

Липовой В.А.<sup>1</sup>

Решение задачи теплообмена при струйной очистке резервуаров от остатков нефтепродуктов

<sup>1</sup> Липовой Владимир Александрович, адъюнкт,  
Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков

**Аннотация:** В работе предложено численное решение задачи процессов теплообмена при струйной очистке резервуаров от остатков нефтепродуктов нагретым раствором технических моющих средств, что позволяет определять параметры взрывопожароопасности процесса очистки.

**Ключевые слова:** взрывопожароопасность, тепловой обмен, концентрация паров нефтепродукта.

**Постановка проблемы.** Для обеспечения взрывопожароопасности процессов очистки резервуаров от остатков нефтепродуктов необходимо знать время проведения технологических операций, на протяжении которого будет происходить испарение нефтепродукта в свободный объем резервуара, что в конечном итоге позволит определять их концентрацию и оценивать взрывопожароопасность процесса. Это позволяет выполнить одно из направлений системы предупреждения пожаров - поддержание безопасной концентрации среды в соответствии с нормами и правилами и другими нормативно-техническими, нормативными документами и правилами безопасности [1].

**Анализ последних достижений и публикаций.** Очистка резервуаров от остатков нефтепродуктов – довольно часто повторяющаяся технологическая операция, от которой в значительной степени зависит безопасность и эффективность эксплуатации резервуарного парка в Украине.

Нормативные документы устанавливает следующие сроки проведения периодической очистки резервуаров: не менее двух раз в год - для топлива к реактивным двигателям, авиационных бензинов, авиационных масел и их компонентов; не менее одного раза в год - для присадок к смазочным маслам и масел с присадками; не менее одного раза в два года - для остальных масел, автомобильных бензинов, дизельных топлив, парафинов и других аналогичных им по свойствам нефтепродуктов [2]. Кроме того, очистка резервуаров необходима при смене сорта нефтепродукта, при освобождении от пирофорных отложений, ржавчины, воды, высоковязких осадков с наличием минеральных загрязнений, а также для проведения комплексной дефектоскопии, очередных или внеочередных ремонтов.

Очистка резервуаров от остатков нефтепродуктов, как правило, производится ручным или механизированным способами. При этом не существует методик оценки взрывопожароопасности этих процессов.

Состав нефтеостатка может быть различным и содержать углеводородные соединения, свободную воду, связанную в эмульсиях воду, механические примеси, некоторые элементы в свободном виде или в виде химических соединений. Наиболее эффективными являются химикомеханизированные способы очистки резервуаров за счет комплексного воздействия физико-химического, термического и механического воздействия моющей жидкости на остатки нефтепродуктов [3, 4].

**Постановка задачи и ее решение.** При проведении операций химико-механизированного способа очистки резервуаров от остатков нефтепродуктов происходит интенсификация процессов испарения нефтепродукта в свободный объем резервуара, в том числе и за счет подвода тепла нагретым раствором технического моющего средства.

При термическом воздействии струи технического моющего средства на остатки нефтепродуктов в резервуаре происходит нагревание нефтеостатка, в результате чего концентрация взрывопожароопасных паров нефтепродукта внутри резервуара повышается. Необходимо дать количественную оценку процессу насыщения свободного пространства резервуара парами нефтепродукта. Это можно сделать, зная время проведения процесса очистки.

Процесс термического нагревания нефтеостатка в резервуаре можно описать:

– уравнением теплового обмена нефтеостатка

$$Q_{m1}c(T - T_1)\partial f = M_1c_1\partial T_1 + \alpha_2 S_2(T_1 - T_2)\partial f + \alpha_3 S_3(T_1 - T_3)\partial f + \frac{\lambda}{\delta} S_4(T_1 - T_4)\partial f + M_1 l \partial x \quad (1)$$

– уравнением теплового обмена паровоздушной среды внутри резервуара

$$Q_{m2}c(T - T_2)\partial f + \alpha_2 S_2(T_1 - T_2)\partial f = M_2 c_2 \partial T_2 + \alpha_5 S_5(T_2 - T_3)\partial f \quad (2)$$

– уравнением теплового обмена корпуса резервуара

$$\alpha_3 S_3(T_1 - T_3)\partial f + \alpha_5 S_5(T_2 - T_3)\partial f = M_3 c_3 \partial T_3 + \alpha_6 S_6(T_3 - T_6)\partial f \quad (3)$$

где:  $Q_{m1}, Q_{m2}$  – массовая производительность подачи нагретого моющего раствора, приходящаяся на нефтеостаток и паровоздушную смесь резервуара, соответственно, кг/с;

$c, c_1, c_2, c_3$  – удельная теплоемкость моющего раствора, нефтеостатка, паровоздушной среды и корпуса резервуара, соответственно, Дж/(кг·К);

$T, T_1, T_2, T_3, T_4, T_6$  – температура моющего раствора, нефтеостатка, паровоздушной среды, корпуса резервуара, основания и окружающей среды, соответственно, К;

$\alpha_2, \alpha_3, \alpha_5, \alpha_6$  – коэффициент теплообмена нефтеостатка и паровоздушной среды резервуара, нефтеостатка и корпуса резервуара, паровоздушной среды и корпуса резервуара, корпуса резервуара и окружающей среды, соответственно, Дж/(м<sup>2</sup>·с·К);

$S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$  – площадь теплообмена нефтеостатка и паровоздушной среды резервуара, нефтеостатка и корпуса резервуара, нефтеостатка и основания, паровоздушной среды и корпуса резервуара, корпуса резервуара и окружающей среды, соответственно, м<sup>2</sup>;

$\tau$  – время протекания процесса, с;

$M_1, M_2, M_3$  – масса нефтеостатка, паровоздушной среды и корпуса резервуара, соответственно, кг;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности основания, Дж/(м·с·К);

$\delta$  – толщина основания, м;

$l$  – удельная теплота плавления парафина, Дж/кг;

$x$  – массовая доля парафина в нефтеостатке, безразмерная.

