

УДК 504.3:614.8

СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПИСАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ВРЕДНЫХ ПРИМЕСЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

И.А. СОЛОВЬЕВ¹,
И.М. ПЕТРУШКО²,
Д.Ч. ДОЛИЧАНИН-ДЕКИЧ³,
Ч.Б. ДОЛИЧАНИН³

¹ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПО ЗЕМ-
ЛЕУСТРОЙСТВУ (ГУЗ),

² МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИ-
ТУТ (ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ),

³ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ Г. НОВИ
ПАЗАР (СЕРБИЯ)

В статье исследуется поведение концентрации вредных примесей в помещениях при пожарах. В работе сделаны предложения к созданию датчиков, работающих на основе обработки статистической энтропии. Также предложена теоретическая модель для дифференциальной энтропии, которая позволяет рассчитать время эвакуации людей из очага пожара при предварительному предсказанию начала пожара.

Ключевые слова: стохастическая модель, дифференциальная энтропия, концентрация вредных примесей, пожар.

При возникновении пожаров в помещениях развитие событий распространения во времени и пространстве вредных примесей от горения обоев, оборудования и других предметов происходит случайным образом: пожар может то затухать в силу разных причин, особенно это проявляется при тушении пожара, то разгораться с новой силой. Если вначале пожара концентрация примесей может оказываться почти безопасной, то начиная с некоторого момента, а также во время тушения пожара, резко изменяется и приводит к катастрофическому течению процесса. Существующие датчики фиксации пожара начинают срабатывать с некоторого момента, который не соответствует смены сценария изменения концентрации вредных примесей. Для изготовления новых датчиков пожарной безопасности необходимо включения в их работу показателей, определяющих предсказывание и соответствующее оповещение о начале резкого из-

STOCHASTIC MODEL OF DESCRIPTION OF CONCENTRATION OF HARMFUL IMPURITY OF FIERS

I.A. SOLOVIEV,
I.M. PETRUSHKO,
D.C. DOLICANIN-DEKIC,
C.B. DOLICANIN

The summary. In article the behavior of concentration of harmful impurity of fires is investigation. In work proposals to creation of the gauges working on the basis of processing of statistical entropy are made. Also the theoretical model for differential entropy which allows to time evacuations of people from a seat of fire at a preliminary prediction of the beginning of a fire is offered.

KEYWORDS: stochastic model, differential entropy, concentration, harmful impurity, fire.

менения состояния воздушной среды на основе стохастических диффузионных моделей. Поясним, почему так практически происходит. Обычно для описания концентрации использовались модели, которые базировались на детерминированном уравнении диффузии с детерминированными граничными условиями [1]. Однако детерминированная модель не позволяет давать предсказания смены сценария случайного явления, к которым относится и развитие пожара. Опишем вариант развития событий, начинающийся с процесса тления на боковой стенке помещения. Концентрация, например на правой границе, случайно колеблется около своего среднего значения. В центре помещения, в котором могут находиться люди, во время начала тления, значения не превышают предельно допустимой нормы. Применяемые на практике датчики для узнавания начала пожара работают только на содержание концентрации и не могут подать сигнал

тревоги до того, как наступит пожар. После начала бурного развития пожара эвакуация людей из центральной области помещения в силу разных причин, в частности возникшей паники, приводит к жертвам. Поэтому возникает необходимость конструирования таких датчиков противопожарной безопасности, которые могут оповещать о пожаре до его бурного начала. Кроме того, в инструкциях по безопасности и планах эвакуации людей должны основываться на расчетах времени распространения вредных примесей, возникающих при пожаре, и основываться не на детерминированных моделях, а на стохастических уравнениях.

В настоящей работе сделаны предложения к созданию датчиков, работающих на основе обработки статистической энтропии. Также предложена теоретическая модель для дифференциальной энтропии, которая позволяет рассчитать время эвакуации людей из очага пожара при предварительном предсказании начала пожара.

В работах [2–3] описывались статистические способы обработки данных измерения концентрации вредных примесей атмосфере, основанные на предложенных нами «методе падающих прямоугольников» и модифицированном методе наименьших квадратов. Однако теоретическое обоснование расчетов времени эвакуации в этих работах не были приведены. Приведенное в настоящей статье теоретическое рассмотрение упомянутой проблемы позволяет как описать начало смены режима тления, так и время достижения предельного значения вредных примесей до центра помещения. Предлагаемый подход основан на выведенных в работах [2–3] уравнениях как для современной обработки статистической информации для случайных диффузионных полей, так и для описания поведения этих полей с помощью расчета дифференциальной энтропии.

