DOI:10.12845/bitp.32.4.2013.4

д.т.н., доц. **В.В. КОВАЛЫШИН** / dr hab. **V.V. KOVALYSHYN**[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 09.06.2013;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 06.11.2013;
Opublikowany/Published/Опубликована: 20.12.2013;

ПОДХОД К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ РАЗВИТИЯ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ В КАНАЛАХ РАЗЛИЧНЫМИ СРЕДСТВАМИ*

The Approach to Mathematical Modelling of Fire Development and Its Extinguishing in Tunnels by Different Means

Wstęp do matematycznego modelowania rozwoju i gaszenia pożarów w tunelach różnymi metodami

Аннотация

Цель: На основе раскрытия закономерностей процессов развития и тушения пожаров на объектах значительной протяженности и полученных в ходе исследования теоретических, экспериментальных исследований и обобщенного подхода к применению средств тушения пожаров в протяжённых каналах разработать универсальную математическую модель, реализация которой на ЭВМ позволяет в наглядном графическом виде дать прогноз эффективности применения одного из пяти возможных средств пожаротушения: рециркуляциии пожарных газов, порошка, тонкораспыленной воды, парогазовой смеси или пены на основе продуктов сгорания.

Методы: В работе использован комплексный метод исследований, который включает анализ и обобщение научно-технических достижений в области вентиляционных и тепловых расчетов во время возникновения пожара в туннеле, математическое моделирование процессов тепломассопереноса и аэрологии с использованием основных законов термодинамики, имитационное моделирование процессов распределения газовых потоков и температуры на изолированном участке кабельного туннеля во время рециркуляции продуктов сгорания, использование методов математической статистики для проверки достоверности полученных результатов.

Результаты: разработана универсальная математическая модель алгоритм и программа расчёта газо-термодинамических параметров горения и тушения пожара в изолированном объёме канала с применения одного из пяти возможных средств пожаротушения или в их комбинации. Математическое моделирование динамики во времени кислорода в очаге пожара и за его пределами выполнено численным методом с использованием дифференциальных уравнений нестационарного переноса массы, которые решались численным методом по комбинированной схеме (явной и неявной с одинаковым удельным весом) и сведены к системе алгебраических уравнений. Разработаны алгоритм, и программа расчёта на ЭВМ в Excel динамики во времени концентрации кислорода в очаге пожара и перед ним, динамики температуры в очаге и в окружающем массиве.

Выводы: Обобщены результаты математического моделирования, адекватные многочисленным экспериментальным данным по развитию и тушению пожаров различными средствами в каналах большой протяжённости, и создана универсальная математическая модель, дающая возможность в случае применения того или иного средства пожаротушения производить расчёты параметров интенсивности и времени воздействия на очаг для его тушения, а также определять количество расходуемого огнегасящего материала. Полученные результаты расчёта позволяют заранее оценить то или иное средство пожаротушения и наглядно убедиться в его преимуществе или недостатках. Эти результаты можно использовать при составлении планов ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: канал, пожар, тушение, порошок, диспергированная вода, пена, рециркуляция, парогазовая смесь, математическая модель, инертные газы;
Вид статьи: оригинальная научная работа

[1] Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности; Адрес: Украина, Львов, ул. Клепаривска, 35; электронная почта: kovalyshyn.v@gmail.com/Lviv State University of Life Safety; address: Ukraine, Lvov, Kleparivska, 35 / Lwowski Państwowy Uniwersytet Bezpieczeństwa Życia, Lwów, Ukraina;

* Редакционный совет наградил эту статью / The article was recognised by the Editorial Commitee / Artykuł został wyróżniony przez Komitet Redakcyjny

DOI:10.12845/bitp.32.4.2013.4

Abstract

Objective: The objective of the research was to develop an universal mathematical model which could be displayed in a computer programme as a graphic forecast of the effectiveness of one of the five possible fire extinguishing methods, such as fire gas recirculation, the usage of powder, water mist, vapor-gas mixture or foam. Creation of the model was possible on the basis of the process of development and fighting fires in constructions of considerable length. Obtained by the general results of theoretical and experimental studies. The research was also based on the generalized approach to the use of firefighting equipment in elongated channels.

