

*Михайлюк А.А., ад'юнкт, УГЗУ*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МОДЕЛИ, ОПИСЫВАЮЩЕЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНУЮ СИТУАЦИЮ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА**

(представлено д-ром техн. наук Комяк В.М.)

Проведена экспериментальная проверка математической модели чрезвычайной ситуации техногенного характера на примере модели горящего резервуара с нефтепродуктом

**Постановка проблемы.** Применение математических моделей чрезвычайных ситуаций техногенного характера для прогнозирования их развития и построения плана их локализации и ликвидации требует проверки адекватности таких моделей. Одной из наиболее сложных чрезвычайных ситуаций является пожар в резервуарном парке. Горение нефтепродукта сопровождается выделением значительного количества тепла, основная часть которого передается окружающим объектам излучением и конвекцией. В результате чего действия подразделений МЧС при ликвидации чрезвычайной ситуации усложняются. Важной составляющей модели такой ситуации является изменение температуры сухой стенки горящего резервуара за счет лучистого и конвективного теплообмена с окружающим воздухом.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работе [1] построена модель нагрева горящего резервуара, учитывающая лучистый и конвективный теплообмен сухой стенки с окружающей средой и проведена идентификация коэффициента конвективной теплоотдачи при условии свободной конвекции. При этом экспериментальная проверка математической модели чрезвычайной ситуации не проводилась.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является экспериментальная проверка модели чрезвычайной ситуации техногенного характера на примере модели лучистого и конвективного теплообмена сухой стенки горящего резервуара.

Проверка модели осуществлялась путем проведения эксперимента и сравнения его результатов с теоретическими расчетами. Был проведен эксперимент, который показал динамику охлаждения стенки горящего резервуара на окружающем воздухе. При проведении эксперимента в качестве модели сухой стенки горя-

щого резервуара використовувався сталевий лист ( $\rho = 7880 \text{ кг/м}^3$ ,  $c_p = 440 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ ) товщиною 2 мм, який нагрівався до температури 110–120 °С. Процес охолодження проходив в відсутності вітру при передачі тепла з однієї та іншої сторони листа в оточуючий повітря за рахунок вільної конвекції та за рахунок випромінювання. Температура стінки листа вимірювалася термопарою (мультиметр DT-838) кожні 10 секунд. Площа нагріву становила приблизно  $0,025 \text{ м}^2$ .

Кількість тепла, передаване листом в оточуюче середовище, за рахунок випромінювання за законом Стефана-Больцмана дорівнює

$$dQ_{\text{вип}} = 2c_0\varepsilon \left( \left( \frac{T_o}{100} \right)^4 - \left( \frac{T}{100} \right)^4 \right) S_{\text{л}} dt, \quad (1)$$

де  $T_o$  – температура оточуючого середовища,  $\varepsilon$  – ступінь чорноти сталі,  $T$  – температура листа,  $S_{\text{л}}$  – площа поверхні листа,  $c_0 = 5,67 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$ .

Коефіцієнт 2 виникає в зв'язі з тим, що теплообмін відбувається з обох сторін листа.

Конвективний теплообмін сталевий лист з оточуючим повітрям відбувається за рахунок вільної конвекції та визначається за формулою

$$dQ_{\text{конв}} = 2\alpha(T_o - T)S_{\text{л}} dt, \quad (2)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт конвективної теплоотдачі в оточуючий повітря.

Об'єднавши формули (1) та (2), запишемо рівняння теплового балансу для сталевий лист, включаючи теплообмін випромінюванням та конвекцією

$$dQ = 2c_0\varepsilon_c \left( \left( \frac{T_o}{100} \right)^4 - \left( \frac{T}{100} \right)^4 \right) S_{\text{л}} + 2\alpha(T_o - T)S_{\text{л}} dt, \quad (3)$$

Преобразувавши формулу (3), отримаємо

$$c_c \rho_c \delta_c \frac{dT}{dt} = 2c_0 \varepsilon_c \left( \left( \frac{T_0}{100} \right)^4 - \left( \frac{T}{100} \right)^4 \right) + 2\alpha(T_0 - T), \quad (4)$$

где  $c_c$ ,  $\rho_c$  – теплоемкость и плотность стали,  $\delta_c$  – толщина листа стали.

Переносим в правую часть множитель  $c_c \rho_c \delta_c$ , получим

$$\frac{dT}{dt} = \frac{2}{c_c \rho_c \delta_c} \left( c_0 \varepsilon_c \left( \left( \frac{T_0}{100} \right)^4 - \left( \frac{T}{100} \right)^4 \right) + \alpha(T_0 - T) \right). \quad (5)$$

Коэффициент конвективной теплоотдачи  $\alpha$  для свободной конвекции определяется по формуле [1,2]

$$\alpha = \frac{Nu \lambda}{L}, \quad (6)$$

где  $Nu$  – число Нуссельта,  $\lambda$  – теплопроводность воздуха,  $L$  – высота области нагрева ( $L \approx 0,15$  м).

При этом число Нуссельта для свободной конвекции определяется по формуле [3]

$$Nu = \left[ 0,68 + 0,387(GrPr)^{1/6} / \left[ 1 + \left( \frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27} \right]^2 = \left[ 0,68 + 0,387 \left( \frac{(T - T_g)L^3 g Pr}{(T + T_g) \nu^2} \right)^{1/6} / \left[ 1 + \left( \frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27} \right]^2, \quad (7)$$

где  $Pr = 0,7$  – число Прандтля,  $Gr$  – число Грасгофа,  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости воздуха,  $g$  – ускорение свободного падения.

