

МИНИСТЕРСТВО УКРАИНЫ ПО ВОПРОСАМ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ И ПО  
ДЕЛАМ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ  
АКАДЕМИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УКРАИНЫ

# ПРОБЛЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Выпуск 14

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

Утверждено к печати ученым советом  
АПБ Украины  
(протокол № 7 от 19.12.2003 г.)

Харьков  
"Фолио"2003

УДК 502.55+504.75+614.8+621.3+622.692.2+628.174+678.046+796+908:93  
Проблемы пожарной безопасности. — Харьков: Фолио, 2003. — Вып. 14. — 238 с.

Издание основано в 1997 году. Включено в перечень изданий ВАК Украины (приказ № 1-03/8 от 11.10.2000 г.).

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 пожарнотехнических учебных заведений.

Ил.— 65, табл.— 28.

**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, проф. *Н.И. Иванов*, д-р техн. наук, доц. *В.М. Комяк*, д-р техн. наук, ст. науч. сотр. *В.И. Кривцова*, д-р техн. наук, проф. *Л.Н. Куценко*, д-р техн. наук, доц. *А.Н. Ларш*, д-р физ.-мат. наук, проф. *В.П. Ольшанский*, д-р техн. наук, проф. *Э.Е. Прохач*, д-р физ.-мат. наук, проф. *В.Б. Рабухин*, д-р физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. *А.П. Созтик*, д-р физ.-мат. наук, проф. *С.В. Яковлев*.

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

Видання засноване у 1997 році. Включене до переліку видань ВАК України (наказ № 1-03/8 від 11.10.2000 р.).

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.

*В.В. Тригуб, преподаватель, АПБУ,  
С.В. Кулаков, преподаватель, АПБУ*

## ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ В ЗОНЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ НЕСКОЛЬКИХ ГНЕЗДОВЫХ ОЧАГОВ

(представлено д-ром физ. - мат. наук В.П. Олышанским)

Построено решение нестационарной трехмерной задачи теплопроводности для прямоугольного параллелепипеда с несколькими внутренними сферическими термоисточниками. Проанализированы численные результаты.

**Постановка проблемы.** Самонагревание растительного сырья было причиной многих пожаров и взрывов на предприятиях его переработки и хранения. Для предотвращения чрезвычайных ситуаций, а также обеспечения надлежащих условий хранения продукта, обычно контролируют его температуру. В массивах больших объемов это осуществляют с помощью технических систем термоконтроля. Однако, данные, поступающие от них, лишь фиксируют температуру на момент измерений в местах установки датчиков и не дают информации о том, как будет развиваться температурный режим в последующие моменты времени. Поэтому для прогнозирования динамики температуры сырья необходимо разработать соответствующие теоретические модели.

**Анализ последних достижений и публикаций.** В работах [1, 2, 3, 4] изучено температурное поле насыпи при наличии одного локализованного очага. Однако в практике хранения растительного сырья возможны случаи одновременного появления нескольких таких очагов. Поэтому представляет практический интерес обобщить эти решения на случай гнездового самонагревания сырья в силосе несколькими локализованными тепловыми источниками. При пластовом самонагревании такая задача решалась в работах [5, 6].

**Постановка задачи и ее решение.** Нестационарное температурное поле, как и в работе [7], будем описывать уравнением

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

Предполагаем, что на всех шести гранях массива температура сырья равна температуре окружающей среды, т.е. избыточная температура на торцах насыпи равна нулю.

