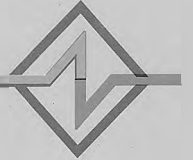


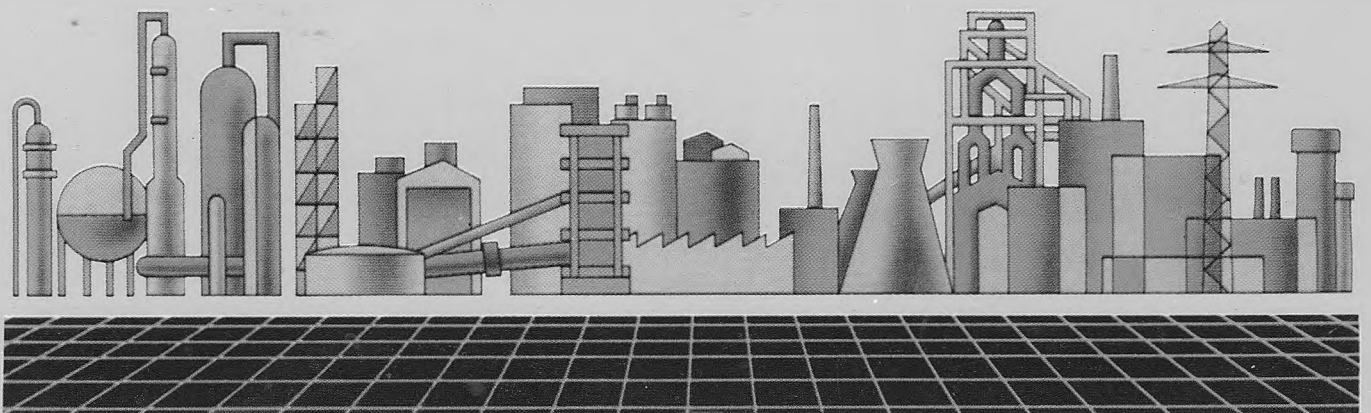
ISBN 5-7763-2106-9
ISBN 5-7763-2107-7

ІТЕ ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЩОКВАРТАЛЬНИЙ НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ



3'2001



<i>Ольшанский В.П., Тригуб В.В.</i> О влиянии распределения тепловых источников в очаге на температурное поле гнездового самонагрева сырья	42
<i>Таранов В.Г., Мельник Ю.А.</i> Способы предварительной оценки деформативности оснований фундаментов под машины (применительно к фундаментам турбоагрегатов)	50
<i>Приходько И.М., Дуреев В.А., Винник А.Л.</i> О воздействии непрерывного лазерного излучения высокой интенсивности на композиционное теплозащитное покрытие с объемным поглощением излучения	59
<i>Ульев Л.М.</i> Теплообмен при медленном конфузорном течении в соосных конических каналах постоянной ширины для граничных условий первого рода и с учетом диссипации механической энергии	64
<i>Ольшанский В.П., Криса И.А.</i> Стационарное температурное поле цилиндрического массива сырья, породженное очагом самонагрева такой же формы	82

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

<i>Чаркин А.И., Данько В.Г., Левченко Н.М., Бескорсый А.П., Кучерявенко Н.А.</i> Диафрагменный насос для перекачки криогенных жидкостей	90
<i>Степанов М.С.</i> Определение эффективности способа подачи СОЖ в зону шлифования по энергетическим критериям	98
<i>Ворожбян М.И., Шапка А.В., Копейкина А.И., Кобзев А.В., Маркова Н.Б.</i> Технология получения азотной кислоты из плазмохимических нитрозных газов	102
<i>Товажнянский Л.Л., Чуяева Л.О.</i> Разработка высоконадежной антикоррозионной защиты аппаратуры химических производств	106

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

<i>Костенко В.Л., Омельчук Н.А.</i> Параметрические адаптивные датчики с частотно-модулированным выходным сигналом	111
СТОРІНКА РЕДКОЛЕГІЇ	120

Інтегровані технології та енергозбереження // Щоквартальний науково-практичний журнал. Харків: НТУ «ХПІ». – 2001. № 3. 122 с.

