

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЖАРА В ОБВАЛОВАНИИ НА РЕЗЕРВУАР С НЕФТЕПРОДУКТОМ

Басманов А. Е.,

Кулик Я. С.,

*Национальный университет гражданской защиты Украины,
г. Харьков*

Постановка проблемы. Пожар в обваловании резервуара с нефтепродуктом представляет особую опасность в связи с угрозой нагрева стенок резервуара до температуры самовоспламенения нефтепродукта, могущего привести к взрыву паровоздушной смеси. Поэтому для проектирования системы пожаротушения необходимо оценить время, в течение которого должно быть начато охлаждение стенок резервуара, либо ликвидирован пожар в обваловании. Таким образом, возникает необходимость в построении модели теплового воздействия пожара в обваловании на резервуар с нефтепродуктом.

Анализ последних исследований и публикаций. Пожар в обваловании и его воздействие на резервуар с нефтепродуктом рассмотрен в работе [4]. Но построенная в ней модель учитывает лишь лучистую передачу тепла от факела к стенке резервуара, а конвективная составляющая не учтена. В работе [2] построены оценки скорости и температуры восходящих потоков над горящим разливом жидкости, но не рассматривается их воздействие на окружающие объекты.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является построение математической модели нагрева стенки резервуара, не соприкасающейся с налитым в него нефтепродуктом, под тепловым воздействием пожара в обваловании.

Рассмотрим малую область Δ площадью S на сухой стенке резервуара (не соприкасающейся с налитым в резервуар нефтепродуктом). Она участвует в теплообмене (рис. 1):

- теплообмене излучением с факелом – q_1 ;
- конвективном теплообмене с восходящими воздушными потоками над факелом – q_2 ;
- теплообмене излучением с внутренним пространством резервуара – q_3 ;
- конвективном теплообмене с паровоздушной смесью в газовом пространстве резервуара – q_4 .

Тепловой поток излучением от факела определяется законом Стефана-Больцмана [3]:

$$q_1 = c_0 \varepsilon_\phi \varepsilon_c \left[\left(\frac{T_\phi}{100} \right)^4 - \left(\frac{T}{100} \right)^4 \right] N_\phi + c_0 \varepsilon_c \left[\left(\frac{T_0}{100} \right)^4 - \left(\frac{T}{100} \right)^4 \right] N_0,$$

где $c_0 = 5,67 \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$; ε_ϕ , ε_c – степени черноты поверхностей пламени и стенки резервуара; T_ϕ – температура излучающей поверхности пламени; T – температура стенки резервуара; T_0 – температура окружающей среды; N_ϕ , N_0 – площади взаимного облучения области Δ с пламенем и окружающей средой.

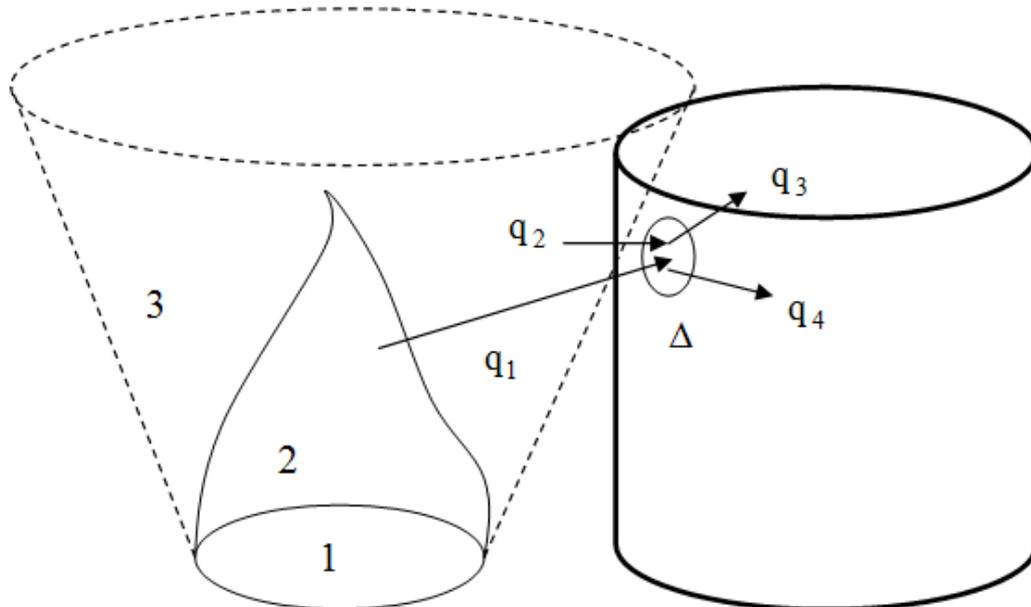


Рис. Теплообмен стенки резервуар при пожаре в обваловании:
1 – разлив; 2 – факел; 3 – восходящие воздушные потоки над очагом горения

По закону Ньютона [3], тепловой поток, получаемый областью Δ путем конвективного теплообмена с восходящими воздушными потоками над очагом горения, равен

$$q_2 = \alpha_2 S (T_b - T),$$

где α_2 – коэффициент конвективного теплообмена; T_b – температура воздушной среды в месте соприкосновения с областью Δ .

