

УДК 614.8

*Басманов А.Е., д-р техн. наук, гл. науч. сотр., УГЗУ,  
Михайлюк А.А., ад'юнкт, УГЗУ*

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА**

(представлено д-ром физ.-мат. наук Яковлевым С.В.)

Построены оценки параметров математической модели чрезвычайной ситуации техногенного характера на примере коэффициентов конвективной теплоотдачи 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 идентификации параметров 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. Важными параметрами модели такой ситуации являются коэффициенты конвективного теплообмена сухой стенки горящего резервуара с окружающим воздухом и газовым пространством резервуара. Без их оценки невозможно определение зон безопасного размещения личного состава, подвижной техники.

**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 только свободной конвекции. Случай же вынужденной конвекции (ветра) в работе не рассмотрен.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является оценка параметров математической модели чрезвычайной ситуации техногенного характера на примере пожара в резервуаре с нефтепродуктом, где в качестве параметров выступают коэффици-

енты конвективной теплоотдачи от нагретой стенки резервуара в окружающий воздух и газовое пространство резервуара.

Рассмотрим теплообмен сухой стенки резервуара при свободной конвекции. При свободной конвекции движение возникает под действием разности плотностей неравномерно нагретого воздуха. Если воздух находится в поле силы тяжести, то перепад плотностей может вызвать появление подъемных сил, приводящих среду (воздух снаружи резервуара или паровоздушную смесь внутри резервуара) в движение (гравитационная свободная конвекция).

При свободной конвекции в большом объеме движение среды обладает свойствами пограничного слоя, когда скорость и температура меняются в тонком слое около нагретой поверхности. В данном случае это сухая стенка горящего резервуара, которую можно рассматривать как вертикальную пластину [3].

Определим коэффициент теплоотдачи для свободной конвекции по формуле

$$\alpha = \frac{Nu\lambda}{L}, \quad (1)$$

где  $Nu$  – число Нуссельта,  $\lambda$  – теплопроводность воздуха,  $L$  – высота сухой стенки резервуара.

При свободной конвекции теплопроводность воздуха определяется по формуле, где в качестве определяющей берется средняя температура между температурой среды и поверхности

$$\lambda_m = \lambda_0 \left( \frac{T + T_s}{2T_0} \right)^n, \quad (2)$$

где  $T_0=273,15$  К,  $\lambda_0 = 2,44 \cdot 10^{-2}$  Вт/м·К,  $n=0,82$ ,  $T$  – температура стенки резервуара,  $T_s$  – температура воздуха.

Число Нуссельта определяется по формуле

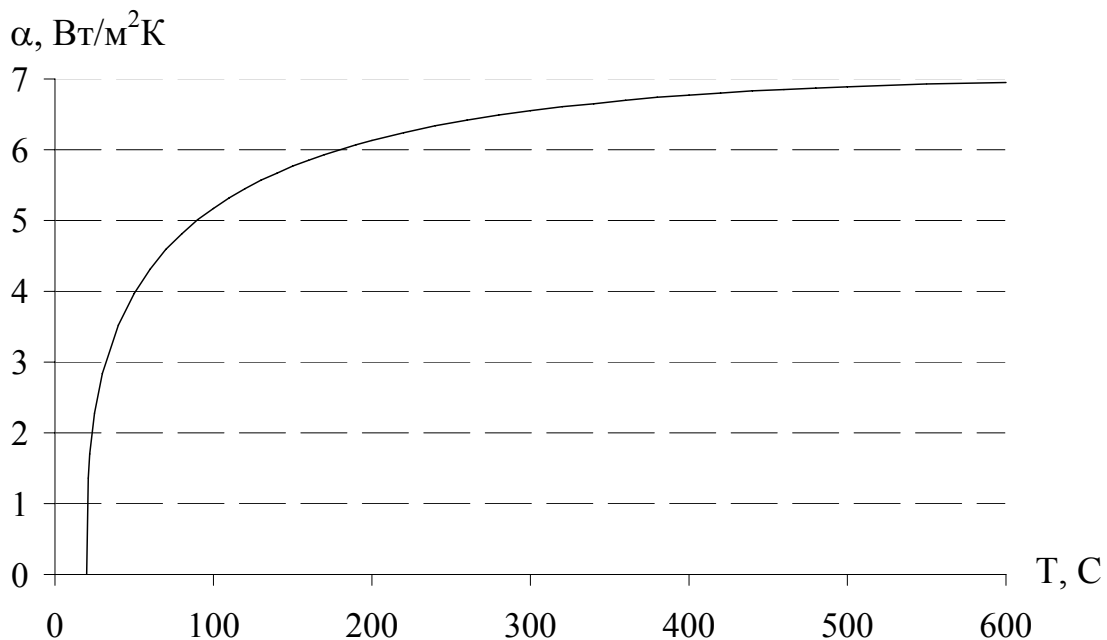
$$Nu = \left[ 0,68 + 0,387(Gr Pr)^{1/6} \right] / \left[ 1 + \left( \frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27} \Bigg]^2 =$$