Methods: The methods used in the analysis comprised a complex method of research which involved an analysis and synthesis of scientific and technological achievements in the field of ventilation and thermal calculations during a fire in the tunnel; the mathematical modelling of heat and mass transfer in accordance with basic laws of thermodynamics; simulation modelling of the gas flow and temperature distribution in the isolated area of a cable tunnel during recirculation of combustion products. For testing the reliability of the results we also used the statistical techniques.

Results: As the result of the work we obtained the universal mathematical model, the algorithm and the program for calculating thermodynamic parameters of the process of gas burning and fire suppression in the isolated channel volume with the use of one out of five possible firefighting methods or their combination. Mathematical modelling of the temporal concentration of oxygen in the outbreak or beyond the fire was performed with the use of differential equations of unsteady mass transfer, which were solved numerically by the combined scheme and reduced to a set of algebraic equations. The algorithm and the programme for calculating in Excel the temporal concentration of oxygen and the dynamics of the temperature in the source of the fire and in the ambient array were developed.

Conclusions: The authors recapped the results of the mathematical modelling which turned out to be equivalent to numerous experimental data on the development and extinguishing of fires in elongated channels. As a result the universal mathematical model for calculations of intensity and exposure time parameters as well as for determining the amount of fire-extinguishing material was created. The obtained results allow to evaluate the extinguishing agent and to verify visually its advantages or disadvantages. These results can be used in the preparation of emergency response plans and other documents.

Keywords: channel, fire, fire-extinguishing, powder, dispersed water, foam, recycling, water-vapor mixture, mathematical model, inert gases;

Type of article: original scientific article

Abstrakt

Cel: Celem pracy było opracowanie uniwersalnego modelu matematycznego, który pozwala wygenerować na komputerze graficzną prognozę skutecznego zastosowania jednej z pięciu możliwych metod gaśniczych: recyrkulacji gazów pożarowych, użycia proszku, mgły wodnej, mieszaniny parowo-gazowej lub piany na bazie produktów spalania. Stworzenie modelu było możliwe dzięki prawidłowościom odkrytym w procesach rozwoju i gaszenia pożarów w obiektach o dużej długości. Prawidłowości wykazano w drodze analizy teoretycznych i eksperymentalnych badań oraz uogólnionego podejścia do stosowania środków gaszenia pożarów w podłużnych kanałach.

Metody: W pracy została wykorzystana kompleksowa metoda badawcza, uwzględniająca analizę i syntezę naukowo-technicznych osiągnięć w zakresie obliczeń wentylacji oraz obliczeń termicznych w czasie wybuchu pożaru w tunelu; matematyczne modelowanie ruchów ciepłych mas powietrza i aerologii z użyciem głównych zasad termodynamiki; symulacyjne modelowanie procesów rozprzestrzeniania strumieni gazowych i temperatury w izolowanej części tunelu kablowego w czasie recyrkulacji produktów spalania; wykorzystanie metod matematyki statystycznej w celu sprawdzenia miarodajności otrzymanych wyników.

Wyniki: Opracowany został uniwersalny model matematyczny, algorytm oraz program obliczeń gazowych termodynamicznych parametrów spalania i gaszenia pożaru w odizolowanej części kanału z użyciem jednej z pięciu możliwych metod gaśniczych lub ich kombinacji. Model matematyczny czasowej dynamiki zawartości tlenu w ognisku pożaru i poza jego granicami został opracowany z użyciem metody numerycznej oraz równań różniczkowych opisujących niestacjonarny transport mas, które obliczane były metodą liczbową według układu kombinacyjnego (jawnego i niejawnego z jednakowym ciężarem właściwym) i zredukowane do systemu równań algebraicznych. Opracowany został algorytm i program obliczeń w programie komputerowym Excel zmian w czasie koncentracji tlenu w źródle pożaru i poza nim, dynamiki temperatury w źródle i w otaczających go masach.

