

МИНИСТЕРСТВО УКРАИНЫ ПО ВОПРОСАМ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ И ПО
ДЕЛАМ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧЕРНОВЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ
АКАДЕМИЯ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ УКРАИНЫ

ПРОБЛЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Выпуск 15

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

Утверждено к печати ученым советом
АПБ Украины
(протокол № 12 от 20.05.2004 г.)

Харьков
"Фолио"2004

УДК 504.05+515.2+504.75+614.8+621.3+622.692.2+628.16+628.174+
+628.3+658.345+666.972+678.686+796+908:93

Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: Фолио, 2004. – Вып. 15. – 246 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 пожарно-технических учебных заведений.

Ил.– 58, табл.– 36.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: д-р техн. наук, проф. *Ю.А. Абрамов* (отв. ред.), д-р техн. наук, проф. *О.П. Алексеев*, д-р техн. наук, проф. *А.С. Белikov*, д-р техн. наук, проф. *Е.В. Бодянский*, д-р техн. наук, проф. *Н.И. Иванов*, д-р техн. наук, проф. *В.М. Комяк*, д-р техн. наук, проф. *В.И. Кривцова*, д-р техн. наук, проф. *Л.Н. Куценко*, д-р техн. наук, проф. *А.Н. Ларин*, 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, проф. *А.П. Созник*, 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 ГНЕЗДОВОГО ОЧАГА ПЕРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ

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

Построено аналитическое решение нестационарной задачи теплопроводности для гнездового очага переменных параметров. Проанализированы численные результаты.

Постановка проблемы. При решении нестационарных температурных задач гнездового самонагревания растительного сырья предполагалось, что мгновенно включенный тепловой источник (очаг самонагревания) остается постоянным, а, следовательно, и бесконечным во времени. Такой ход процесса не всегда подтверждается практикой. Опыты показывают, что тепловой очаг может менять свою активность в ходе самонагревания и угасать по истечению определенного времени, что связано с затуханием деятельности микрофлоры [1, 2, 3, 4, 5].

Анализ последних достижений и публикаций. В работах [6, 7, 8, 9] изучено температурное поле, в котором при эволюции очага самонагревания учитывается изменение во времени удельной мощности тепловыделения. В работе [10] решена задача нестационарной теплопроводности для гнездового сферического очага с увеличивающимся во времени радиусом. При этом удельная мощность тепловыделения очага оставалась постоянной. В ходе самонагревания могут изменяться как плотность термоисточников, так и размеры очага. Поэтому ниже решается температурная задача гнездового самонагревания сырья для случая, когда одновременно меняются и размеры очага, и плотность термоисточников в нем.

Постановка задачи и ее решение. Нестационарное температурное поле шаровидной области радиуса R , в центре которой находится очаг такой же формы радиуса r_0 , будем описывать уравнением

$$\frac{\partial T}{\partial t} - a \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} \right) T = \frac{q(r,t)}{\rho c} \quad (1)$$

В уравнении (1) $T=T(r,t)$ – избыточная температура самонагревания; $a=\lambda/(\rho c)$; λ – коэффициент теплопроводности сырья; ρ, c – его плотность и удельная теплоемкость; t – время; r – радиальная

координата; $q(r,t)$ – плотность термоисточников в очаге самонагревания.

Примем, что на внешней сферической поверхности происходит идеальный теплообмен с окружающей средой, т.е. решение построим при следующих начальном и граничном условиях

$$T(r,0)=0; \quad T(R,t)=0. \quad (2)$$

Решение уравнения (1) зададим в виде ряда

$$T(r, t) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n(t) \frac{1}{r} \sin\left(\frac{n\pi r}{R}\right), \quad (3)$$

который удовлетворяет граничному условию (2).

Подставив разложение (3) в уравнение (1) получаем дифференциальные уравнения для неизвестных функций $b_n(t)$

$$\dot{b}_n + A_n b_n = \frac{2}{R \rho c} \int_0^R r q(r, t) \sin\left(\frac{n\pi r}{R}\right) dr. \quad (4)$$

Здесь точка означает дифференцирование по t ; $A_n = (a \cdot n^2 \cdot \pi^2)/R^2$.

