

УДК 614.8

*А.Е. Басманов, д-тор. техн. наук, проф., гл. научн. сотр., НУГЗУ,
А.А. Михайлюк, канд. техн. наук, научн. сотр. НУГЗУ*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА ВОДНОЙ ПЛЕНКИ,
СТЕКАЮЩЕЙ ПО СТЕНКЕ РЕЗЕРВУАРА**

Построена математическая модель нагрева водной пленки, стекающей по стенке резервуара при охлаждении его из пожарного ствола.

Ключевые слова: резервуар, охлаждение, водная пленка.

Постановка проблемы. Пожар в резервуаре с нефтепродуктом характеризуется выделением значительного количества тепла и наличием высоких температур. Так, например, сухая стенка горящего резервуара нагревается до температуры порядка 800°C. В отсутствие охлаждения или его недостатке это приводит к деформации сухой стенки резервуара и образованию изолированных очагов горения, подача пены в которые практически невозможна. Поэтому оценка теплоотдачи от стенки в воду при охлаждении резервуара пожарными стволами необходима для эффективной локализации и ликвидации пожара.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросам струйного охлаждения в технологических аппаратах посвящен ряд работ, в частности [4], но в них рассматривается ламинарное истечение воды из устройств подачи в предположении, что проводится равномерное охлаждение резервуара по всему периметру. В случае охлаждения резервуара струями воды из пожарных стволов это не так [1].

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является построение модели нагрева водной пленки, стекающей по стенке резервуара. В [2] показано, что распределение температуры по высоте сухой стенки резервуара носит линейный характер:

$$T_c(y) = T_2 + \frac{T_1 - T_2}{h} y, \quad (1)$$

где T_1 – температура в нижней части сухой стенки; T_2 – температура верхней кромки сухой стенки; h – высота сухой стенки; y – расстояние от верхней кромки; T_c – температура стенки в точке y .

Оценим температуру воды, стекающей по стенке. Для этого рассмотрим элементарный объем воды Δm , толщиной δ и площадью контакта ΔS со стенкой, движущийся с постоянной скоростью w по поверхности, имеющей температуру $T_c(y)$ – рис. 1.

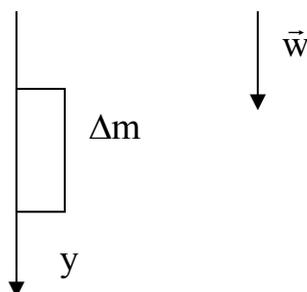


Рис. 1 – Движение элементарного объема воды по вертикальной поверхности с постоянной скоростью

Тепловой поток от стенки в рассматриваемый элементарный объем воды составляет:

$$q(y) = \Delta S \alpha (T_c(y) - T(y)), \quad (2)$$

где α – коэффициент теплоотдачи; $T(y)$ – температура элементарного объема воды.

Полученное тепло идет на увеличение температуры элементарного объема воды на величину:

$$dT = \frac{q}{c \Delta m} dt, \quad (3)$$

где c – теплоемкость воды.

Объединяя (2) и (3), получим:

$$dT = \frac{\Delta S \alpha (T_c(y) - T(y))}{c \Delta m} dt. \quad (4)$$

Для рассматриваемого объема воды можно записать:

$$\Delta m = \rho \Delta V = \rho \Delta S \delta,$$

где ρ , ΔV – плотность и объем рассматриваемого элементарного объема воды.

Толщина водной пленки δ связана со скоростью стекания w , коэффициентом использования $K_{\text{исп}}$ и интенсивностью подачи I , $\text{м}^3/\text{с}$, соотношением:

$$\delta = \frac{I \cdot K_{\text{исп}}}{w \cdot \pi D},$$

где D – диаметр резервуара, а под коэффициентом использования $K_{\text{исп}}$ понимается доля поданной стволем воды, стекающей по стенке резервуара.

Тогда

$$\Delta m = \frac{\rho \Delta S I K_{\text{исп}}}{w \pi D}. \quad (5)$$

Подстановка (5) в (4) дает:

$$dT = \frac{\alpha \pi D T_c(y) - T(y)}{c \rho I} w dt.$$

Поскольку $w dt$ есть перемещение dy вдоль вертикальной оси, то

$$\frac{dT}{dy} = \frac{\alpha \pi D}{c \rho I} (T_c(y) - T(y)). \quad (6)$$

Полученное уравнение определяет температуру воды в зависимости от расстояния y от верхней кромки резервуара. При этом начальное условие будет иметь вид:

$$T(0) = T_0,$$

где T_0 – начальная температура воды.

Введем обозначение:

$$a = \frac{\alpha \pi D}{c \rho I}.$$

Тогда уравнение (6) примет вид:

$$\frac{dT}{dy} = a(T_c(y) - T(y)). \quad (7)$$

Решая его, получим:

$$T(y) = \left(a \int_0^y T_c(y) \exp(ay) dy + C \right) \exp(-ay). \quad (8)$$

где C – произвольная постоянная.