Wnioski: Podsumowano wyniki opracowania modelu matematycznego, odpowiadające wielu danym eksperymentalnym na temat rozwoju i gaszenia pożarów różnymi metodami w podłużnych kanałach. Opracowany został uniwersalny model matematyczny dający możliwość w przypadku zastosowania tego lub innego środka gaśniczego wyliczyć parametry intensywności i czasu jego oddziaływania podczas gaszenia źródła pożaru. Model pozwala również określić niezbędną ilość materiału gaśniczego. Otrzymane wyniki mogą pomóc w ocenie wybranego środka gaśniczego przy jednoczesnej wizualnej weryfikacji jego zalet i wad. Wyniki te można wykorzystywać przy tworzeniu planów usuwania sytuacji nadzwyczajnych.

Słowa kluczowe: kanał, pożar, gaszenie, proszek, mgła wodna, piana, recyrkulacja, parowo-gazowa mieszanina, model matematyczny, gazy szlachetne;

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

1. Постановка проблемы

Обобщение результатов математического моделирования и экспериментальных данных по развитию и тушению пожаров различными средствами позволяет создать универсальную математическую модель. Такая модель даёт возможность в случае применения того или иного средства пожаротушения производить расчёты параметров интенсивности и времени эффективного воздействия на очаг, а также определять общее количество расходуемого огнегасящего состава.

2. Анализ исследований и публикаций

Насколько известно [1, 2, 5, 7, 8], при разработке математических моделей тушения пожаров рассматривают одно какое-нибудь средство воздействия на очаг, к тому же, зачастую, без жёсткой увязки влияния концентрации кислорода на температуру. Некоторые предложенные математические модели либо основаны на рассмотрении теплового баланса в очаге пожара и поэтому являются статическими методами [1], либо базируются на рассмотрении только динамики температуры в очаге пожара [3, 4].

Поэтому создание достаточно точной математической модели тушения пожаров различными средствами позволит научно обоснованно прогнозировать, как выбор средств тушения каждого конкретного пожара, так и производить расчёты необходимой интенсивности и длительности тушения пожара.

3. Изложение основного материала

Все задачи расчёта тепловых и газодинамических параметров на каком-либо объекте при пожаре можно разбить на два класса: задачи возникновения и развития пожара без применения средств тушения и с их применением.

К первому классу относятся задачи естественного развития и затухания пожара при первоначальном задании конкретных исходных данных.

Ко второму классу относятся задачи оперативного прогноза и реагирования на случившуюся ситуацию путём применения того или иного средства пожаротушения. При этом в первую очередь необходимо знать место и время возникновения пожара, а также задать время с момента начала и конца тушения пожара для определения ожидаемой эффективности воздействия на зону горения. При этом объектом исследований принимаются кабельные туннели, горные выработки, штольни и отсеки.

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований на таких объектах в натурных и лабораторных условиях разработан единый подход к математическому моделированию развития и тушения пожаров различными средствами, к которым относятся:

a) рециркуляция пожарных газов в изолированном объёме;
b) инертизация атмосферы изолированного отсека канала путём подачи в него парогазовой смеси или инертного газа;
c) порошковые средства пожаротушения;
d) подача диспергированной воды на очаг пожара;
e) подача пены как на основе пожарных газов, так и воздушно-механической пены с последующей рециркуляцией пожарных газов в замкнутом контуре.

Для описания динамики во времени процессов горения и тушения пожаров в каналах различной протяжённости использована система уравнений, приведенная в работе [1], для потока газов в одном направлении

$$\begin{aligned}\rho c_p\left(\frac{\partial T}{\partial \tau}+u\frac{\partial T}{\partial x}\right)&=\frac{\partial}{\partial}\left(\lambda_y\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda_z\frac{\partial T}{\partial z}\right)+q;\\ \rho\left(\frac{\partial \zeta}{\partial \tau}+u\frac{\partial \zeta}{\partial x}\right)&=\frac{\partial}{\partial y}\left(\rho D_y\frac{\partial \zeta}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\rho D_z\frac{\partial \zeta}{\partial z}\right)-m_k,\end{aligned} \quad (1)$$