Збірник наукових та науково-практичних статей з питань енергозбереження та сучасних технологій різноманітних галузей промисловості.

Ольшанский В.П., Тригуб В.В.

О ВЛИЯНИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ИСТОЧНИКОВ В ОЧАГЕ
НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ГНЕЗДОВОГО САМОНАГРЕВАНИЯ СЫРЬЯ

Академия пожарной безопасности Украины

1. Построение общего решения.

С целью прогноза возможных пожаровзрывоопасных ситуаций в хранилищах растительного сырья контролируют его температуру [1]. Кроме измерительной техники для анализа процесса самонагрева используют теоретические модели [1, 2].

При численном решении нестационарных задач теплопроводности применительно к гнездовому самонагреванию сырья в работах [2, 3] плотность внутренних тепловых источников задавалась дробно-рациональной функцией, в работе [4] она подчинялась нормальному закону (Гаусса). В работе [5] при аналитическом решении данной задачи также задавалась дробно-рациональной функцией, но отличной от [3]. Все эти решения строились для отдельных распределений. Поэтому целесообразно системно посмотреть на проблему, т.е. сопоставить температурные поля, при различных плотностях термоисточников. Такая задача при пластовом самонагревании сырья рассматривалась в [6]. Ниже пойдет речь о гнездовом центрально-симметричном самонагревании сферической области, выделенной в окрестности центра очага.

Как и в работе [7], нестационарное температурное поле шаровидной области радиуса R будем описывать уравнением

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

В нем $T=T(r,t)$ – избыточная температура самонагрева; $a=\lambda/(\rho c)$; λ – коэффициент теплопроводности сырья; ρ, c – его плотность и удельная теплоемкость; t – время; r – радиальная координата; $q(r)$ – плотность термоисточников в насыпи, $\omega(t)$ – функция Хевисайда.

Изучая начальный этап самонагрева, примем, что на внешней сферической поверхности радиуса R , значительно удаленной от центра очага, прирост температуры равен нулю и построим решение при следующих начальном и граничном условиях

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

В общем виде решение уравнения (1), удовлетворяющее условиям (2), имеет вид [7]

$$T(r,t) = \frac{2R}{r\pi^2\lambda} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \left(1 - e^{-a \left(\frac{n\pi}{R} \right)^2 t} \right) \sin \left(\frac{n\pi r}{R} \right) f_n(r_0). \quad (3)$$

Здесь

$$f_n(r_0) = \int_0^R r q(r) \sin \left(\frac{n\pi r}{R} \right) dr. \quad (4)$$

Решение (3) позволяет изучить зависимость температурного поля самонагрева от вида распределения тепловых источников в очаге, которое будем задавать различными функциями, убывающими с ростом r .

2. Локализованный очаг самонагрева.

Будем считать, что радиус очага равен r_0 , который меньше R . За пределами очага ($r > r_0$) плотность термоисточников $q(r)$ принимаем равной нулю. В пределах очага рассмотрим распределения:

1 – линейное
$$q(r) = q_0 \left(1 - \frac{r}{r_0}\right), \tag{5}$$

2 – параболическое
$$q(r) = q_0 \left(1 - \frac{r^2}{r_0^2}\right), \tag{6}$$

3 – косинусоидальное
$$q(r) = q_0 \cos\left(\frac{\pi}{2r_0} r\right), \tag{7}$$

4 – экспоненциальное
$$q(r) = q_0 e^{-\gamma r}, \quad (\gamma > 0). \tag{8}$$

Для указанных функций вычисление интегралов (4) несложно провести аналитическими методами и представить результат интегрирования в виде

1.
$$f_n(r_0) = \frac{2q_0 R^3}{r_0 \pi^3 n^3} \left[1 - \cos\left(\frac{n\pi r_0}{R}\right) - \frac{r_0 \pi n}{2R} \sin\left(\frac{n\pi r_0}{R}\right) \right];$$

