МИНИСТЕРСТВО ВНУТРЕННИХ ДЕЛ УКРАИНЫ

АКАДЕМИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УКРАИНЫ

ПРОБЛЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Сборник научных трудов

(Выпуск 12)

Зарегистрирован Государственным комитетом информационной политики
29 августа 2002 года Серия КВ № 6467

Утверждено к печати ученым советом
АПБ Украины
(протокол № 6 от 23.12.2002 г.)

Харьков
"Фолио"2002

УДК 614.7+614.8+621.3+621.93+669.71.5+669.791.5

Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. АПБ Украины, Вып. 12 – Харьков: Фолио, 2002. – 208 с.

Сборник основан в 1997 году. Включен в перечень изданий ВАК Украины (приказ № 1-03/8 от 11.10.2000 г.).

В сборнике представлены результаты научных исследований в области пожарной безопасности. Рассматриваются организационно-технические аспекты совершенствования пожарной безопасности, отражающие современные методы повышения эффективности противопожарной защиты и тенденции развития научных исследований в данной области.

Материалы предназначены для инженерно-технических работников пожарной охраны, профессорско-преподавательского состава, адъюнктов, слушателей и курсантов пожарно-технических учебных заведений.

Ил.– 79, табл.– 32.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: д-р техн. наук, проф. Ю.А. Абрамов (отв. ред.), д-р техн. наук, проф. О.П. Алексеев, д-р техн. наук, доц. А.С. Беликов, д-р техн. наук, проф. Е.В. Бодянский, д-р техн. наук, доц. В.М. Комяк, д-р техн. наук, ст. науч. сотр. В.И. Кривцова, д-р техн. наук, проф. Э.Е. Прохач, д-р техн. наук, проф. Н.И. Иванов, д-р физ.-мат. наук, проф. В.П. Ольшанский, д-р физ.-мат. наук, проф. С.В. Яковлев, канд. техн. наук, доц. Н.Н. Кулешов.

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. О.Н. Фоменко,
д-р техн. наук, проф. О.Г. Руденко.

Збірник заснований у 1997 році. Включений до переліку видань ВАК України (наказ № 1-03/8 від 11.10.2000 р.).

В збірнику наведені результати наукових досліджень у галузі пожежної безпеки. Розглядаються організаційно-технічні аспекти вдосконалення пожежної безпеки, що відображають сучасні методи підвищення ефективності протипожежного захисту та тенденції розвитку наукових досліджень в даній галузі.

Матеріали призначені для інженерно-технічних робітників пожежної охорони, професорсько-викладацького складу, ад'юнктів, слухачів та курсантів пожежно-технічних навчальних закладів.

© Академия пожарной безопасности Украины, 2002

Таблица 3 – Основные технические характеристики портативного сигнализатора СО "ДОЗОР-П"

Параметр	Ед. изм.	Величина	Примечание
Диапазон измерения	мг/м³	0 - 120	
	ppm	0 - 100	
Порог включения сигнализации	ppm	5 - 100	по заказу
Диапазон рабочих температур	^{0}C	минус 30 - +50	
Питание	В / А	- 4,5 / 0,005	
Габаритные размеры	мм	129х66х28	

Рисунок 3 – Портативный сигнализитор-СО "ДОЗОР-П"

Таким образом, проведенный анализ приборов газового контроля, выпускаемых в Украине, позволяет сделать следующие выводы:

1. Предприятиями Украины освоен серийный выпуск сигнализаторов, пригодных для раннего обнаружения по микроконцентрации оксида углерода возгораний РС в хранилище.

2. В наибольшей мере предъявляемым требованиям отвечают приборы НПО "Орион": сигнализатор-анализатор оксида углерода "ДОЗОР" (для систем автоматической пожарной сигнализации) и портативный сигнализатор СО "ДОЗОР-П" (для оперативного периодического контроля газовоздушной среды в свободном объеме хранилища).

ЛИТЕРАТУРА

Муравьев С., Крайнюк О. К вопросу создания пожарной сигнализации в хранилищах растительного сырья // Пожежна безпека (Бюлетень пожежної безпеки). – № 5 (10). – К.: ГДПО МВС України, 2001. – С. 11 – 12.

С.Д. Муравьев, В.А. Данильченко Автоматическая пожарная сигнализация для хранилищ растительного сырья // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. – Вып. 9. – Харьков: Фолио, 2001. – С. 133 – 136.

Статья поступила в редакцию 23.10.2002 г.