где ρ – плотность смеси газов, кг/м^3; c_p – удельная теплоёмкость газов, кДж/(кг·К); T – температура, К; u – скорость потока газов, направленная вдоль канала, м/с; λ_y и λ_z – коэффициенты теплопроводности по ширине и высоте канала соответственно, кВт/(К·м); q – интенсивность внутренних источников тепла при горении, кВт/м^3; ς - долевая концентрация какого-либо из газов (кислорода); m_k – интенсивность внутренних стоков массы при поглощении стенками канала и при химических реакциях, кг/(с·м^3); D_y и D_z – коэффициенты турбулентной диффузии газов по ширине и по высоте канала, м^2/с; x, y и z – продольная, поперечная и вертикальная координаты, м.

Для зонной модели (очаг пожара и остальная часть изолируемого канала) система уравнений (1) представлена в конечных центральных разностях с заданием на стенках канала стоков тепла и массы.

Математическое моделирование динамики во времени кислорода в очаге пожара и за его пределами производится численным методом с использованием второго дифференциального уравнения системы (1) нестационарного переноса массы (кислорода), которое решалось численным методом по комбинированной схеме (явной и неявной с одинаковым удельным весом) и сведено к системе алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned}\overline{C}^{n+1}&=\frac{[1-(Cu+AB\overline{q}^n)/2]\overline{C}^n+Cu\overline{Z}^n}{1+(Cu+AB\overline{q}^n)/2};\\ \overline{Z}^{n+1}&=(1-\overline{V}Cu)\overline{Z}^n+m(1-\overline{Q}_1)\overline{V}Cu(\overline{C}^n-1)+\overline{V}Cu[1+m(\overline{C}_1-1)]\end{aligned} \quad (2)$$

где $\overline{C}=C/C_0$ – относительная концентрация кислорода в зоне горения; $\overline{Z}=Z/C_0$ – относительная концентрация кислорода вне зоны горения в изолированном объёме; $\overline{C}_1=C_1/C_0$ – концентрация кислорода на входе в изолированный объём при тушении пожара парогазовой смесью или инертными газами; $\overline{V}=l_m/L$ – относительный объём зоны горения; $\overline{Q}_1=Q_1/Q$ – относительная величина подсоса воздуха при рециркуляции пожарных газов (при $Q_1=Q$ рециркуляция отсутствует, а при $Q_1=0$ контур рециркуляции полностью замкнут); n – номер предыдущего временного слоя при расчётах; $n+1$ – номер текущего временного слоя для определения искомых параметров; $\overline{q}^n$ – относительная интенсивность тепловыделения в очаге пожара на временном слое n; u – скорость движения пожарных газов, м/с; l_m – длина зоны горения, м; L – длина изолированного отсека канала, м; Δτ – шаг по времени, с.

Система уравнений (2) позволяет моделировать динамику во времени концентрации кислорода в изо-

DOI:10.12845/bitp.32.4.2013.4

лированном канале до очага и в очаге, как без рециркуляции пожарных газов, так и при их рециркуляции, а также при подаче инертных газов на заданном интервале времени. При этом в начальное время концентрация кислорода перед очагом пожара принимается равной $\overline{Z}^0 = Z/C_0 = 1$.

Математическое моделирование динамики во времени температуры в зоне горения и в окружающем канал массиве (первое уравнение системы (1) при скорости в канале не равной нулю и в массиве при скорости, равной нулю) выполняется также численным методом по комбинированной схеме в виде системы алгебраических уравнений:

$$\overline{T}^{n+1} = \frac{\{1-Cu/2)\overline{T}^n + Cu[B\overline{C}^n\overline{q}^n + St(\overline{\theta}^n - \overline{T}^n/2) - \overline{r}U\overline{\chi}^n]/(1+U\overline{\chi}^n)}{1+Cu/2+CuSt/(1+U\overline{\chi}^n)/2};$$
$$\overline{\theta}^{n+1} = \frac{(1-Fo/2)\overline{\theta}^n + Fo\overline{T}^n/2}{1+Fo/2}, \quad (3)$$