Решив уравнение (4) при нулевом начальном условии (2) находим $b_n(t)$, а затем и искомое решение. Согласно (3) оно имеет вид

$$T(r, t) = \frac{2}{\pi \rho c r} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin\left(\frac{n\pi r}{R}\right) \int_0^t e^{-A_n(t-u)} \left[\frac{R}{n\pi} \sin\left(\frac{n\pi r_1(u)}{R}\right) - r_1(u) \cos\left(\frac{n\pi r_1(u)}{R}\right) \right] q(u) du. \quad (5)$$

Здесь $r_1(t)$ – функция изменения радиуса очага во времени, $q(t)$ – функция удельной мощности тепловыделения в зоне локализации очага самонагревания.

В общем случае интеграл (5) приходится брать численно. Используя программу, с помощью компьютера, выясним влияние на рост температуры самонагревания изменений параметров в очаге.

Рассмотрим линейный вариант, когда

$$q(t) = q_0 \cdot \begin{cases} t/\tau & \text{при } t \leq \tau \\ 1 & \text{при } t > \tau \end{cases}, \quad r_1(t) = r_0 \cdot \begin{cases} t/\tau & \text{при } t \leq \tau \\ 1 & \text{при } t > \tau \end{cases}. \quad (6)$$

Здесь τ – продолжительность эволюции очага; q_0 , g_0 – плотность термонеточников и радиус очага, которые устанавливаются по истечению времени $t > \tau$.

$T(0,t), ^\circ\text{C}$

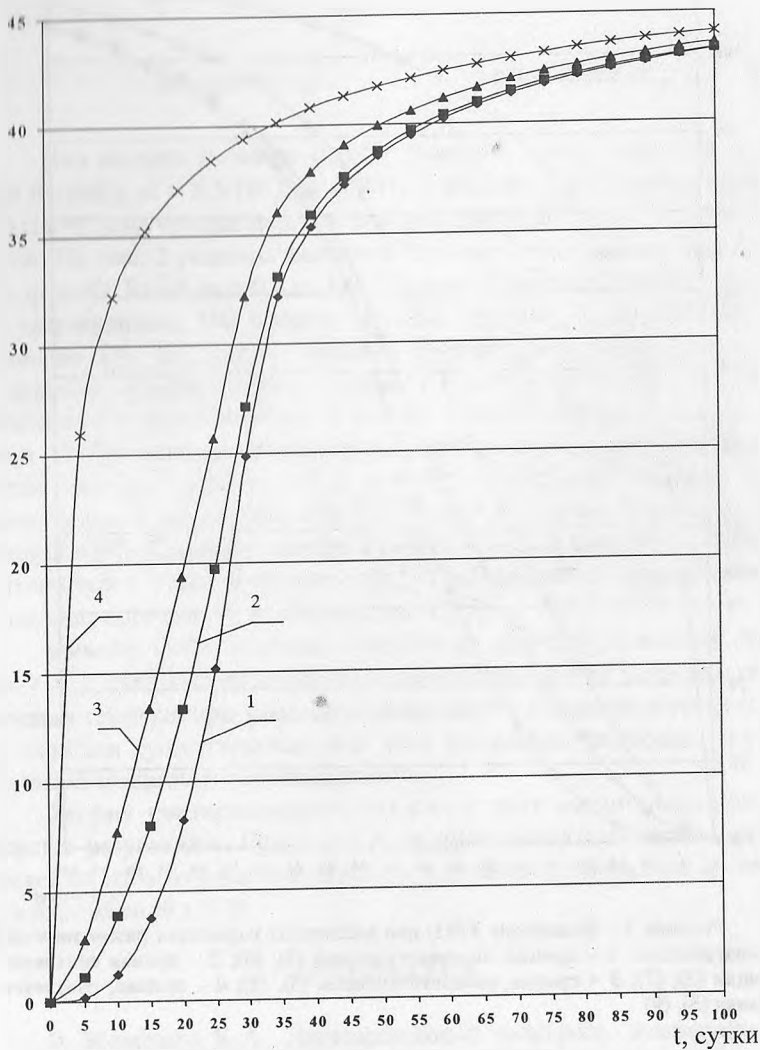


Рисунок 1 – Изменение $T(0,t)$ при различных вариантах развития очага самонагревания: 1 – кривая, соответствующая (5), (6); 2 – кривая соответствующая (5), (7); 3 – кривая, соответствующая (5), (8); 4 – кривая, соответствующая (5), (9)