УДК 621.391

В.П. Ольшанский, д-р физ. - мат. наук, нач. кафедры, АПБУ,
В.В. Тригуб, адъюнкт, АПБУ

НЕСТАЦИОНАРНОЕ ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ТРЕХМЕРНОГО МАССИВА НАСЫПИ, ПОРОЖДЕННОЕ СФЕРИЧЕСКИМ ОЧАГОМ

В форме тройного ряда Фурье построено решение нестационарной трехмерной задачи теплопроводности для прямоугольного параллелепипеда с внутренним сферическим термоисточником. Рассмотрены различные варианты граничных условий. Проанализированы численные результаты.

В работе [1] рассмотрено центрально-симметричное нестационарное температурное поле гнездового самонагревания растительного сырья в предположении, что очаг находится в глуби насыпи. При такой постановке задачи нельзя учесть влияние стенок силосов на температурное поле, т.е. рассмотреть различные варианты граничных условий на поверхности насыпи. Поэтому представляет практический интерес построить решение температурной задачи для массива конечных размеров.

Ниже изучено температурное поле трехмерного массива при наличии в нем сферического очага. При стационарной постановке задачи она решалась в работе [2].

Функцию поля избыточной температуры T=T(x,y,z,t) в прямоугольной системе координат xyz строим путем решения уравнения теплопроводности

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}-\frac{1}{a}\frac{\partial T}{\partial t}=-\frac{1}{\lambda}\begin{cases} q_0 & \text{при} \quad x,y,z\in D \\ 0 & \quad x,y,z\notin D \end{cases}. \qquad (1)$$

Здесь λ – коэффициент теплопроводности сырья; a - коэффициент температуропроводности сырья; q_0 – плотность термоисточников внутри очага, занимающего область D. Граница области D очерчена поверхностью

$$(x-\xi)^2+(y-\eta)^2+(z-\zeta)^2=r_0^2 .$$

Это сфера радиуса r_0, центр которой имеет координаты (ξ, η, ζ).

Размеры массива насыпи равны l_1, l_2, и l_3 соответственно вдоль осей ox, oy, oz. Начало координат находится в одном из углов параллелепипеда. Ось oz направлена вниз.

Предполагая, что на всех шести гранях ($x = 0$; $x = l_1$; $y = 0$; $y = l_2$; $z = 0$; $z = l_3$) температура сырья равна температуре окружающей среды, т.е. избыточная температура $T(x,y,z,t) = 0$, решение уравнения (1) ищем в виде тройного ряда

$$T(x,y,z,t)=\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{k=1}^{\infty}a_{mnk}\cdot\sin(\alpha_m x)\cdot\sin(\beta_n y)\cdot\sin(\mu_k z)\times\left(1-e^{-a\left(\alpha_m^2+\beta_n^2+\mu_k^2\right)t}\right), \qquad (2)$$

где $\alpha_m = m\pi\, l_1^{-1}$; $\beta_n = n\pi\, l_2^{-1}$; $\mu_k = k\pi\, l_3^{-1}$.

Подставив его в (1), с учетом ортогональности синусов, получаем формулу для вычисления неизвестных коэффициентов a_{mnk}

$$a_{mnk}=\frac{8\cdot q_0\cdot I_{mnk}}{\lambda\cdot l_1\cdot l_2\cdot l_3\cdot\gamma_{mnk}^2}\cdot\sin(\alpha_m\xi)\cdot\sin(\beta_n\eta)\cdot\sin(\mu_k\zeta). \qquad (3)$$

Здесь $\gamma_{mnk}=\left(\alpha_m^2+\beta_n^2+\mu_k^2\right)^{1/2}$;

$$I_{mnk}=\iiint\limits_D\cos(\alpha_m x)\cdot\cos(\beta_n y)\cdot\cos(\mu_k z)\,dx\,dy\,dz.$$

Выполнив математические преобразования, подробно описанные в [2], находим, что

$$I_{mnk}=\frac{4\cdot\pi\cdot r_0^3}{\chi_{mnk}^2}\cdot\left(\frac{\sin\chi_{mnk}}{\chi_{mnk}}-\cos\chi_{mnk}\right). \qquad (4)$$

Здесь $\chi_{mnk}=r_0\cdot\gamma_{mnk}$.