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

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

Тепловое число Прандтля для газов практически не зависит от температуры, давления и определяется только атомностью газов. Для воздуха как двухатомного газа число Прандтля будет равно 0,7. С учетом того, что для воздуха число Прандтля  $Pr = 0,7$  и практически не зависит от температуры [3] зависимость для коэффициента конвективного теплообмена примет вид (рис.1)

$$\alpha = \left[ \frac{0,68}{\sqrt{L}} + 0,501 \left( \frac{(T - T_g)}{(T + T_g) \nu^2} \right)^{1/6} \right]^2 \lambda, \quad (4)$$



**Рис. 1 – Зависимость коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  от температуры сухой стенки горящего резервуара**

Пренебрегая влиянием первого слагаемого в формуле (4) по сравнению со вторым, получим

$$\alpha \approx 0,25 \lambda \sqrt[3]{\frac{T - T_6}{(T + T_6)v^2}}, \quad (5)$$

Рассмотрим теплообмен сухой стенки горящего резервуара при вынужденной конвекции. Вынужденная конвекция происходит под действием внешних сил. В рассматриваемом случае это обтекание резервуара окружающим воздухом под действием ветра. Определим коэффициент теплоотдачи по формуле

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

где  $D$  – диаметр резервуара.

Среднее по окружности число Нуссельта определяется по формуле [7]

$$Nu = 0,3 + \frac{0,62 \left(\frac{wD}{\nu}\right)^{0,5} Pr^{1/3} \left[1 + \left(\frac{wD}{282 \cdot 10^3 \nu}\right)^{5/8}\right]^{4/5}}{\left[1 + \left(\frac{0,4}{Pr}\right)^{2/3}\right]^{1/4}}, \quad (7)$$

где  $\frac{wD}{\nu} = Re$  – число Рейнольдса,  $w$  – скорость ветра.