Принимается условие, что  $Q_{m1}, Q_{m2}, M_1, M_2, M_3, c, c_1, c_2, c_3, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_5, \alpha_6, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, T, T_4, T_6, \lambda, \delta$  – величины постоянные.

В результате решения системы дифференциальных уравнений 1-го порядка (1 - 3) получена зависимость температуры смеси нефтеостатка с моющим раствором  $T_1$  от длительности процесса нагревания  $\tau$  (время проведения очистки)

$$T_1 = \frac{z_2}{z_1 - z_2} (T_1^\infty - T_1^0) e^{z_1 \tau} - \frac{z_1}{z_1 - z_2} (T_1^\infty - T_1^0) e^{z_2 \tau} + T_1^\infty \quad (4)$$

где  $z_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4C}}{2}$  – корни характеристического уравнения.

В уравнение (4) введено значение температуры  $T_1^\infty$ , которой достигает смесь нефтеостатка с моющей жидкостью при её бесконечно длительной циркуляции. Она определяется зависимостью

$$T_1^\infty = \frac{j_5 + j_2 j_4}{1 - j_1 j_4} \quad (5)$$

где  $j_i$  – значения коэффициентов, полученные в ходе решения системы уравнений (1-3).

Равновесное состояние системы (корпус резервуара – нефтеостаток - внутренний объем резервуара) в начале процесса, когда нет подвода тепла, характеризуется равенством температур  $T^0 = T_1^0 = T_2^0$ , которые определяются зависимостью

$$T^0 = T_1^0 = T_2^0 = \frac{y_3 T_3 + y_4 T_4}{y_3 + y_4} \quad (6)$$

где  $y_i$  – значения коэффициентов, полученные в ходе решения системы уравнений (1-3).

Таким образом, с помощью уравнения (4) можно определить время, в течении которого нефтеостаток будет нагрет до заданной температуры, а также изменение температуры нефтеостатка в течении этого времени.

Численное определение параметров (температуры моющего раствора, нефтеостатка, паровоздушной среды, времени протекания процессов) производится на ЭВМ.

**Выводы.** Получаемые численные значения параметров, которые влияют на взрывопожароопасность процесса очистки резервуаров от остатков нефтепродуктов (температурный режим, время существования опасных концентраций паров нефтепродуктов, концентрации паров нефтепродукта внутри резервуара при очистке) позволяют прогнозировать степень опасности проведения работ и разрабатывать эффективные мероприятия для предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций при этом.

### Литература

- ГОСТ 12.1.004-91 (1999) - ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
- ДСТУ 4454:2005. Нафта і нафтопродукти. Маркування, пакування, транспортування та зберігання: чинний з 2006-07-01. – К.: Держспоживстандарт України, 2006.
- Рожков Алексей Владимирович. Пожаровзрывобезопасность гидроабразивоструйной очистки нефтяных резервуаров : дис. канд. техн. наук: 05.26.03 / Рожков Алексей Владимирович. - Москва, 2006. - 134 с.
- Сорокоумов Владимир Петрович. Обеспечение пожарной безопасности резервуаров с локальными остатками нефтепродуктов при проведении аварийно-ремонтных работ: дис. канд. техн. наук: 05.26.03 / Сорокоумов Владимир Петрович. - Москва, 2002. - 160 с.

**Lipovoy V. A.**

**A solution of the heat transfer problem occurring at blasting cleaning of the petroleum product residuum in the tanks**

**Abstract:** The paper deals with the numerical solution of the heat transfer problem occurring at blasting cleaning of the petroleum product residuum in the tanks by the heated technical cleaning compositions, that allows to define the parameters highly explosive cleaning process. Cleaning of tanks from the petroleum product residuum is highly repetitive technological operation, so safety and operation efficiency of the Ukrainian tank farm are strongly depends on the peculiarities of this cleaning procedure. Cleaning of tanks of oil residues usually performed manually or mechanically. There are no methodologies for the fire and explosion safety assessment at these processes. The chemicomechanical methods of tank cleaning are more effective due to the complex combined physical, chemical, thermal and mechanical effects, which are influenced on residues of petroleum products under the action of cleaning fluid. An intensification of the processes of evaporation of petroleum products residuum into the free volume of the tank is realised at the chemicomechanical method of cleaning. These process additionally amplifying due to the heating by the hot cleaning liquid. The thermal impact jet of the cleaning liquid leads to increasing of the concentration of explosive vapours inside the tank. Fire and explosion hazard is directly relates to the level of petroleum products vapour saturation in the tank volume. Thus, a quantify assessment of the process of the vapour saturation in the space of the tank is an important practical problem. The process of thermal heating in the tank during the cleaning are described by the equations of thermal process which are taken place in cleaning liquid together with petroleum products residuum, equations of thermal convection in gases inside the tank volume (petroleum steam and air mixture) and also of the heat exchange between tank body with environment. As a result, the system of differential equations describing thermal parameters of mixture of petroleum products residuum with cleaning liquid as a processes in time. Solution of these equations has given a relation between the temperature of mixture on the duration of the heating process. Thus, it is possible to determine the period of time, which will needs for petroleum products residuum being heated to a predetermined value of temperature and also a process of temperature changing in the petroleum products residuum at this time. The resulting numerical values of the parameters have given a possibility to predict risk level of the cleaning work and to develop effective arrangements for the prevention of emergency situations.

**Keywords:** highly explosive, heat exchange, the concentration of petroleum products vapour.