2.
$$f_n(r_0) = \frac{6q_0 R^4}{r_0^2 \pi^4 n^4} \left[\sin\left(\frac{n\pi r_0}{R}\right) - \frac{r_0^2 \pi^2 n^2}{3R^2} \sin\left(\frac{n\pi r_0}{R}\right) - \frac{r_0 \pi n}{R} \cos\left(\frac{n\pi r_0}{R}\right) \right];$$

3.
$$f_n(r_0) = \frac{q_0}{2} \left[\left(\frac{2r_0 R}{2r_0 n\pi + R\pi} \right)^2 \cos\left(\frac{n\pi r_0}{R}\right) - \left(\frac{2r_0 R}{2r_0 n\pi - R\pi} \right)^2 \cos\left(\frac{n\pi r_0}{R}\right) + \frac{2r_0 R}{2r_0 n\pi + R\pi} \sin\left(\frac{n\pi r_0}{R}\right) - \frac{2r_0 R}{2r_0 n\pi - R\pi} \sin\left(\frac{n\pi r_0}{R}\right) \right];$$

4.
$$f_n(r_0) = \frac{q_0}{\left(\gamma^2 + \left(\frac{n\pi}{R}\right)^2\right)^2} \left[\left(\left(\frac{n\pi}{R}\right)^2 - \gamma^2 \right) e^{-\gamma r_0} \sin\left(\frac{n\pi r_0}{R}\right) - 2\gamma \frac{n\pi}{R} e^{-\gamma r_0} \cos\left(\frac{n\pi r_0}{R}\right) + 2\gamma \frac{n\pi}{R} \right] - \frac{q_0 e^{-\gamma r_0}}{\gamma^2 + \left(\frac{n\pi}{R}\right)^2} \left[r_0 \gamma \sin\left(\frac{n\pi r_0}{R}\right) + \frac{n\pi r_0}{R} \cos\left(\frac{n\pi r_0}{R}\right) \right].$$

Сопоставляя их, приходим к выводу, что большим мощностям очагов соответствуют и большие значения избыточных температур в таблицах 1–5, причем вдали от центра очага приросты температур оказываются практически пропорциональными мощностям, что не сложно объяснить с помощью физических соображений.

3. Очаг самонагрева без четкой границы.

Если нельзя выделить область занятую очагом, то плотность термоисточников задают во всем объеме насыпи. В качестве распределений используют экспоненциальные и дробно-рациональные функции. Для них интегралы в решении (3), (4) приходится брать численно. Следуя работам [5, 6] остановимся на распределении

$$q(r) = q_0 \frac{b^2}{b^2 + r^2},$$

где b – некоторый геометрический параметр.

В таблице 6 указаны результаты вычислений $T(r,t)$ в $^{\circ}\text{C}$ для различных t и r . Для вычислений принималось: $q_0 = 200 \text{ Вт/м}^3$, $\lambda = 0,15 \text{ Вт/(мК)}$, $a = 1,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$, $b = 0,3 \text{ м}$, $R = 3 \text{ м}$. В ряде (3) удерживали по 100 членов.

Таблица 6 – Значения $T(r,t)$ в $^{\circ}\text{C}$ при различных t и r

t , сут	$r = 0$	$r = 0,5 \text{ м}$	$r = 1,0 \text{ м}$	$r = 1,5 \text{ м}$	$r = 2,0 \text{ м}$
10	64,93	39,20	17,49	8,43	4,68
20	89,49	60,54	32,01	16,96	9,32
30	105,65	75,31	43,42	24,56	13,66
40	117,71	86,57	52,59	31,05	17,55
50	127,23	95,54	60,08	36,54	20,95
60	134,95	102,56	66,28	41,18	23,87
80	146,60	113,94	75,78	48,38	28,48
100	154,73	121,69	82,47	53,51	31,80

Сравнение данных, указанных в таблице 6, с теми, что представлены графиками в [5] свидетельствует о хорошем соответствии результатов, полученных разными методами.