где доля испарившейся влаги при подаче диспергированной воды или пены в двухфазном потоке определяется на каждом временном слое по формуле

$$\overline{\chi}^{n+1} = m\{1 - \frac{[1-Cu(1+\overline{\gamma}\overline{T}^n)/2](1-\overline{\chi}^n)+Cu}{1+Cu(1+\overline{\gamma}\overline{T}^n)/2}\} \quad (4)$$

Здесь $\overline{T} = T/T_0 - 1$ – безразмерная температура пожарных газов; $\overline{\theta} = \theta/T_0 - 1$ – безразмерная температура окружающего массива; $\overline{\gamma} = \gamma l_m / d_k$ – относительная скорость испарения влаги; γ – эмпирическая константа скорости испарения влаги, принимаемая равной 0,001; d_k – диаметр капель жидкости, мм; m – множитель, равный «1» при применении какого-либо средства пожаротушения или равный «0» без его применения.

Множитель m как раз и определяет начало и конец применения какого-либо средства пожаротушения и принимается равным

$$m = 0{,}25\left(1+\frac{\tau-\tau_1}{|\tau-\tau_1|}\right)\left(1+\frac{\tau_2-\tau}{|\tau_2-\tau|}\right) \quad (5)$$

где τ_1 и τ_2 – время соответственно начала и конца тушения пожара, мин. Использование модуля числа в формуле (5) позволяет без всяких условных переходов включать в действие то или иное средство пожаротушения.

В систему уравнений (2) – (4) введены следующие критерии подобия:

$Cu = u\Delta\tau / l_m$ – число Куранта, принимаемое равным 0,5 для устойчивости счёта;

Fo = Cu/Pe = $a\Delta\tau/\Delta r^2$ – число Фурье нагрева и остывания окружающего массива;

$St = \dfrac{\alpha\Pi l_m}{2\rho c_г Q}$ – критерий Стантона теплообмена потока воздуха с окружающим массивом;

$A = \dfrac{\rho c_г T_0 C_0}{\rho_k H_c}$ – критерий теплоёмкости воздуха;

$B = \dfrac{\chi\upsilon_0 F H_c}{\rho c_г T_0 Q}$ – критерий тепловой энергии пожара;

$\overline{r} = \dfrac{r + c_n T_0}{c_г T_0}$ – удельная теплота парообразования;

$U = \dfrac{c_n G_2}{c_г \rho Q}$ – удельный расход жидкости,

где G_2 – массовый расход жидкости при тушении пожара диспергированной водой или пеной, кг/с; Q – расход воздуха при тушении пожара, м³/с.

Параметры, входящие в критерии подобия, принимаются для всех случаев за константы. К ним относятся: ρ = 1,2 кг/м³ – плотность воздуха; $\rho_к$ = 1,32 кг/м³ – плотность кислорода; $\rho_в$ = 1000 кг/м³ – плотность воды; $c_г$ = 1,04 кДж/(кг·К) – удельная теплоёмкость воздуха; c_n = 1,93 кДж/(кг·К) – удельная теплоёмкость пара; C_0 = 0,21– долевая концентрация кислорода в наружном воздухе; T_0 = 293 К – температура при нормальных условиях; r = 2500 кДж/кг – теплота парообразования; H_c = 13000 кДж/кг – теплота сгорания твёрдого топлива; $a = 5\cdot10^{-7}$ м²/с – коэффициент температуропроводности массива из бетона и кирпича.

Входящая в уравнения (2) и (3) функция интенсивности тепловыделения в зоне горения принята равной [4]

$$\overline{q} = (\tau/\tau_m)^{3,6}\exp(-3{,}6\tau/\tau_m) \quad (6)$$

Здесь τ_m – время максимума тепловыделения в очаге пожара (мин), определяемое по формуле [6]

$$\tau_m = \frac{15 l_m}{u+4} \quad (7)$$

Входящая в критерий B подобия тепловой энергии пожара площадь горения F является также переменной величиной при тушении пожара порошком, диспергированной водой или пеной. В общем случае площадь горения находится по формуле

$$F = b l_m\left[1 - 0{,}5\varepsilon(1+\frac{\tau-\tau_2}{|\tau-\tau_2|})\right]\exp[-m\delta G(\tau-\tau_1)/(q b l_m)] \quad (8)$$

где b – ширина зоны горящей поверхности, м; G – расход порошка либо жидкости при тушении пожара, кг/с; δ – эмпирическая константа; ε – доля остатка несгоревшего материала, определяемая по формуле

$$\varepsilon = 1 - \exp[-\delta G(\tau_2-\tau_1)/(q b l_m)] \quad (9)$$

Использование модуля числа в формуле (8) позволяет также без условных переходов непосредственно производить расчёты необходимых параметров для дальнейшего моделирования термо-газодинамических процессов при пожарах.