Тепловой поток излучением, уходящий от нагреваемой стенки во внутреннее пространство резервуара, имеет вид

$$q_3 = c_0 \varepsilon_c \left[\left(\frac{T_0}{100} \right)^4 - \left(\frac{T}{100} \right)^4 \right] S.$$

Конвективный тепловой поток, уходящий в паровоздушную смесь в газовом пространстве резервуара, равен

$$q_4 = \alpha_4 S (T_0 - T).$$

Общее количество тепла, получаемое областью Δ за промежуток времени dt , идет на ее нагрев на температуру dT :

$$\sum_{i=1}^4 q_i dt = mcdT = \rho VcdT = \rho S\delta cdT,$$

где m , V – масса и объем рассматриваемой области Δ ; δ – толщина стенки резервуара; ρ , c – плотность и теплоемкость стали.

Тогда динамика изменения температуры области Δ описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{dT}{dt} = \frac{c_0 \varepsilon_\phi \varepsilon_c}{\rho \delta c} \left[\left(\frac{T_\phi}{100} \right)^4 - \left(\frac{T}{100} \right)^4 \right] \psi + \frac{c_0 \varepsilon_c}{\rho \delta c} \left[\left(\frac{T_0}{100} \right)^4 - \left(\frac{T}{100} \right)^4 \right] (1 - \psi) +$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\alpha_2(T_B - T)}{\rho\delta c} + \frac{c_0\varepsilon_c}{\rho\delta c} \left[\left(\frac{T_0}{100} \right)^4 - \left(\frac{T}{100} \right)^4 \right] + \frac{\alpha_4(T_0 - T)}{\rho\delta c} = \\
& = \frac{c_0\varepsilon_\phi\varepsilon_c}{\rho\delta c} \left[\left(\frac{T_\phi}{100} \right)^4 - \left(\frac{T}{100} \right)^4 \right] \psi + \frac{c_0\varepsilon_c}{\rho\delta c} \left[\left(\frac{T_0}{100} \right)^4 - \left(\frac{T}{100} \right)^4 \right] (2 - \psi) + \\
& \quad + \frac{\alpha_2(T_B - T)}{\rho\delta c} + \frac{\alpha_4(T_0 - T)}{\rho\delta c}, \tag{1}
\end{aligned}$$

где ψ – локальный коэффициент облучения факелом, рассчитанный для центра области Δ ,

$$\psi = \lim_{S \rightarrow 0} H_0/S.$$

Значение коэффициентов конвективного теплообмена α_2 и α_4 может быть определено из выражения

$$\alpha = \frac{Nu\lambda}{L},$$

где λ – коэффициент теплопроводности воздуха; L – характерный размер; Nu – число Нуссельта.

Для вынужденного конвективного теплообмена (с восходящими над очагом горения воздушными потоками), значение числа Нуссельта может быть оценено из соотношения [3]

$$Nu = 0,0364Re^{0,8} Pr^{0,4} \varepsilon_t,$$

где Re – число Рейнольдса:

$$Re = wL/\nu;$$

W – скорость движения воздушного потока, соприкасающегося с областью Δ ; ν – кинематическая вязкость воздуха; $Pr \approx 0,7$ – число Прандтля воздуха; ε_t – поправочный коэффициент:

$$\varepsilon_t = \begin{cases} (\mu_f/\mu_w)^{0,11}, & T < T_B \\ (\mu_f/\mu_w)^{0,25}, & T > T_B, \end{cases}$$

μ_f , μ_w – динамическая вязкость воздуха при температурах T_B и T соответственно.

Тогда оценка коэффициента конвективного теплообмена с восходящими воздушными потоками примет вид:

$$\alpha_2 = \lambda \frac{0,0364(wL)^{0,8} Pr^{0,4} \varepsilon_t}{Lv^{0,8}} = \frac{0,0364\lambda w^{0,8} Pr^{0,4} \varepsilon_t}{L^{0,2} v^{0,8}}.$$

При этом параметры λ , Pr , ν являются функциями температуры воздушного потока.

В [2] построены оценки для скорости и температуры восходящих потоков над очагом горения:

$$\frac{T_B - T_0}{T_\phi - T_0} = \sqrt{\frac{w}{u_0}} = \sqrt{f\left(\frac{r_1}{r_1 + r_2}\right)},$$

где u_0 – скорость конвективных потоков в факеле; r_1 – расстояние до границы ядра струи; r_2 – расстояние до границы восходящих воздушных потоков (рис.); f – таблично заданная функция [1, 2].