Приведем задачу для дифференциальной энтропии изменения случайного поля диффузии, основанную на уравнениях, выведенных в работе [3]. Дифференциальная энтропия имеет вид:

$$S(t, x) = - \int_{-\infty}^{+\infty} P(t, x, C) \ln P(t, x, C) dC. \quad (1)$$

Основное уравнение для этого варианта энтропии таково:

$$\begin{aligned} & \partial S / \partial t - D \partial^2 S / \partial x^2 = \\ & = \int_{-\infty}^{+\infty} \partial A / \partial C P(t, x, C) dC + \\ & + 0,5B \int_{-\infty}^{+\infty} (\ln P(t, x, C)) \partial^2 P / \partial C^2 dC - \\ & - D \int_{-\infty}^{+\infty} ((\partial P / \partial x)^2 / P) dC \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь $P(t, x, C)$ функция плотности распределения вероятностей, t — время, x — пространственная координата, C — случайная характеристика концентрации. В обозначенной работе представлены постановки задач при различном поведении энтропии на границе одномерного тела, при пренебрежимо малых влияниях коэффициентов диффузии переноса концентрации D , A сноса и коэффициента диффузии Марковского поля B .

Рассмотрим следующую задачу, когда пожар начинается на правой границе области $x = l$. Особое значение в представленной модели имеет смена сценария поведения энтропии на правой границе $x = l$, где зачинается пожар и протекает в разных стадиях.

$$\begin{aligned} \partial S / \partial t &= D \partial^2 S / \partial x^2; \quad S(t = 0, x) = 0; \\ S(t, x = 0) &= 0, \quad S(t, x = l) = \mu_1(t). \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь

$$\mu_1(t) = \begin{cases} 0, & t \in [0, t_1]; \\ (t - t_1) / (t_2 - t_1), & t \in [t_1, t_2]; \\ (t_3 - t) / (t_3 - t_2), & t \in [t_2, t_3]; \\ 0, & t \in (t_3, +\infty). \end{cases} \quad (4)$$

Интересно определить, как стадии развития пожара на правой границе скажутся во всей пространственной области, в частности в центральной точке области. Для этого мы получили решение задачи, которое имеет вид:

$$\begin{aligned} S(t, x) &= \mu_1(t)x/l + \\ & \begin{cases} 0; & t \in (0; t_1] \\ 2(-1)^{m+1} l^2 / ((t_2 - t_1) \pi^3 n^3) [1 - \exp(-(\pi n / l)^2 (t - t_1))]; & t \in (t_1; t_2); \\ 2(-1)^{m+1} l^2 / ((t_2 - t_1) \pi^3 n^3) [1 - \exp(-(\pi n / l)^2 (t_2 - t_1))]; & t = t_2; \\ 2(-1)^{m+1} l^2 / ((t_2 - t_1) \pi^3 n^3) [\exp(-(\pi n / l)^2 (t - t_2)) - \exp(-(\pi n / l)^2 (t - t_1))] + \\ + 2(-1)^{m+1} l^2 / ((t_3 - t_2) \pi^3 n^3) [1 - \exp(-(\pi n / l)^2 (t - t_2))]; & t \in (t_2; t_3); \\ 2(-1)^{m+1} l^2 / ((t_2 - t_1) \pi^3 n^3) [\exp(-(\pi n / l)^2 (t_3 - t_2)) - \exp(-(\pi n / l)^2 (t_3 - t_1))] + \\ + 2(-1)^{m+1} l^2 / ((t_3 - t_2) \pi^3 n^3) [1 - \exp(-(\pi n / l)^2 (t_3 - t_2))]; & t = t_3; \\ 2(-1)^{m+1} l^2 / ((t_2 - t_1) \pi^3 n^3) [\exp(-(\pi n / l)^2 (t - t_2)) - \exp(-(\pi n / l)^2 (t - t_1))] + \\ + 2(-1)^{m+1} l^2 / ((t_3 - t_2) \pi^3 n^3) [\exp(-(\pi n / l)^2 (t - t_3)) - \exp(-(\pi n / l)^2 (t - t_2))]; & t \in (t_3; +\infty) \end{cases} \end{aligned}$$

Предложенная модель предполагает использование результатов показаний датчиков концентрации вредных примесей на правой границе помещения.