Обработка экспериментальных данных в натурных условиях [6, 9] и лабораторных данных в камере позволила установить зависимость числа Стантона от скорости, равного

$$St = \frac{14(u+0{,}1)}{(u+0{,}5)} \qquad (9)$$

Критерий теплоёмкости воздуха, как установлено, может быть принят во всех случаях за константу и равен A = 0,021. По данным [3] при свободной вентиляции очага пожара, отношение скорости горения к скорости поступающего к очагу потока воздуха является постоянной величиной, что позволяет критерий тепловой энергии пожара определять с достаточной степени точности по формуле

$$B = \frac{0{,}016\,\chi F H_c}{c_c S} \qquad (10)$$

Кроме того, установлено, что глубина прогрева окружающего массива r(м) зависит от времени свободного горения очага и равна

$$\Delta r = 0{,}0035\,\tau_m \qquad (11)$$

Исходя из единого подхода к процессам развития и тушения пожара различными средствами разработаны универсальная математическая модель, алгоритм и программа расчёта термо-газодинамических параметров по формулам (1) – (11) на ЭВМ в Excell. Адекватность разработанной математической модели подтверждена многочисленными экспериментальными данными в натурных условиях в штольне [2, 5, 6, 9] площадью поперечного сечения 4 м^2 и длиною отсека с конвейерной лентой и деревянной крепью от 30 м до 160 м. В лабораторных условиях горение и тушение пожара всеми пятью указанными средствами проводилось в камере с приведенным диаметром 0,5 м и длиною 2 м. Здесь кабельная продукция укладывалась на боковые полки, как и в кабельном туннеле с геометрическим подобием 1:4 [10].

В результате исследований для прогноза эффективности тушения пожара можно с помощью наглядной таблицы выбрать конкретное средство тушения, указать в Excell начало и конец тушения, а также указать расход пены, порошка, диспергированной воды или инертного газа, после чего, проставляя в графе против соответствующего средства пожаротушения «1», тут же получить в графическом наглядном виде результаты расчёта, по которым можно судить об эффективности тушения пожара [11].

Таб. 1.

Пример заполнения таблицы для выбора средства пожаротушения

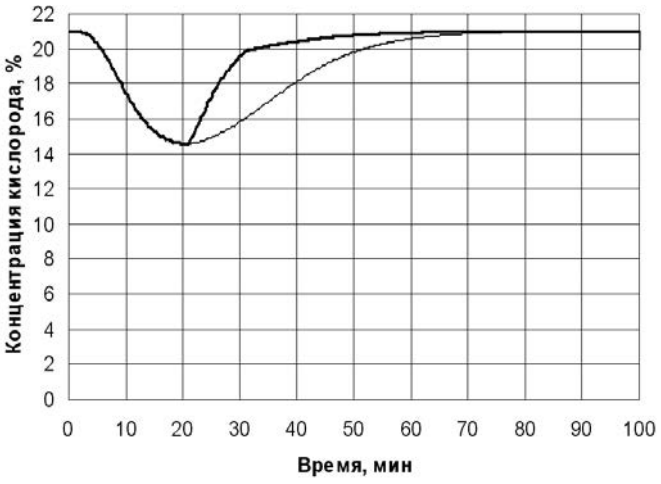
Table 1.