Ход решения подробно описан в [7], а решение поставленной краевой задачи имеет вид

$$T(x,y,z,t) = \frac{32 \cdot \pi}{\lambda \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot l_3} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} \left( \frac{1 - e^{-a \sqrt{\gamma_{mnk}^2} t}}{\gamma_{mnk}^2} \right) \times \\ \times \sin(\alpha_m x) \cdot \sin(\beta_n y) \cdot \sin(\mu_k z) \times \quad (2) \\ \times \sum_{p=1}^P q_p \cdot r_p^3 \cdot \frac{(\chi_{mnkp}^{-1} \cdot \sin \chi_{mnkp} - \cos \chi_{mnkp})}{\chi_{mnkp}^2} \sin(\alpha_m \xi_p) \cdot \sin(\beta_n \eta_p) \cdot \sin(\mu_k \zeta_p)$$

Здесь  $\chi_{mnkp} = r_p \cdot \gamma_{mnk}$ ;  $\gamma_{mnk} = (\alpha_m^2 + \beta_n^2 + \mu_k^2)^{1/2}$ ;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности сырья;  $a$  – коэффициент температуропроводности сырья;  $q_p$  – плотность термоисточников внутри очага  $p$ -го очага;  $r_p$  – радиус  $p$ -го очага;  $P$  – количество очагов в насыпи,  $t$  – время;  $l_1, l_2$ , и  $l_3$  – размеры массива насыпи, соответственно вдоль осей  $ox, oy, oz$ ;  $\alpha_m = m \pi l_1^{-1}$ ;  $\beta_n = n \pi l_2^{-1}$ ;  $\mu_k = k \pi l_3^{-1}$ ;  $\xi_p, \eta_p$  и  $\zeta_p$  – координаты центра  $p$ -го очага, соответственно вдоль осей  $ox, oy, oz$ .

Был проведен расчет избыточной температуры для отрубей, когда в насыпи возникало два очага самонагревания, и располагались они один над другим по оси  $oz$ . Причем в числителях даны значения температуры при наличии соседнего очага, а в знаменателях – без соседнего очага.

В табл. 1 и 2 указаны безразмерные значения температуры  $\bar{T}(x,y,z,t) = 10^3 \cdot \lambda \cdot T(x,y,z,t) \cdot (q_0 \cdot l_1 \cdot l_2)^{-1}$ , вычисленные в центрах и на краях каждого из очагов. При этом в расчетах принималось, что  $l_1 = l_2 = 3$  м,  $l_3 = 12$  м,  $r_{01} = r_{02} = 0,5$  м. При этом плотности термоисточников были одинаковы. В каждом из рядов (2) удерживали по 100 членов. В табл. 1 первый очаг имел координаты центра (1,5;1,5;6), а второй очаг – (1,5;1,5;8). То есть расстояние между ними было 1 м. В табл. 2 первый очаг имел те же координаты, а второй на 0,5 м был приближен к первому (1,5;1,5;7,5).

Анализ результатов, из табл. 1 и 2, показывает, что после сближения усилилось взаимовлияние термоисточников. С учетом его, температура на 100 – е сутки на краю очага увеличилась за счет соседнего очага на 34,4 %.

Рассмотрим, как происходит изменение температуры в центрах и на краях двух разномоощных очагов самонагревания.

В табл. 3 и 4 указаны безразмерные значения температуры  $\bar{T}(x,y,z,t) = 10^3 \cdot \lambda \cdot T(x,y,z,t) \cdot (q_0 \cdot l_1 \cdot l_2)^{-1}$ , вычисленные в центрах и на краях каждого из очагов.

При этом в расчетах принималось, что  $l_1 = l_2 = 3$  м,  $l_3 = 12$  м,  $r_{01} = 0,5$  м,  $r_{02} = 1$  м. Плотности термоисточников были одинаковы. В каждом из рядов (2) удерживали по 100 членов.

Таблица 1 – Значения  $\bar{T}(x,y,z,t)$  в центрах и на краях двух равномош-ных очагов

t, суг	Координаты (x,y,z)			
	1 очаг		2 очаг	
	центр	край	центр	край
	(1,5;1,5;6)	(1,5;1,5;6,5)	(1,5;1,5;8)	(1,5;1,5;7,5)
1	<u>4,407</u>	<u>1,808</u>	<u>4,407</u>	<u>1,808</u>
	4,406	1,806	4,406	1,806
5	<u>8,856</u>	<u>4,710</u>	<u>8,856</u>	<u>4,710</u>
	8,841	4,584	8,841	4,584
10	<u>10,32</u>	<u>6,157</u>	<u>10,32</u>	<u>6,157</u>
	10,21	5,735	10,21	5,735
50	<u>11,836</u>	<u>7,815</u>	<u>11,836</u>	<u>7,815</u>
	11,38	6,814	11,38	6,814
100	<u>11,851</u>	<u>7,831</u>	<u>11,851</u>	<u>7,831</u>
	11,389	6,823	11,389	6,823