Как отмечалось выше, в работах [2, 3] получены значения избыточной температуры в центре очага для случая, когда

$$q(r) = q_0 \frac{b^4}{b^4 + r^4}. \quad (9)$$

В качестве сырья рассматривалась травяная мука ($\lambda = 0,09 \text{ Вт/(мК)}$, $\rho c = 8,5 \cdot 10^5 \text{ Дж/(м}^3\text{К)}$).

В таблице 7 даны результаты расчета $T(0,t)$ в $^{\circ}\text{C}$ при $q_0 = 100 \text{ Вт/м}^3$, $R = 3 \text{ м}$ и для различных t и b , причем в числителе данные полученные с помощью (3), (4) и (9), а в знаменателе, заимствованы из работы [3]. При вычислениях в ряде (3) удерживали по 100 членов.

Таблица 7 – Значения $T(0,t)$ в $^{\circ}\text{C}$ при различных t и b

t , сут	$b = 0,1$ м	$b = 0,2$ м	$b = 0,3$ м	$b = 0,4$ м	$b = 0,5$ м
5	<u>6.02</u>	<u>16.77</u>	<u>26.72</u>	<u>34.35</u>	<u>39.72</u>
	6,02	16,77	26,72	34,35	39,72
15	<u>7.04</u>	<u>22.75</u>	<u>41.51</u>	<u>60.16</u>	<u>77.10</u>
	7,04	22,75	41,51	60,16	77,09
30	<u>7.49</u>	<u>25.77</u>	<u>49.89</u>	<u>76.48</u>	<u>103.29</u>
	7,50	25,77	49,89	76,48	103,29
60	<u>7.84</u>	<u>28.15</u>	<u>56.92</u>	<u>91.00</u>	<u>127.97</u>
	7,84	28,15	56,92	91,00	127,98
90	<u>7.99</u>	<u>29.28</u>	<u>60.36</u>	<u>98.34</u>	<u>140.89</u>
	7,99	29,28	60,37	98,37	140,95
180	<u>8.19</u>	<u>30.78</u>	<u>65.00</u>	<u>108.46</u>	<u>159.01</u>
	8,20	30,83	65,19	108,94	160,03

Малые отличия числителей от знаменателей в таблице 7 свидетельствуют о том, что для расчета температуры в центре очага может использоваться как модель сферы конечного радиуса R (формулы (3), (4)), так и модель бесконечного пространства [3].

Проведем сравнительный анализ значений избыточной температуры, когда плотность термоисточников в очаге подчиняется нормальному закону (Гаусса) [4]

$$q(r) = q_0 e^{-\frac{r^2}{b^2}}. \quad (10)$$

В таблице 8 представлены значения $T(0,t)$ в $^{\circ}\text{C}$ при $q_0 = 300 \text{ Вт/м}^3$ и для различных t и b . А в таблице 9 указаны значения $T(r,t)$ в $^{\circ}\text{C}$ при $q_0 = 300 \text{ Вт/м}^3$, $b = 0,3$ м, $R = 3$ м и для различных t и r . Причем в числителе данные полученные с помощью (3), (4) и (10), а в знаменателе, заимствованы из работы [4]. При вычислениях в ряде (3) удерживали по 100 членов.

Таблица 8 – Значения $T(0,t)$ в $^{\circ}\text{C}$ при различных t и b

t , сут	$b = 0,1$ м	$b = 0,2$ м	$b = 0,3$ м
1	<u>8.95</u>	<u>18.49</u>	<u>23.52</u>
	8,95	18,49	23,52
5	<u>12.87</u>	<u>38.43</u>	<u>63.87</u>
	12,87	38,43	63,87
10	<u>13.95</u>	<u>45.74</u>	<u>83.36</u>
	13,95	45,74	83,36
20	<u>14.73</u>	<u>51.49</u>	<u>100.36</u>
	14,73	51,49	100,36
50	<u>15.44</u>	<u>56.92</u>	<u>117.52</u>
	15,44	56,92	117,52
100	<u>15.80</u>	<u>59.73</u>	<u>126.76</u>
	15,80	59,73	126,76
200	<u>16.04</u>	<u>61.68</u>	<u>133.21</u>
	16,05	61,75	133,47