An example of filling in the table on the choice of fire-extinguishing means

Выбор средства пожаротушения:	
1) Рециркуляция пожарных газов (да - 1, нет - 0):	**0**
подсосы воздуха при рециркуляции, Q1/Q = =	0,10
2) Подача пара или инертного газа (да - 1, нет - 0):	**0**
концентрация кислорода в парогазовой смеси, C1% =	5,0
3) Подача порошка (да -1, нет - 0):	**0**
расход порошка, Gпо (кг/с) =	0,10
4) Подача диспергированной воды (да - 1, нет - 0):	**1**
расход воды, Gв (кг/с) =	1,70
5) Подача пены (да - 1; нет - 0):	**0**
кратность пены перед очагом пожара, К =	500

Ниже (рис. 1) в наглядном графическом виде приведен один из примеров тушения пожара диспергированной водой.

При расчётах за основу приняты данные [8] развития пожара в кабельном туннеле при длине изолированного отсека L = 40 м, площади поперечного сечения отсека S = 2·2 = 4 м^2, максимальной температуре пожарных газов T_m = 700 ^{0}C; скорость увеличения температуры при пожаре ΔT = 40 ^{0}C/мин и пожарной нагрузке, приведенной к стандартной древесине, q = 35 кг/м^2. Тушение пожара производилось диспергированной водой в течение 10 минут. Для этого при моделировании на ЭВМ в соответствующей графе таблицы 1 проставлена «1» вместо «0» и предварительно принят расход воды 1,7 кг/с.



DOI:10.12845/bitp.32.4.2013.4

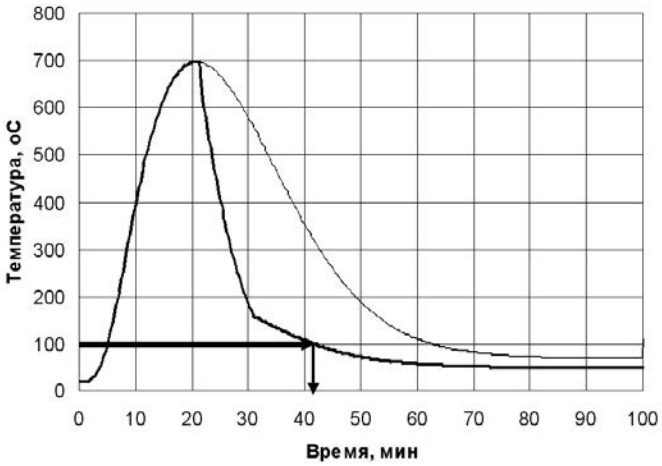


Рис. 1. Динамика во времени концентрации кислорода и температуры в изолированном отсеке туннеля при развитии пожара без применения средств пожаротушения (тонкие линии) и при подаче диспергированной воды в течение 10 минут

Fig. 1. Dynamic time variation of the oxygen concentration and temperature in the insulated tunnel compartment without fire extinguishing equipment (thin lines) and after using the water for 10 minutes

Как видно по данным расчёта (рис. 1), подача диспергированной воды в течение всего 10 минут приводит к быстрому снижению температуры в очаге пожара и уже через 9 минут она достигает 200^0C, а через 20 минут температура уменьшается до 100^0C, а концентрация кислорода почти полностью восстанавливается.

4. Выводы

Обобщены результаты математического моделирования, адекватные многочисленным экспериментальным данным по развитию и тушению пожаров различными средствами в каналах большой протяжённости, и создана универсальная математическая модель, дающая возможность в случае применения того или иного средства пожаротушения производить расчёты параметров интенсивности и времени воздействия на очаг для его тушения, а также определять общее количество расходуемого огнегасящего материала.

Разработаны алгоритм и программа расчёта на ЭВМ в Excell динамики во времени концентрации кислорода в очаге пожара и перед ним, динамики температуры в очаге и в окружающем массиве.

В результате разработанных алгоритма и реализации программы расчёта газо-термодинамических параметров горения и тушения пожара в изолированном объёме канала представляется возможность в наглядном графическом виде дать прогноз на ЭВМ эффективности применения того или иного средства пожаротушения и определить, как длительность его применения, так и общее количество расходуемого материала.

Полученные результаты расчёта позволяют заранее оценить эффективность того или иного средства пожаротушения и наглядно убедиться в его преимуществах или недостатках.