Вводя обозначение

$$\varphi = f\left(\frac{r_1}{r_1 + r_2}\right),$$

запишем слагаемое, характеризующее вклад конвективного теплообмена с восходящим воздушным потоком, в виде

$$\frac{\alpha_2(T_b - T)}{\rho\delta c} = \frac{1}{\rho\delta c} \frac{0,0364\lambda(u_0\varphi)^{0,8} \text{Pr}^{0,4} \varepsilon_t [(T_\phi - T_0)\sqrt{\varphi} + T_0 - T]}{L^{0,2}v^{0,8}}. \quad (2)$$

Для свободного конвективного теплообмена (с паровоздушной смесью в газовом пространстве резервуара) значение числа Нуссельта определяется из соотношения [3]

$$\text{Nu} = 0,135(\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{1/3},$$

где Gr – число Грасгофа:

$$\text{Gr} = \frac{\beta\Delta T L^3 g}{\nu^2},$$

где $\Delta T = T - T_0$; β – температурный коэффициент объемного расширения воздуха; g – ускорение свободного падения.

Тогда слагаемое в (1), соответствующее конвективному теплообмену с паровоздушной смесью, примет вид

$$\frac{\alpha_4(T_0 - T)}{\rho\delta c} = -0,135 \frac{\lambda}{\rho\delta c} \left(\frac{g\text{Pr}}{\Gamma\nu^2}\right)^{1/3} (T - T_0)^{4/3}. \quad (3)$$

Дифференциальное уравнение (1) с учетом соотношений (2)-(3) и начального условия $T(0) = T_0$ определяет динамику изменения температуры произвольно выбранной точки на сухой стенке резервуара.

Выводы. Построена математическая модель нагрева сухой стенки резервуара с нефтепродуктом при пожаре в его обваловании. Модель учитывает лучистый теплообмен с факелом и конвективный теплообмен с поднимающимся над очагом горения воздушным потоком.

Библиографический список

1. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй / Г. Н. Абрамович. – М.: Физматгиз, 1960. – 715 с.
2. Басманов А. Е. Оценка параметров воздушного потока, поднимающегося над горящим разливом произвольной формы / А. Е. Басманов, Я. С. Кулик // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУГЗУ, 2013. – № 33. – С. 17-21.
3. Луканин В. Н. Теплотехника / В. Н. Луканин, М. Г. Шатров, Г. М. Камфер и др. – М.: Высш. шк., – 2002. – 671 с.

4. Улинец Э. М. Математическая модель теплового воздействия пожара разлива нефтепродукта на резервуар / Э. М. Улинец // Проблемы пожарной безопасности. – 2008. – Вып. 24. – С. 227-231.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ АДСОРБЕНТОВ ДЛЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Бобрышева С. Н.,

Журов М. М.,

Шингирей К. В.,

Гомельский инженерный институт МЧС Республики Беларусь, г. Гомель

Освоение природных ресурсов и применение их для очистки природных систем от загрязнений нефти и нефтепродуктов (далее НП) является актуальным. Принято выделять физические (механическое, радиоактивное, световое, шумовое, электромагнитное и тепловое), биологические (биотическое, микро- и макробиологическое) и химические загрязнения биосферы. Особый интерес вызывают загрязнения НП гидросферы, требующие оптимизации процесса ликвидации разливов НП на водных средах. Загрязнение воды НП происходит при добыче, транспортировке и переработке нефти, а также в результате стока сточных вод, загрязненных НП. [1-3].

Ликвидация аварийных разливов включает локализацию нефтяного пятна, сбор основной массы разлитой нефти с поверхности воды с последующей ликвидацией остаточной пленки [4]. Известны механические, физико-химические, химические, биохимические методы для очистки воды от НП. Из физико-химических методов большой интерес представляет адсорбция.

Беларусь обладает богатейшими залежами минеральных ископаемых и реальными возможностями их добычи и использования в качестве адсорбентов. Их адсорбционные свойства определяются в основном специфическим строением каркаса кристаллической решетки и развитой межфазной поверхностью. Указанные природные минералы, обладают высокоразвитой внутренней поверхностью, способностью к набуханию, а также устойчивостью к воздействию внешней среды. Этим требованиям соответствуют глины отечественных разработок месторождений Гомельской и Могилевской области, обладающие слоистой структурой породообразующего минерала, развитой удельной поверхностью и склонностью к принудительному диспергированию – глины бентонитового класса. К бентонитам относятся тонкодисперсные высокопластичные глины, основную роль в составе которых играет монтмориллонит. Способность монтмориллонита приобретать определенную степень дисперсности и склонность к принудительному диспергированию под действием внешних нагрузок позволяет представить глины как твердотельную матрицу с высокой возможностью модификации [5].

Для обеспечения эксплуатационных свойств адсорбентов проводят модификацию различными веществами, одной из целей которой может являться