Число Грасгофа равно

$$Gr = \frac{\beta \Delta T L^3 g}{\nu^2}, \quad (8)$$

где  $\beta = \frac{1}{T}$  – коэффициент объемного расширения;  $\Delta T = |T - T_o|$ .

Из (6-8) видно, что коэффициент конвективного теплообмена  $\alpha$  зависит от температуры  $T$ . Решение нелинейного дифференциального уравнения (5) было проведено методом Рунге – Кутты.

На рис. 1 показана динамика изменения температуры модели сухой стенки горящего резервуара при охлаждении на окружающем воздухе в зависимости от времени при проведении эксперимента и вследствие проведенных теоретических расчетах.

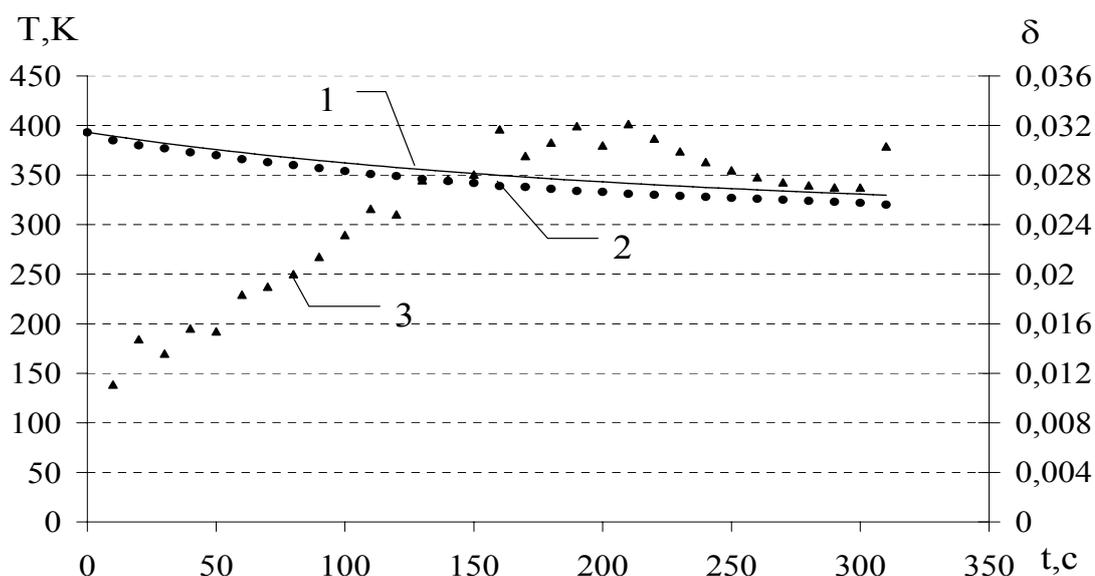


Рис. 1 – Динамика изменения температуры модели сухой стенки горящего резервуара при охлаждении на окружающем воздухе в зависимости от времени: 1 – теоретические расчеты, 2 – экспериментальные данные, 3 – погрешность  $\delta$  между экспериментальными данными и расчетными значениями

**Выводы.** Проведена экспериментальная проверка модели чрезвычайной ситуации техногенного характера на примере модели конвективного и лучистого теплообмена стенки горящего резервуара. Полученная погрешность составила около 3%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Басманов А.Е., Михайлюк А.А. Идентификация параметров модели чрезвычайной ситуации техногенного характера //

- Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: УЦЗУ, 2008. – Вип. 7. – С. 36–41.
2. Луканин В.Н., Шатров М.Г., Камфер Г.М. Теплотехника. – М.: Высшая школа, 2002. – 671 с.
  3. Churchill V.T. Bernstein M. A correlating equation for forced convection from gases and liquids to a circular cylinder in crossflow // J. Heat Transfer, 1977. – V. 99. – P. 300 – 306.  
nuczu.edu.ua

## УДК 355.77

*Ромин А.В., канд. техн. наук, зам. нач. фак., УГЗУ,  
Фесенко Г.В., канд. техн. наук, доц., УГЗУ,  
Попов В.М., канд. техн. наук, проректор, УГЗУ*

### **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТЕРЬ НАСЕЛЕНИЯ В ЗОНАХ ХИМИЧЕСКОГО ЗАРАЖЕНИЯ**

(представлено д-ром техн. наук Лариным А.Н.)

Рассмотрен порядок прогнозирования потерь населения в зонах химического заражения с учетом данных о местах пребывания людей в течение суток. Получены зависимости потерь числа пораженных от соотношения сельского и городского населения в районе заражения, а также от времени действия опасного химического вещества на людей с различными степенями защиты.

**Постановка проблемы.** Бурное развитие химической промышленности привело к тому, что на сегодняшний день в национальной экономике Украины функционирует около 1,6 тыс. объектов, на которые хранится или используется в производственной деятельности больше 330 тыс. т опасных химических веществ (ОХВ). Поскольку данные объекты невозможно изолировать от населенных пунктов, в зонах возможного химического заражения от них проживает около 14 млн. человек (около 32 % населения страны). Масштабность последствий химических аварий дает основание говорить об актуальности задачи прогнозирования потерь населения в зонах химического заражения. Полученные прогнозные оценки позволят разработать рекомендации по совершенствованию комплекса организационно-технических мероприятий, на-