Таблица 2 – Значения  $\bar{T}(x,y,z,t)$  в центрах и на краях двух равномош-ных очагов после их сближения

t, суг	Координаты (x,y,z)			
	1 очаг		2 очаг	
	центр	край	центр	край
	(1,5;1,5;6)	(1,5;1,5;6,5)	(1,5;1,5;7,5)	(1,5;1,5;7)
1	<u>4,408</u>	<u>1,846</u>	<u>4,408</u>	<u>1,846</u>
	4,406	1,806	4,406	1,806
5	<u>8,967</u>	<u>5,384</u>	<u>8,967</u>	<u>5,384</u>
	8,841	4,584	8,841	4,584
10	<u>10,632</u>	<u>7,222</u>	<u>10,632</u>	<u>7,222</u>
	10,21	5,735	10,21	5,735
50	<u>12,381</u>	<u>9,151</u>	<u>12,381</u>	<u>9,151</u>
	11,38	6,814	11,38	6,814
100	<u>12,397</u>	<u>9,168</u>	<u>12,397</u>	<u>9,168</u>
	11,389	6,823	11,389	6,823

В табл. 3 первый очаг имел координаты центра (1,5;1,5;6), а второй очаг – (1,5;1,5;8,5). В табл. 4 первый очаг имел те же координаты, а второй на 0,5 м был приближен к нему (1,5;1,5;8).

Таблица 3 – Значения  $\bar{T}(x, y, z, t)$  в центрах и на краях двух разномош-  
ных очагов

t, сут	Координаты (x,y,z)			
	1 очаг		2 очаг	
	(1,5;1,5;6)	(1,5;1,5;6,5)	(1,5;1,5;8,5)	(1,5;1,5;7,5)
1	4,407	1,808	5,384	2,255
	4,406	1,806	5,384	2,254
5	8,873	4,858	20,267	8,628
	8,841	4,584	20,266	8,502
10	10,506	6,899	28,115	13,485
	10,21	5,735	28,09	13,063
50	13,084	10,477	35,759	19,684
	11,38	6,814	35,547	18,683
100	13,128	10,523	35,823	19,746
	11,389	6,823	35,606	18,737

Таблица 4 – Значения  $\bar{T}(x, y, z, t)$  в центрах и на краях двух разномош-  
ных очагов после их сближения

t, сут	Координаты (x,y,z)			
	1 очаг		2 очаг	
	(1,5;1,5;6)	(1,5;1,5;6,5)	(1,5;1,5;8)	(1,5;1,5;7)
1	4,408	1,867	5,385	2,294
	4,406	1,806	5,384	2,254
5	9,115	6,306	20,282	9,302
	8,841	4,584	20,266	8,502
10	11,375	9,767	28,2	14,55
	10,21	5,735	28,09	13,063
50	15,038	14,825	36,005	21,02
	11,38	6,814	35,547	18,683
100	15,089	14,883	36,071	21,083
	11,389	6,823	35,606	18,737

Вывод, полученный для равномошных очагов, остается в си-  
ле и для разномошных, причем усиливается влияние более мощно-  
го очага на прирост температуры в области менее мощного тер-  
моисточника.

**Выводы.** Анализируя данные табл. 2.11 – 2.14 можно сделать  
вывод, что, рассматривая температурное поле насыпи, в которой  
появилось несколько очагов, при их удалении друг от друга на

---

расстояние  $d \geq \sqrt{at}$  с погрешностью не более 3 %, влиянием соседнего очага на избыточную температуру, как в центре, так и на краю очага, можно пренебречь.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Ольшанский В.П., Тригуб В.В. К расчету температуры самонагревания насыпи гнездовым сферическим очагом с увеличивающимся радиусом // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. АПБУ. – Вып. 9. – Харьков: Фолио, 2001. – С. 147 – 150.