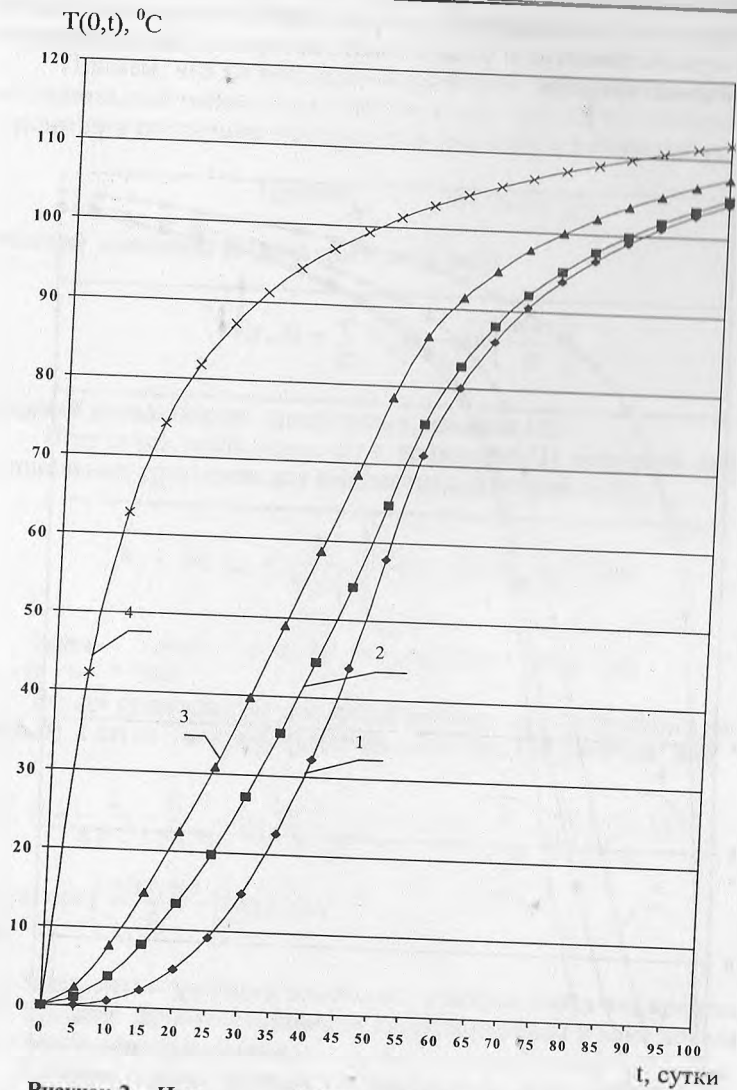


Рисунок 2 – Изменение $T(0,t)$ при различных вариантах развития очага самонагрева: 1 – кривая, соответствующая (5), (6); 2 – кривая соответствующая (5), (7); 3 – кривая, соответствующая (5), (8); 4 – кривая, соответствующая (5), (9)