Таким образом, вычисление тройного интеграла по области D, после аналитических преобразований, сведено к вычислению элементарных функций, а решение поставленной краевой задачи согласно (2), (3), (4) имеет вид

$$T(x,y,z,t)=\frac{32\cdot q_0\cdot\pi\cdot r_0^3}{\lambda\cdot l_1\cdot l_2\cdot l_3}\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{k=1}^{\infty}\frac{\left(\chi_{mnk}^{-1}\cdot\sin\chi_{mnk}-\cos\chi_{mnk}\right)}{\left(\gamma_{mnk}\cdot\chi_{mnk}\right)^2}\times$$
$$\times\sin(\alpha_m\xi)\cdot\sin(\beta_n\eta)\cdot\sin(\mu_k\zeta)\cdot\sin(\alpha_m x)\cdot\sin(\beta_n y)\cdot\sin(\mu_k z)\times$$
$$\times\left(1-e^{-a\left(\alpha_m^2+\beta_n^2+\mu_k^2\right)t}\right). \qquad (5)$$

В таблице 1 указаны безразмерные значения температуры $\overline{T}(\xi,\eta,\zeta,t)=10^3\cdot\lambda\cdot T(\xi,\eta,\zeta,t)\cdot(q_0\cdot l_1\cdot l_2)^{-1}$, вычисленные в центре очага для различных вариантов расположения очага. При этом в расчетах принималось, что $l_1 = l_2 = 3$ м, $l_3 = 12$ м, $r_0 = 0,5$ м. В каждом из рядов (5) удерживали по 100 членов.

Таблица 1 – Значения $\bar{T}(\xi, \eta, \zeta, t)$, вычисленные при различных вариантах расположения очага

t, сут	Координаты центра очага (ξ, η, ζ), м				
	(1,5;1,5;6)	(2,5;2,5;6)	(1,5;2,5;6)	(2;1,5;6)	(2,5;2,5;0,5)
1	1,009	1,009	1,009	1,009	1,006
5	4,231	4,170	4,200	4,231	4,137
10	6,273	5,934	6,098	6,273	5,775
20	8,164	7,135	7,603	8,160	6,737
40	9,702	7,675	8,510	9,649	7,061
50	10,108	7,755	8,690	10,019	7,096
100	11,019	7,865	9,004	10,783	7,133
200	11,351	7,888	9,093	11,037	7,137

Анализ численных результатов показал, что при идеальной теплоотдаче на всех гранях насыпи наиболее пожароопасный вариант дает расположение очага самонагревания в центре массива, причем в сравнении с наименее пожароопасным (когда очаг касается трех граней насыпи) температура на 40 сутки больше в 1,4 раза.

Выше предполагалась идеальная теплоотдача на всех гранях насыпи. Рассмотрим вариант граничных условий, когда нижняя грань $z = l_3$ является теплонепроницаемой, т.е. находится на термоизолированной подложке. В этом случае решение сохранит прежний вид (5), но в нем символ μ_k нужно заменить на

$$\bar{\mu}_k = \frac{(2 \cdot k - 1) \cdot \pi}{2 \cdot l_3}. \qquad (6)$$

Третий вариант граничных условий имеем, когда боковая грань $x = l_1$, также как и нижняя грань, является теплонепроницаемой. В этом случае в решении (5), с учетом (6), необходимо символ α_m заменить на

$$\bar{\alpha}_m = \frac{(2 \cdot m - 1) \cdot \pi}{2 \cdot l_1}. \qquad (7)$$

Четвертым вариантом граничных условий берем случай, когда теплоизолирована и грань $y = l_2$. Тогда в решении (5), с учетом (6) и (7), необходимо заменить символ β_n на

$$\bar{\beta}_m = \frac{(2 \cdot n - 1) \cdot \pi}{2 \cdot l_2}. \qquad (8)$$

Укажем для каждого из этих вариантов граничных условий самый опасный случай расположения очага. Для первого, как было уже сказано, он имеет место, когда очаг находится в центре насыпи. Во втором – когда центр очага имеет координаты ($l_1/2$; $l_2/2$; $l_3 - r_0$). В третьем – когда центр находится в точке ($l_1 - r_0$; $l_2/2$; $l_3 - r_0$). В четвертом – когда центром очага является ($l_1 - r_0$; $l_2 - r_0$; $l_3 - r_0$), т.е. очаг касается всех трех теплоизолированных граней.

Результаты расчета избыточной температуры для каждого из этих четырех случаев расположения очага сведены в таблицу 2. Размеры насыпи, радиус очага и количество членов в каждом ряде принимались теми же, что и выше.

