

критичного значення, що, в свою чергу, дозволить розглядати можливі сценарії розвитку надзвичайної ситуації викиду небезпечних хімічних речовин та планувати дії аварійно-рятувальних підрозділів по її локалізації.

Цитована література

1. Маршалл В. Основные опасности химических производств. – М.: Мир, 1989. – 672 с.
2. Кірочкін О.Ю., Мурін М.М., Тютюнник В.В., Шевченко Р.І. Оцінка багатокритеріальної методики аналізу хімічно-небезпечного стану об'єктів та регіонів України // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2006. – №6. – С. 62-73.
3. Моніторинг надзвичайних ситуацій. Підручник./Абрамов Ю.О., Грінченко Є.М., Кірочкін О.Ю., Коротинський П.А., Миронець С.М. – Вид-во: АЦЗУ м. Харків, 2005. – 530с.
4. Защита атмосферы от промышленных загрязнений. Справочник. Изд.: В 2-х ч. Ч.2 Пер. с англ. /Под редакцией Калверта С., Инглунда Г.М., М.: Металлургия, 1998. – 712 с.
5. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий (ОНД-86). – Л.: Гидрометиздат, 1987.
6. Моделирование аварийных ситуаций на опасных производственных объектах. Программный комплекс ТОКСИ+ (версия 3.0): Сборник документов. Серия 27. Выпуск 5 /Колл. авт.–М.: Научно-технический центр по безопасности в промышленности, 2006. – 252 с.
7. Шматко А.В., Говаленков С.С. Алгоритм построения стохастической модели определения полей концентраций при выбросе химических веществ. // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2008. – №7. – С.177-183.
8. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г.И. Марчук. – М.: Наука, 1982.
9. Басманов А.Е. Математическая модель диффузии паров опасных химических веществ в воздухе / А.Е. Басманов, С.С. Говаленков // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: УЦЗУ, 2008. – Вип.8. – С. 29-39.

Басманов О.Є., Кулик Я.С., Саламов Дж.О.

ОЦІНКА КОЕФІЦІЄНТА КОНВЕКЦІЙНОГО ТЕПЛООБМІНУ СТІНКИ РЕЗЕРВУАРА ЗІ СТІКАЮЧОЮ ВОДНОЮ ПЛІВКОЮ

Основна небезпека пожежі в резервуарному парку з нафтопродуктами полягає в нагріві резервуара під тепловим впливом пожежі. Досягнення окремими елементами конструкції резервуара температури самоспалахування парів нафтопродукту, що зберігається, здатне призвести до спалахування парів на дихальній арматурі резервуара або до вибуху у газовому просторі резервуара. Саме тому охолодження резервуарів є ключовим питанням при локалізації пожежі в резервуарному парку. Одним із варіантів охолодження

стінок резервуарів під час пожежі є використання стаціонарних зрошувальних кілець.

В [1] побудовано модель теплового впливу пожежі в резервуарі на сусідній резервуар з нафтопродуктом, яка враховує променевий і конвекційний теплообмін, і розв'язано задачу про оптимальне розміщення пожежних стволів для охолодження резервуарів, які не горять. В роботі [2] на основі експерименту зі зменшеною моделлю стінки резервуара (площа охолодження $0,25 \text{ м}^2$) і пожежного ствола (діаметр насадка 13 мм , витрати води 4 л/с) побудовано оцінку коефіцієнта конвекційної тепловіддачі від стінки резервуара у стікаючу водну плівку. Але особливістю охолодження за допомогою водного струменя є відскок значної частини води від стінки (до 80% [3]) і нерівномірність товщини водної плівки, що утворюється. Це унеможливорює безпосереднє перенесення результатів, отриманих в [2], на випадок використання зрошувальних кілець.

Метою роботи є ідентифікація коефіцієнта конвекційного теплообміну стінки резервуара зі стікаючою по ній водною плівкою, утвореною зрошувальними кільцями.

Для водної плівки, що стікає по вертикальній стінці під впливом гравітації, число Рейнольдса визначається як

$$\text{Re} = \frac{I\rho_c}{\mu_c} = \frac{I}{\nu_c}, \quad (7)$$

де ρ_c – густина води; μ_c, ν_c – динамічна і кінематична в'язкість рідини.

Товщина водної плівки описується виразом [4]

$$\tilde{\delta} = \sqrt[3]{\frac{c_f \text{Re}^2}{2(1 - \rho''/\rho_c)}}, \quad (8)$$

де $\tilde{\delta} = \delta \left(\frac{g}{\nu_c^2} \right)^{1/3}$ – безрозмірна товщина плівки; g – прискорення вільного падіння; c_f – коефіцієнт тертя плівки зі стінкою резервуара; ρ'' – густина газового середовища. Оскільки густина води на 3 порядки перевищує густину повітря, вираз (8) може бути спрощений:

$$\delta^3 \frac{g}{\nu_c^2} = \frac{c_f \text{Re}^2}{2}.$$

Підстановка виразу для коефіцієнта тертя c_f дає [4]:

$$\delta = \left(\frac{0,0582 \nu_c^2}{2} \frac{I^2}{g} \text{Re}^{1,8} \right)^{1/3} = 0,308 \left(\frac{\nu_c^2}{g} \right)^{1/3} \text{Re}^{0,6} = 0,308 \frac{\nu_c^{2/3-0,6}}{g^{1/3}} I^{0,6} \cong 0,144 \nu_c^{0,067} I^{0,6} \quad (9)$$