2 Ольшанский В.П., Тригуб В.В. К расчету температуры самонагревания растительного сырья гнездовым сферическим очагом // Новые решения в современных технологиях: Вестник ХГПУ. – Вып. 118. – Харьков: ХГПУ, 2000. – С. 43 – 45.

3 Тригуб В.В. Определение параметров гнездового самонагревания сырья, порожденное сферическим очагом с увеличивающимся радиусом // Матеріали VI-ї науково-практичної конференції „Пожежна безпека – 2003”. – Харків: АПБУ, 2003. – С. 41 – 43.

4 Тригуб В.В. Температурное поле гнездового самонагревания сырья, порожденное сферическим очагом с увеличивающимся радиусом // Доповіді міжнародної науково-практичної конференції „Наука і соціальні проблеми суспільства: людина, техніка, технологія, довкілля. MicroCAD-2001”. – Харків: НТУ („ХП”), 2001. – С. 15.

5 Еременко С.А. О температурных полях самонагревания сырья в зоне локализации нескольких пластовых очагов // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. ХИПБ – Вып. 7. – Харьков: Фолио, 2000. – С. 91 – 94.

6 Еременко С.А., Поляк Т.Ю., Гринченко Е.Н. О развитии температуры в случае самонагревания растительного сырья при возникновении нескольких пластовых очагов // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. ХИПБ – Вып. 8. – Харьков: Фолио, 2000. – С. 66 – 69.

7 Ольшанский В.П., Тригуб В.В. Нестационарное температурное поле трехмерного массива насыпи, порожденное сферическим очагом // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. АПБУ. – Вып. 12. – Харьков: Фолио, 2002. – С. 144 – 148.

Статья поступила в редакцию 21.10.2003 г.

Ю.В. Уваров, канд. техн. наук, доцент, АПБУ,  
А.А. Мельниченко, адъюнкт, АПБУ

## К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ЗДАНИЙ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

(представлено д-ром техн. наук Н.И. Ивановым)

Приведен метод комплексной количественной оценки уровня безопасной эвакуации людей из зданий при пештатных ситуациях. Показана возможность использования при расчетах результатов экспериментальных исследований времени эвакуации людей при пожаре.

**Постановка проблемы.** Одним из основных направлений по обеспечению безопасности людей в случае возникновения чрезвычайных ситуаций является разработка адекватных средств и путей эвакуации. Сложность решения проблемы вытекает из необходимости одновременного учета большого числа факторов.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Существующие методы оценки уровня безопасной эвакуации (УБЭ), основанные на физических моделях развития пожара, взрыва или воздействия других опасных факторов становятся недостаточно эффективными [1].

**Постановка задачи и ее решение.** В этих условиях предлагается использовать комплексный подход для оценки УБЭ на объектах с массовым пребыванием людей, позволяющий учитывать как выполнение требований нормативных документов, так и характеристики различных защитных систем объекта.

Для проведения количественной оценки УБЭ объектов может быть использован показатель:

$$Q = \sum_{i=1}^k \frac{S_i \cdot N_i \cdot Q_i}{S \cdot N}, \quad (1)$$

где  $Q_i$  – оценка уровня безопасной эвакуации  $i$ -го здания объекта;  $S_i$  – площадь  $i$ -го здания,  $m^2$ ;  $S$  – общая площадь объекта,  $m^2$ ;  $N_i$  – количество людей в здании, чел.;  $N$  – общее количество людей на объекте, чел.;  $k$  – число зданий на объекте.

УБЭ одного здания:

$$Q_i = \sum_{j=1}^m K_j \cdot H_{ij}, \quad (2)$$

где  $K_j$  – весовые коэффициенты влияния  $j$ -го входного фактора на уровень безопасной эвакуации из здания;  $H_{ij}$  – составляющая характеристики системы обеспечения безопасной эвакуации из здания