Список литературы

1. Puzach S.V. Metody raschiota teplomassoobmena pri pozhare v pomeshchenii i ikh primenenie pri reshenii prakticheskikh zadach pozharovzryvobezopasnosti / S.V. Puzach. – M.: AGPS MChS Rossii, 2005. – 336 s.
2. Kovalyshin V. V., Zmina temperaturi u vidsikakh kabelnikh tuneliv u khodi zastosuvannia retcirkuliatciї produktiv gorinnia dlia gasinnia pozhezh / V. V. Kovalishin, S. Iu Dmitrovskii // Pozhezhna bezpeka : zb. nauk. pratc. – Lviv : LDU BZHD, 2007. – № 10. – S. 7 – 11.
3. Draizdeil D. Vvedenie v dinamiku pozharov / D. Draizdeil. – M. : Stroiizdat, 1990. – 424 s.
4. Termogazodinamika pozharov v pomeshcheniiakh / V. M. Astapenko, Iu. A. Koshmarov, I. S. Molchadskii, A. N. Shevliakov. – M. : Stroiizdat, 1988. – 448 s.
5. Dmitrovskii S. Iu. Rozrakhunok vitrati gazopovitrianikh sumishi v zamknutomu konturi / S. Iu. Dmitrovskii, V. V. Kovalishin, R. Ia. Lozinskii // Zb. nauk. pratc. – Lviv:LIPB, 2005. – #7. – S. 135-140.
6. Osipov S. N. Ventiliatciia shakht pri podzemnykh pozharakh/ S. N. Osipov, V. M. Zhadan. – M. : Nedra, 1972. – 150 s.
7. Io Sudzuki. Issledovanie goreniia elektricheskogo kabelia vnutri ventiliatcionnogo kanala / Sudzuki Io, Khane Iosinari // Kasai. – 1978.– S. 22-30.
8. Puchkov S. I. Sposob tusheniia pozhara v kabelnom tunnele / S. I. Puchkov, A. A. Lebedev // Sredstva protivopozharnoi zashchity : sb. nauch. tr. – M. : VNIIPO, 1993. – S. 49- 61.
9. Iushchenko Iu. N. Avtomaticheskie ustanovki pozharotusheniia i lokalizatcii dlia gornykh vyrabotok shakht / Iu. N. Iushchenko, K. I. Lapin // Gornospasatelnoe delo : sb. nauch. tr. – Donetck : NIIGD, 2002. – S. 32-37.
10. Kovalishin V.V. Modeliuvannia kharakteru vplivu vognegasnogo poroshku na oseredok pozhezhi spilno z retcirkuliatciєiu produktiv gorinnia / V. V. Kovalishin // Problemy pozharnoi bezopasnosti. – Kh. : NUGZU, 2011. – Vyp. 30. – S. 113-122.
11. Kovalishin V.V., Metodika rozrakhunku parametriv gasinnia pozhezhi riznimi zasobami pozhezhogasinnia u protiazhnikh kanalakh (kabelnikh tuneliakh) / V.V. Kovalishin, I. N. Zinchenko // Metodika DITB Ukraïni. – Kiïv : Ukr-N-DITCZ, 2012. –25s.

Ковалышин В.В. – В 1978 г. закончил Львовское пожарно-техническое училище, в 1983 г. Высшую пожарно-техническую школу МВД СССР, г. Москва. Работал на различных должностях: преподаватель, начальник цикла, начальник кафедры. С 2001 по 2011 гг. проректор с научной работы Львовского института пожарной безопасности, Львовского государственного университета безопасности жизнедеятельности. С 2012 г. начальник Украинского научно-исследовательского института гражданской защиты, г. Киев, профессор кафедры пожарного надзора университета, полковник службы гражданской защиты. С 2013 года доктор технических наук по специальности пожарная безопасность. Ученое звание – доцент, старший научный сотрудник. Член редколлегии журналов пожарная безопасность УкрНДИЦЗ, (г. Киев), ЛГУ БЖД, (г. Львов). Более 150 научных трудов и патентов на изобретения в отрасли пожарной и техногенной безопасности.