Для сравнения с (6) рассмотрим следующие варианты изменения плотности термоисточников и радиуса очага:

$$q(t) = \text{const} = q_0, \quad r_1(t) = r_0 \cdot \begin{cases} t/\tau & \text{при } t \leq \tau \\ 1 & \text{при } t > \tau \end{cases}, \quad (7)$$

$$q(t) = q_0 \cdot \begin{cases} t/\tau & \text{при } t \leq \tau \\ 1 & \text{при } t > \tau \end{cases}, \quad r_1(t) = \text{const} = r_0, \quad (8)$$

$$q(t) = \text{const} = q_0, \quad r_1(t) = \text{const} = r_0. \quad (9)$$

Для расчета возьмем массив травяной муки, имеющий $\lambda = 0,09$ Вт/(мК); $\rho c = 8,5 \cdot 10^5$ Дж/(м³К) [11]. На рис. 1 указаны значения $T(0,t)$ в °С полученные при $R = 3$ м, $q_0 = 100$ Вт/м³, $r_0 = 0,3$ м, $\tau = 30$ суток. На рис. 2 указаны значения $T(0,t)$ в °С полученные при $R = 3$ м, $q_0 = 100$ Вт/м³, $r_0 = 0,5$ м, $\tau = 50$ суток. При вычислениях в ряде (5) удерживалось 100 членов. Причем кривая 1 соответствует решению (5), (6), когда линейно изменяется и плотность тепловыделения, и радиус очага. Кривая 2 – когда плотность термоисточников в очаге постоянна, а радиус линейно изменяется во времени (5), (7) (по аналогии теории, изложенной в [10]). Кривая 3 – когда постоянен радиус очага, а плотность термоисточников линейно изменяется во времени (5), (8) (по аналогии теории, изложенной в [9]). Кривая 4 – когда и радиус очага, и плотность термоисточников в очаге постоянны (5), (9) (по аналогии теории квазистационарного очага, изложенной в п. [12]).

Выводы. Сопоставление температур приводит к выводу, что при $t \leq \tau$ учет эволюции очага существенно меняет скорость увеличения температуры самонагревания сырья. На данном этапе ($t \leq \tau$) является существенным, как учет изменения размеров, так и удельной мощности тепловыделения.

Теория квазистационарного очага дает значительно завышенные результаты. При $t \gg \tau$ процесс эволюции очага слабо влияет на избыточную температуру и ее можно вычислять по теории изложенной в [12].

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Железняк Е.А. Дистанционный контроль температуры зерна. – М.: Хлебоиздат, 1960. – 72 с.
- 2 Клеев И.А. Значение температуры при хранении зерна. – М.: Заготиздат, 1947. – 76 с.

3 Макаров А.Н. Дистанционный контроль температуры зерна. – М.: Колос, 1968. – 160 с.

4 Сергунов В.С. Дистанционный контроль температуры зерна при хранении. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1987. – 173 с.

5 Трисвятский Л.А. Роль микроорганизмов в самосогревании зерна. – М.: Заготиздат, 1940. – 40 с.

6 Еременко С.А., Поляк Т.Ю., Тригуб В.В. Температурное поле пластового самонагревания сырья, порожденное очагом импульсного типа // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. АПБУ. – Вып. 12. – Харьков: Фолио, 2001. – С. 62 – 66.

7 Ольшанский В.П. Температурная задача пластового самонагревания сырья очагом импульсного типа // Коммунальное хозяйство городов: Сб. науч. тр. – Вып. 22. – К.: Техника, 2000. – С. 273 – 277.

8 Ольшанский В.П. Температурное поле пластового самонагревания сырья, порожденное очагом импульсного типа // Вестник Харьковского государственного политехнического университета: Сб. науч. тр. – Вып. 65. – Харьков: ХГПУ, 1999. – С. 10 – 14.

9 Ольшанский В.П., Тригуб В.В. Температурное поле гнездового самонагревания сырья, порожденного очагом импульсного типа // Коммунальное хозяйство городов: Сб. науч. тр. – Вып. 27. – К.: Техника, 2001. – С. 302 – 306.

10 Ольшанский В.П., Тригуб В.В., Фатянова Н.Б. Температурное поле гнездового самонагревания сырья, порожденное сферическим очагом с увеличивающимся радиусом // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”: Зб. наук. пр. – Тематичний випуск: Автоматика та приладобудування. – № 4. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2001. – С. 203 – 206.

11 Вогман Л.П., Горшков В.И., Дегтярев А.Г. Пожарная безопасность элеваторов. – М.: Стройиздат, 1993. – 288 с.

12 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.

Статья поступила в редакцию 2.02.2004 г.