса

пожара в помещении, определяемую

$$R\{T_m, \Psi_n, Q_n, t\} = r\{T_m, \Psi_n, Q_n, t\} / b\{\Psi_n, t\} \text{ или}$$

$$R\{T_m, \Psi_n, Q_n, t\} = b\{\Psi_n, t\} Q_p \eta / c_p - Q_w(T_m, Q_n, t) / c_p \Psi(\Psi_n, t)$$

и использовать ее в качестве обобщенного признака системной классификации моделей пожара. Это означает, что *ресурс пожара* определяет величину той максимальной среднеобъемной температуры газовой среды в помещении, которая может быть достигнута при заданных значениях теплоты, скорости и коэффициента полноты сгорания горючего материала, а также теплоемкости газовой среды и теплового потока, поглощаемого ограждающими конструкциями и излучаемого через проемы и щели. Базируясь на ресурсе пожара можно предложить следующую системную классификацию моделей динамики среднеобъемной температуры газовой среды в помещении на начальной стадии пожара, представленную на рис. 1.



Рис. 1. Системная классификация детерминированных моделей динамики среднеобъемной температуры при пожаре в помещении

Предлагаемая системная классификация детерминированных моделей пожара базируется на предположении отсутствия случайных факторов при развитии пожара. Нулевой класс образуют модели с фиксированным ресурсом пожара. К первому классу относятся модели с ресурсом, зависящим от среднеобъемной температуры газовой среды. Второй класс объединяет модели, для которых ресурс зависит от среднеобъемной температуры газовой среды и текущего времени. Этот класс моделей в рамках детерминизма является наиболее общим и позволяет изучать динамику развития пожара в помещении на начальной его стадии, близкую к реальным условиям. Модели нулевого и первого класса характерны для случая фиксированной во времени удельной массовой производительности выгорания горючего материала в помещении. Данное предположение справедливо лишь для малых временных интервалов пожара. В общем случае произвольных интервалов наблюдения удельная массовая произ-

водительность выгорания горючего материала в помещении зависит от времени и существенно влияет на динамику пожара. На рис. 2 приведены фазовые портреты для различных временных зависимостей массовой производительности выгорания горючего материала в помещении.

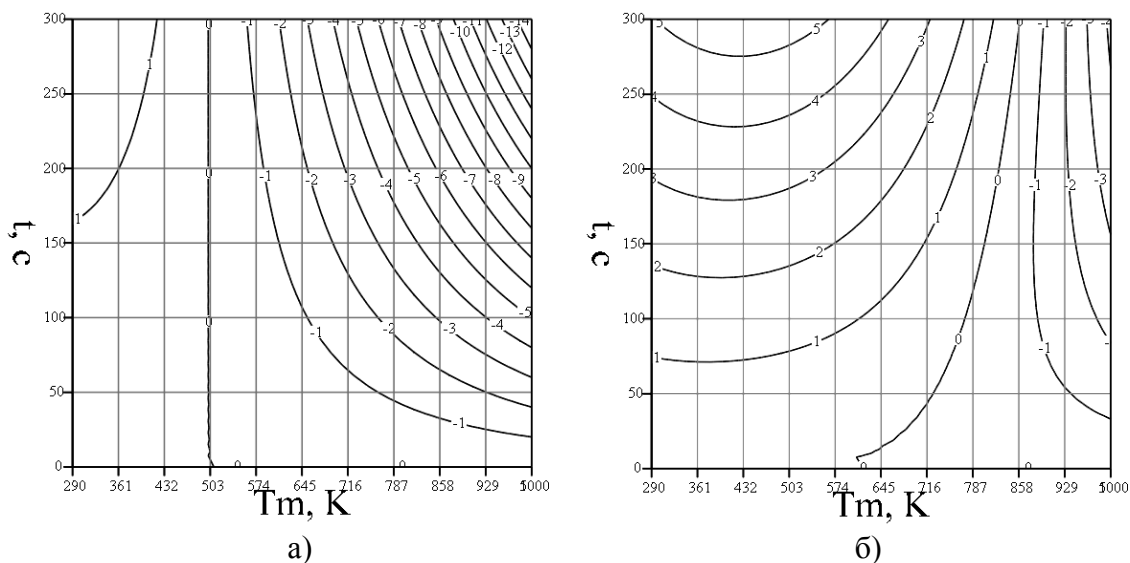


Рис. 2. Фазовые портреты пожара в помещении при различных временных зависимостях массовой производительности выгорания горючего материала при а) линейной и б) нелинейной

В соответствии с рассмотренной выше системной классификацией детерминированных моделей возможна аналогичная классификация стохастических моделей пожара. При этом могут учитываться случайные факторы, характерные для очага пожара, системы искусственного и естественного отвода тепла, а также выгорания горючего материала и других факторов. В качестве иллюстрации на рис.3 приведены фазовые портреты среднеобъемной температуры газовой среды в помещении при нелинейной временной зависимости массовой производительности выгорания горючего материала (рис. 2, б) в случае случайных факторов очага пожара и системы отвода тепла из помещения (рис. 3 а), а также выгорания горючего материала (рис. 3 б).

Из анализа представленных данных следует, что устойчивая динамика среднеобъемной температуры газовой среды в помещении для детерминированных моделей второго класса зависит от соотношения временных зависимостей составляющих ресурса пожара. При этом устойчивая динамика среднеобъемной температуры газовой среды имеет четкую траекторию во времени, определяемую нестационарным ресурсом пожара. Учет случайных факторов приводит к существенному «размытию» и искажению траекторий устойчивой динамики среднеобъемной температуры газовой среды в помещении на начальной стадии развития пожара. При этом в начальной стадии развития пожара

область устойчивого состояния среднеобъемной температуры оказывается достаточно широкой, которая в дальнейшем с течением времени сужается, приближаясь к ресурсу пожара, близкому к начальной температуре газовой среды в помещении.