Таблица 9 – Значения $T(0,t)$ в $^{\circ}\text{C}$ при различных t и r

t , сут	$r = 0,1$ м	$r = 0,2$ м	$r = 0,3$ м
1	21.40	16.12	10.08
	21,40	16,13	10,07
5	59.53	48.35	34.50
	59,53	48,36	34,49
10	78.46	65.71	49.53
	78,45	65,71	49,52
20	95.19	81.61	64.15
	95,17	81,61	64,14
50	112.20	98.20	80.05
	112,19	98,20	80,05
100	121.40	107.29	88.97
	121,39	107,29	88,97
200	127.84	113.69	95.30
	128,08	113,95	95,56

Близость результатов, полученных различными методами, свидетельствует о том, что вместо численного суммирования тригонометрического ряда, при распределении (10), вычисление температуры можно проводить по таблице интеграла вероятностей, как это делалось в работе [4]. Особенно простым становится вычисление температуры в центре очага, где [4]

$$T(0,t) = \frac{q_0 b^3}{2\lambda} \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{\sqrt{b^2 + 4at}} \right).$$

Дополним рассмотренные распределения удельной мощности тепловыделения функцией

$$q(r) = q_0 \frac{b^4}{(b^2 + r^2)^2}.$$

В таблице 10 указаны полученные для нее результаты вычислений $T(0,t)$ в $^{\circ}\text{C}$ при $q_0 = 100 \text{ Вт/м}^3$, $R = 3$ м и для различных t и b . При вычислениях в ряде (3) удерживали по 100 членов.

Таблица 10 – Значения $T(0,t)$ в $^{\circ}\text{C}$ при различных t и b

t , сут	$b = 0,1$ м	$b = 0,2$ м	$b = 0,3$ м	$b = 0,4$ м	$b = 0,5$ м
5	3,75	10,57	17,34	23,18	27,96
15	4,41	14,19	26,03	38,21	49,85
30	4,71	16,08	31,12	47,88	65,16
60	4,94	17,63	35,52	56,74	79,94
90	5,04	18,37	37,72	61,33	87,85
180	5,18	19,37	40,73	67,75	99,11

Анализируя данные таблиц 10 и 7 видно, что значения в таблице 10 существенно ниже, что объясняется меньшей полной мощностью очага.

Проведенные выше исследования показали, что прирост температуры при самонагревании растительного сырья существенно зависит не только от геометрических параметров очага, а и от функции распределения тепловых источников в нем.

Литература

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

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

3 Ольшанский В.П. К вычислению температуры самонагревания сырья в гнездовом очаге // Науково-практичні проблеми моделювання та прогнозування надзвичайних ситуацій: Зб. наук. ст., Вип. 3 – К.: МНС України, КНУБА, 1999, С. 54 – 58.

4 Ольшанский В.П. Формула прироста температуры при гнездовом самонагревании сырья // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Сб. науч. тр. – Вып. 75. – Харьков: ХГПУ, 1999. – С. 98–101.

5 Абрамов Ю.А., Киричкин А.Ю. Математические модели тепловых полей насыпи растительного сырья с учетом температуры окружающей среды // Пожаровзрывобезопасность, 2000, № 3. – С. 21 – 27.

6 Ольшанский В.П., Еременко С.А., Сафронова А.П., Гуторов В.А. О влиянии распределения тепловых источников в очаге на температурное поле пластового самонагревания сырья // В кн. Коммунальное хозяйство городов. Сб. науч. тр. Вып. 22 – Киев: Техника, 2000. – С. 245 – 252.

7 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.

УДК 536.12

Ольшанський В.П., Тригуб В.В.

ПРО ВПЛИВ РОЗПОДІЛУ ТЕПЛОВИХ ДЖЕРЕЛ В ОСЕРЕДКУ НА ТЕМПЕРАТУРНЕ ПОЛЕ ГНІЗДОВОГО САМОНАГРІВАННЯ СИРОВИНИ

Вивчено вплив розподілів термоджерел в осередку на температурне поле гніздового самонагрівання рослинної сировини в силосі. Проаналізовані числові результати.