Используя только первые члены разложения в ряд, можно приближенно рассчитать с заданной точностью результаты смены сценариев поведения концентрации вредных примесей в замкнутом помещении, в котором происходит горение вредных веществ. Отметим, что представленные в решении ряды быстро сходятся, поэтому для расчетов можно ограничиться лишь первыми тремя членами разложения.

На основе анализа изменения дифференциальной энтропии, можно предсказать не только начало, но и окончание смены сценария развития во времени и пространстве концентрации вредных примесей при пожаре. Отрезок времени от 0 до t_1 – отсутствие пожара. Первый скачок производной энтропии на правой границе (момент времени t_1), когда ни по запаху не ощущается начало тления, но дифференциальная энтропия реагирует на это начало. Естественно, что в центре области в этот момент не чувствуется пожар. В промежутке времени от t_1 до t_2 происходит вялое тление – это то время, которое необходимо для эвакуации людей из центральной части помещения. Данное время можно рассчитать с помощью решения физической задачи о течении процесса тления с учетом геометрических характеристик описываемого помещения. Представленное решение задачи для дифференциальной энтропии, наряду с детерминированным решением задачи диффузии, позволяет рассчитать то время, которое реально потребует для эвакуации людей после первого предсказания о возможном моменте бурного возникновения пожара в центре помещения. Также можно предсказать и дальнейшие бурные временные развития пожара после следующего скачка производной на правой границе (момент времени t_2). Следующий скачок $\partial S / \partial t$ в момент времени t_3 обозначает время окончания пожара. Промежуток времени от t_2 до t_3 , необходимый для тушения пожара, могут рассчитать специалисты по противопожарной безопасности.

В предложенном здесь рассмотрении предложен упрощенный подход к описываемому явлению. На самом деле, следует использовать не только уравнение диффузии и дифференциальной энтропии для нее, а также систему уравнений для энтропии тепло-массо переноса и аэродинамики. Кроме того, следовало бы использовать трехмерный вариант задачи. Еще нужно было бы учесть влияние коэффициентов сноса A и коэффициента диффузии B Марковского поля, однако, нам пока представляется, при краткосрочности пожара эти коэффициенты не будут иметь значительного вклада в описание процесса. Однако и на основе предложенного в настоящей работе описания, возможно сделать предложения к промышленному производству датчиков определения и анализа развития пожаров. Понятно, что проектирование и изготовление многофункциональных датчиков для бытовых целей окажется дорогостоящим, но для предприятий химической промышленности, атомных электростанций и других аналогичных предприятий подобные датчики представляются необходимыми как для предсказания начала катастрофического течения процессов, так и необходимой безопасности ликвидаторов пожара и эвакуации людей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1966. С. 724.
2. Соловьев И.А., Зубков П.В. Математическое моделирование стохастических явлений переноса теплоты и массы. Вестник СГГУ, 2011. Вып. 4, № 4, С. 22–27.
3. Садов А.В., Соловьев И.А., Зубков П.В. Обработка экспериментальных данных мониторинга вредных примесей в атмосфере с помощью модифицированного метода наименьших квадратов, 2012, С. 29–31.
4. Соловьев И.А., Доличанин Ч., Соловьев В.И., Джекич-Доличанин Д. Стохастический подход к исследованию устойчивости решений дифференциальных уравнений. М.: Вега-Инфо, 2013. 90 с.

Соловьев Игорь Алексеевич,

д.ф.-м.н., профессор кафедры высшей математики и физики Государственного университета по землеустройству

☎ 105064, г. Москва, ул. Казакова, д. 15,
тел.: +7 (499) 261-73-39

Петрушко Игорь Мелетиевич,

д.ф.-м.н., профессор кафедры высшей математики Московского энергетического института (Технического университета)

☎ 111250, г. Москва ул. Красноказарменная, д. 14,
тел.: +7 (495) 362-78-74

Диана Джекич-Доличанин,

доцент Государственного университета г. Нови Пазар

☎ 36300, Респ. Сербия, г. Нови-Пазар,
тел.: +7 (00381) 20-317-752

Чемал Б. Доличанин,

профессор и декан департамента математических наук, ректор Государственного университета г. Нови Пазар

☎ 36300, Респ. Сербия, г. Нови-Пазар,
тел.: +7 (00381) 20-317-752