Подставив  $Pr=0,7$ , получим

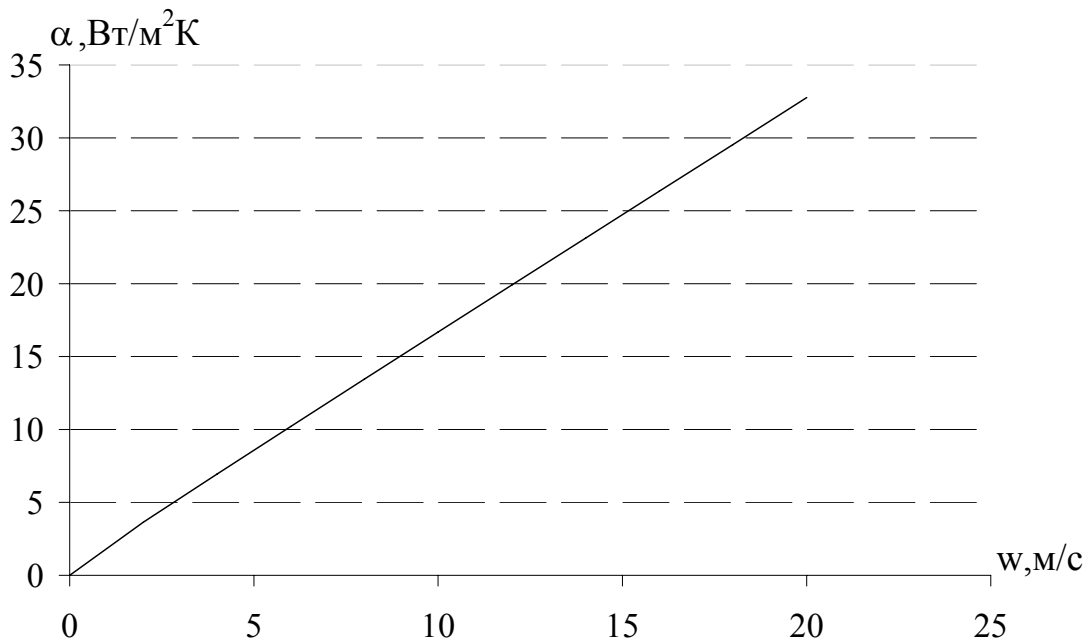
$$\alpha = \left[ \frac{0,3}{D} + 0,483 \left(\frac{w}{\nu}\right)^{1/2} \left[ \frac{1}{D^{5/8}} + 3,92 \cdot 10^{-4} \left(\frac{w}{\nu}\right)^{5/8} \right]^{4/5} \right] \lambda, \quad (8)$$

В отличие от свободной конвекции (2) теплопроводность воздуха при вынужденной конвекции определяется только его температурой

$$\lambda = \lambda_0 \left( \frac{T_{\epsilon}}{T_0} \right)^n, \quad (9)$$

На рис. 2 приведен график зависимости коэффициента конвективной теплоотдачи от скорости ветра для резервуара РВС-10000 ( $D=28,5$  м) при температуре окружающего воздуха  $T_{\epsilon} = 20^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом, коэффициент конвективной теплоотдачи пропорционален скорости ветра.



**Рис. 2 – Зависимость коэффициента конвективной теплоотдачи  $\alpha$  от скорости ветра**

Исходя из приведенных выше графиков, для скоростей ветра 3 м/с и больше, вынужденная конвекция превосходит свободную, поэтому при скоростях ветра до 3 м/с при расчетах коэффициента конвективной теплоотдачи  $\alpha$  конвекцию необходимо рассматривать как свободную, а при больших скоростях – как вынужденную.

**Выводы.** Построены оценки параметров математической модели чрезвычайной ситуации техногенного характера, связанной с пожаром в резервуаре с нефтепродуктом. Полученные оценки коэффициентов конвективной теплоотдачи в окружающий воздух показывают, что при скорости ветра менее 3 м/с свободная конвек-

ция преобладает над вынужденной, а при большей скорости ветра необходимо учитывать вынужденную конвекцию.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Моделирование нагрева сухой стенки горящего резервуара с нефтепродуктом. // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ, 2006. – Вып. 20. – С. 3–7.
2. 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.
3. Луканин В.Н., Шатров М.Г., Камфер Г.М. Теплотехника. – М.: Высшая школа, 2002. – 671 с.

## УДК 614.8

*Белов В.В., ст. преп., УГЗУ,  
Быков В.М., науч. сотр., ИРЭ НАНУ,  
Комяк В.А., канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., ИРЭ НАНУ,  
Комяк В.В., студент, УГЗУ*

### **О ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК ГАЗА НА ПОДВОДНЫХ УЧАСТКАХ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ** (представлена д-ром физ.-мат. наук Созником А.П.)

Рассматриваются возможности радиотепловых методов дистанционного зондирования по обнаружению утечек газа из подводных участков трубопроводов в зимний период времени за счет изменений электрофизических характеристик льда при наличии газовых вкраплений в ледяном покрове

**Постановка проблемы.** Наша страна обладает разветвленной сетью магистральных газопроводов как внутреннего, так и экспортного назначения, причем из-за наличия большого количества рек на этих газопроводах имеется значительное количество подводных участков. Диагностика состояния этих участков представляет достаточно сложную задачу и при отсутствии ледяного по-