С учетом начального условия $T(y) = T_0$, окончательно получим:

$$T(y) = \left(a \int_0^y T_c(y) \exp(ay) dy + T_0 \right) \exp(-ay).$$

Тогда, при линейном распределении температур по стенке вида (1) температура стекающей воды в нижней части сухой стенки высотой h будет равна:

$$T = \frac{1}{a} (T_1 a - T_1 + T_2 + (T_1 - T_2(1 + a) + T_0 a) \exp(-a)).$$

В качестве примера на рис. 2 приведена зависимость температуры воды от расстояния от верхней кромки резервуара РВС-5000 с горящим мазутом при высоте сухой стенки $h = 2,5$ м при его охлаждении 9 стволами А под напором $h_b = 40$ м.

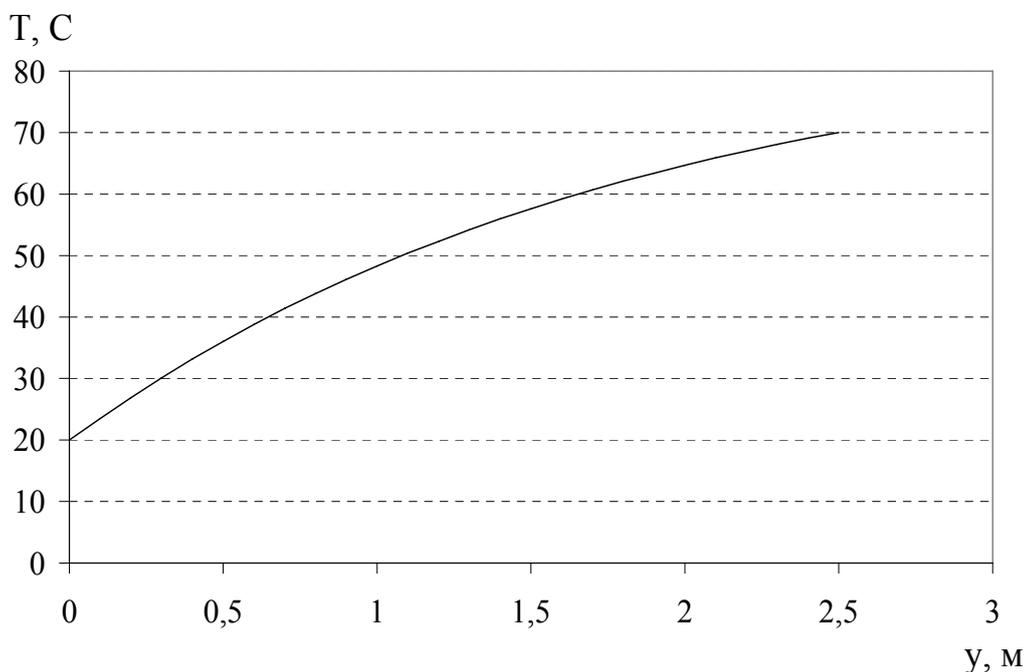


Рис. 2 – Зависимость температуры стекающей воды от расстояния до верхней кромки резервуара РВС–5000 с горящим мазутом при высоте сухой стенки $h = 2,5$ м при его охлаждении 9 стволами А под напором $h_b = 40$ м (расход воды одним стволом 7,4 л/с; $T_0 = 20^\circ\text{C}$; $\alpha = 664 \text{ ВТ/м}^2$; $K_{\text{исп}} = 0,3$)

Таким образом, охлаждение обеспечивает отведение тепла со средней интенсивностью

$$q = \frac{(T_{\max} - T_0) \cdot I \cdot K_{\text{исп}}}{\pi D \cdot h_c},$$

где T_{\max} – температура воды в нижней части сухой стенки резервуара.

Выводы. Построена модель нагрева водной пленки стекающей по стенке резервуара, позволяющая оценить количество тепла, забираемое водой от нагретой стенки и тем самым оценить охлаждающее действие воды. Полученные результаты могут быть использованы для построения модели охлаждения резервуара струями воды и оценки необходимой интенсивности подачи воды на охлаждение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в резервуарных парках с нефтепродуктами / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов. – Харьков: УГЗУ, 2006. – 256 с.
2. Басманов А.Е. Математическая модель нагрева сухой стенки горящего резервуара с нефтепродуктом / А.Е. Басманов, А.А. Михайлюк // Проблемы пожарной безопасности. – 2008. – №23. – С. 35–40.
3. Кутателадзе С.С. Гидродинамика газожидкостных систем / С.С. Кутателадзе, М.А. Стырикович. – М.: Энергия, 1976 – 296 с.
4. Воронцов Е.Г. Методы расчета и исследования пленочных процессов / Е.Г. Воронцов, Ю.М. Тананайко. – Киев: Техника, 1975. – 311 с.

nuczu.edu.ua

О.Є. Басманов, А.О. Михайлюк

Моделювання нагріву водної плівки, що стікає по стінці резервуару.

Побудована математична модель нагріву водної плівки, що стікає по стінці резервуару при його охолодженні з пожежного ствола.

Ключові слова: резервуар, охолодження, водна плівка.

A.E. Basmanov, A.O. Mykhailiuk

Modelling of heating water film flowing along the side of the tank.

A mathematical model of heating water film flowing along the side of the tank when it is cooled from the fire barrel.

Keywords: reservoir, cooling, water film.