В [5] наведено залежність кінематичної в'язкості води від її температури у вигляді таблиці. Ця залежність може бути апроксимована степеневою функцією

$$v_c = 3,16 \cdot 10^{-4} \left(\frac{T_c}{100} \right)^{-5,3489}, \quad (10)$$

де T_c – температура водної плівки. Похибка такої апроксимації не перевищує 7,5% в діапазоні значень температури $T_c = (10 \div 100)^\circ C$. Тоді [4]

$$\delta \cong 0,055 I^{0,6}. \quad (11)$$

Швидкість руху водної плівки w_c визначається співвідношенням

$$w_c = \frac{I}{\delta} \cong 18,2 I^{0,4}. \quad (12)$$

Значення коефіцієнта конвекційної тепловіддачі від стінки резервуара у водну плівку α_c може бути знайдене із співвідношення [5]

$$\frac{\alpha_c}{\lambda_c} \left(\frac{v_c^2}{g} \right)^{1/3} = 0,023 \text{Re}^{0,25} \text{Pr}^{0,5}, \quad (13)$$

де λ_c – коефіцієнт теплопровідності води; Pr – число Прандтля води. Після підстановки (7) в вираз (13) останній перетворюється на [4]

$$\alpha_c = 0,023 \lambda_c \frac{g^{1/3}}{v_c^{2/3+0,25}} \text{Pr}^{0,5} I^{0,25}. \quad (14)$$

Враховуючи, що такі характеристики води, як кінематична в'язкість v_c , коефіцієнт теплопровідності λ_c і число Прандтля Pr , залежать від температури [5], замінимо залежність (14) на [4]

$$\alpha_c = (238,53 T_c - 45098) I^{0,25}. \quad (15)$$

Аналіз співвідношення (15) показує, що в діапазоні температур водної плівки $T_c = (10 \div 100)^\circ C$ і інтенсивності подачі води $I = (1,2 \div 4,0) \text{ л/м} \cdot \text{с}$ коефіцієнт тепловіддачі належить діапазону $(4,2 \div 11,0) \text{ кВт/м}^2 \text{К}$. Причому залежність $\alpha_c(T_c, I)$ має майже лінійний характер.

Отже, побудовано оцінку коефіцієнта конвекційної тепловіддачі від стінки резервуара у водну плівку, утворену зрошувальними кільцями. Показано, що товщина водної плівки пропорційна $I^{0.6}$, швидкість стікання – $I^{0.4}$, коефіцієнт конвекційної тепловіддачі – $I^{0.25}$, де I – інтенсивність зрошення. Отримані результати можуть бути використані при побудові моделі охолодження резервуара в умовах пожежі.

Цитована література

1. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в резервуарных парках с нефтепродуктами. – Харьков: АГЗУ, 2006. – 256 с.
2. Абрамов Ю.А. Моделирование пожаров, их обнаружения, локализации и тушения / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов, А.А. Тарасенко. – Харьков: НУГЗУ, 2011. – 927 с.
3. Басманов А.Е. Взаимодействие водной струи со стенкой резервуара при его охлаждении в условиях пожара / А.Е. Басманов, А.А. Михайлюк // Проблемы пожарной безопасности. – 2009. – №25. – С. 14-20.
4. Vasmanov O. Estimation of the convective heat transfer coefficient for tank shell covered with falling water film / O. Vasmanov, Y. Kulik. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/446>.
5. Теплотехника / [Луканин В.Н., Шатров М.Г., Камфер Г.М. и др.]; под ред. В.Н. Луканина. – М.: Высш. шк., – 2002. – 671 с.

Басманов О.Є., Михайлюк А.О., Кулакова А.О.

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА КОНВЕКЦІЙНОЇ ТЕПЛОВІДДАЧІ У ВОДНУ ПЛІВКУ ПРИ ОХОЛОДЖЕННІ РЕЗЕРВУАРА

Першочерговою задачею пожежно-рятувальних підрозділів, що беруть участь в локалізації і ліквідації пожежі нафтопродукту в резервуарі, є охолодження цього резервуара. Однією з проблем, що виникають при цьому, є визначення необхідної інтенсивності подачі води.

В [1] побудовано модель охолодження резервуара водними струменями, а в [2] – модель взаємодії водного струменя з вертикальною поверхнею.

Метою роботи є експериментальне визначення коефіцієнта конвекційної тепловіддачі у водну плівку при охолодженні пожежними столами резервуара, що горить.

При проведенні експерименту в якості моделі сухої стінки резервуара, що горить, використовувався сталевий лист (густина $\rho = 7880 \text{ кг/м}^3$, теплоємність $c_c = 440 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$, товщина 2 мм). Нагрів листа відбувався завдяки горінню бензину в піддоні. Вода подавалася за допомогою насоса і пожежного ствола РС-50 (діаметр насадка 13 мм). Температура листа вимірювалася термопарою (мультиметр ДТ-838). Площа нагріву складала