Таблица 2 – Значения $\overline{T}(\xi,\eta,\zeta,t)$, вычисленные при различных вариантах граничных условий на торцах насыпи

t, сут	1-й вариант	2-й вариант	3-й вариант	4-й вариант
1	1,009	1,012	1,012	1,012
5	4,231	4,265	4,296	4,328
10	6,273	6,451	6,636	6,832
20	8,164	8,728	9,380	10,144
40	9,702	10,898	12,455	14,507
50	10,108	11,533	13,458	16,094
100	11,019	13,062	16,238	21,179
200	11,351	13,662	17,874	25,801

Проведя анализ численных расчетов, приходим к выводу, что самым опасным является четвертый вариант, когда очаг соприкасается с тремя теплоизолированными гранями массива. В сравнении с наименее пожароопасным (первым вариантом) на 40 сутки температура больше в 1,5 раза и это превышение нарастает в последующие моменты времени.

Далее рассмотрим вариант, когда все грани массива теплоизолированы. В этом случае решением (1) будет выражение

$$T(x,y,z,t)=\frac{32\cdot q_0\cdot\pi\cdot r_0^3}{\lambda\cdot l_1\cdot l_2\cdot l_3}\times$$

$$\times\left[\begin{array}{l}\dfrac{1}{24}\cdot a\cdot t+\\ +\sum\limits_{m=0}^{\infty}\sum\limits_{\substack{n=0\\ m+n+k\neq 0}}^{\infty}\sum\limits_{k=0}^{\infty}\dfrac{\left(\chi_{mnk}^{-1}\cdot\sin\chi_{mnk}-\cos\chi_{mnk}\right)}{(1+\delta_{mo})\cdot(1+\delta_{no})\cdot(1+\delta_{ko})\cdot\left(\gamma_{mnk}\cdot\chi_{mnk}\right)^2}\times\\ \times\cos(\alpha_m\xi)\cdot\cos(\beta_n\eta)\cdot\cos(\mu_k\zeta)\cdot\cos(\alpha_m x)\cdot\cos(\beta_n y)\times\\ \times\cos(\mu_k z)\cdot\left(1-e^{-a\left(\alpha_m^2+\beta_n^2+\mu_k^2\right)t}\right)\end{array}\right], \quad (9)$$

Здесь δ_{mo}, δ_{no}, δ_{ko} – символы Кронекера.

В таблице 3 приведены безразмерные значения температуры $\overline{T}(\xi,\eta,\zeta,t)=10^3\cdot\lambda\cdot T(\xi,\eta,\zeta,t)\cdot(q_0\cdot l_1\cdot l_2)^{-1}$, вычисленные в центре очага. При этом: 1-й вариант – расчет по формуле (9), 2-й вариант – по формуле (5), а 3-й вариант – результаты, полученные в работе [1], для шаровидной области конечного радиуса. В расчетах принималось, что l_1 = = l_2 = l_3 = 3 м, r_0 = 0,5 м. В каждом из рядов удерживали по 100 членов.

Таблица 3 – Значения $\overline{T}(\xi,\eta,\zeta,t)$, вычисленные при различных вариантах граничных условий

t, сут	1-й вариант	2-й вариант	3-й вариант
1	1,016	1,016	1,018
5	4,239	4,239	4,240
10	6,280	6,280	6,282
20	8,171	8,171	8,172
40	9,720	9,707	9,715
50	10,151	10,109	10,131
100	11,487	10,954	11,196
200	13,506	11,180	11,943

Проведя анализ полученных результатов, приходим к выводу, что при удалении очага от ближайшего торца насыпи на расстояние $d \geq \sqrt{at}$ с погрешностью не более 3 %, влиянием теплообмена на торце можно пренебречь, т.е. при расчете температуры в очаге допустимо использовать теорию представленную в работе [1].

Следует также отметить, что 1-й и 2-й варианты являются верхней и нижней границами прироста температуры соответственно. Они образуют вилку для оценки приростов температуры.

ЛИТЕРАТУРА

1 Ольшанский В.П., Тригуб В.В. К расчету температуры самонагревания сырья гнездовым сферическим очагом // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Сб. науч. тр. – Вып. 118. – Харьков: ХГПУ, 2000. – С. 43 – 45.

2 В.П.Ольшанский, И.А. Криса Стационарное температурное поле трехмерного массива насыпи, порожденное сферическим очагом. Проблемы пожарной безопасности. Сб.науч.тр. АПБУ. – Вып. 9. – Харьков: Фолио, 2001. – С. 141 – 146.

Статья поступила в редакцию 6.11.2002 г.