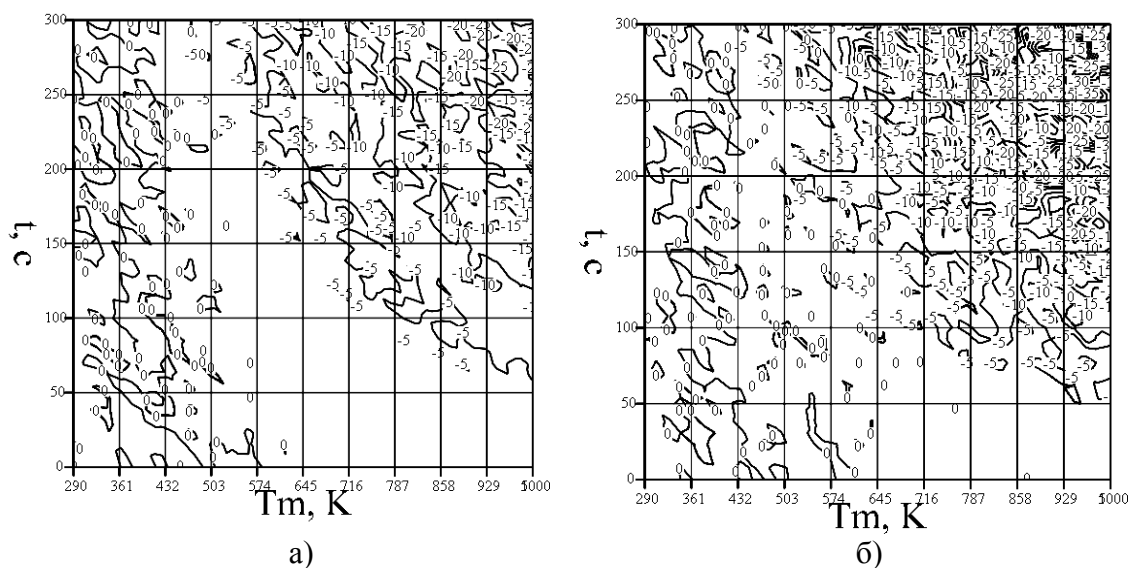


Рис. 3. Фазовые портреты при случайном ресурсе пожара

Использование различных классов детерминированных и стохастических моделей развития пожара позволяет более глубоко и предметно изучить динамические свойства пожара как объекта регулирования и оптимизировать управляющие воздействия по недопущению развития пожаров в негерметичных помещениях различного типа.

Выводы. Таким образом, предложена системная классификация моделей динамики среднеобъемной температуры газовой среды в помещении на начальной стадии пожара. Данная классификация базируется на интегральном системном признаке в виде ресурса пожара. При этом ресурс пожара может быть детерминированным или случайным. Могут учитываться случайные факторы, характерные для очага пожара, системы искусственного и естественного отвода тепла, а также выгорания горючего материала и других факторов. В качестве иллюстрации приведены фазовые портреты моделей динамики среднеобъемной температуры газовой среды в помещении при нелинейной временной зависимости выгорания горючего материала для случайных факторов очага пожара, системы отвода тепла из помещения и выгорания горючего материала. Предложенная системная классификация детерминированных и стохастических моделей развития пожара позволяет выполнить системные исследования динамических свойств пожара и оптимизировать управляющие воздействия с целью недопущения и прекращения развития пожаров в различных негерметичных помещениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моделирование пожаров и взрывов / Под ред. Н.Н. Брушлинского и А.Я. Корольченко. – М.: Пожнаука, 2000. – 482 с.
2. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. – М.: АГПС МЧС России, 2005. – 336 с.
3. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. – М.: АГПС МВД России, 2000. – 118 с.
4. Башкирцев М.П. Исследование температурного режима при горении жидкостей в помещении: Дисс. канд. техн. наук. – М.: МИСИ им. В.Куйбышева, 1967. – 226 с.
5. Моторыгин Ю.Д. Системный анализ моделей описания процессов возникновения и развития пожара: Дисс. докт. техн. наук. – СПб.: Санкт-Петербургский университет Государственной Противопожарной Службы МЧС России, 2011. – 247 с.
6. Моторыгин Ю.Д. Математическое моделирование процессов возникновения и развития пожаров: Монография / Под общей редакцией В.С. Артамонова. – СПб.: Санкт-Петербургский университет Государственной Противопожарной Службы МЧС России, 2011. – 248 с.
7. Пospelов Б.Б. Системный анализ моделей возникновения пожара в негерметичном помещении / Б.Б. Пospelов, Р.И. Шевченко, А.Н. Коленов // Проблемы пожарной безопасности, Харьков, НУГЗУ, 2013. – Вып. 34. – С. 140-149.

Б.Б. Пospelов, В.А. Андронов

Системна класифікація моделей динаміки осередненій за об'ємом температури пожежі в приміщенні

Запропоновано системна класифікація моделей динаміки осередненій за об'ємом температури газового середовища при пожежі в негерметичному приміщенні, що базується на детермінованому і стохастичному ресурсі пожежі.

Ключові слова: системна модель динаміки пожежі, осереднена за об'ємом температура газового середовища, негерметичне приміщення.

B.B. Pospelov, V.A. Andronov

Classification system dynamics models temperature-average fire in the space

Proposed classification system dynamics models mean bulk temperature of the gaseous medium in a fire in an unpressurized room based on deterministic and stochastic resource fire.

Keywords: system dynamics model of fire, average temperature of the gaseous medium, leaking room.