

*А.П. Петров, С.А. Швырков, В.И. Юрьев*  
(Академия ГПС МЧС России; e-mail: viktor\_petushki@mail.ru)

## **ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГАЗОУРАВНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ РЕЗЕРВУАРОВ С СЕРНИСТОЙ НЕФТЬЮ**

*Представлены результаты аналитического исследования по предупреждению опасного проявления отложений сернистых соединений железа, образующихся в трубопроводах газоуравнительных систем резервуарных парков.*

*Ключевые слова: резервуар, газоуравнительная система, самовозгорание, пирофорные отложения, угол наклона.*

*A.P. Petrov, S.A. Shvyrkov, V.I. Yuriev*  
**FIRE SAFETY OF GAS-EQUALIZING SYSTEMS  
OF TANKS WITH SULPHUROU SOIL**

*Results of an analytical study on the prevention of dangerous manifestations of deposits of sulfur compounds of iron, formed in the pipelines of gas equalizing systems of reservoir parks was presented.*

*Key words: tank, gas equalizing system, self-ignition, pyrophoric deposits, the angle of inclination.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 26 сентября 2013 г.

Хранение нефти в резервуарах типа РВС связано со значительными потерями от испарения её наиболее легких фракций. На практике сокращение потерь от испарения обеспечивается применением различных технических средств, среди которых значительное место занимают *газоуравнительные системы (ГУС)*.

Основными элементами ГУС являются трубопроводы, объединяющие газовые пространства группы резервуаров, по которым паровоздушная смесь при синхронной работе резервуаров в режиме наполнения – опорожнения не выбрасывается наружу, а перетекает из наполняемых резервуаров в опорожняемые. Такое объединение резервуаров, с одной стороны, обеспечивает сокращение потерь нефти и тем самым предотвращает образование взрывоопасных зон на территории резервуарных парков, а с другой – делает уязвимой всю группу резервуаров в случае возникновения пожара.

Существует два варианта распространения пожара по ГУС. Первый вариант связан с опасностью образования горючей паровоздушной концентрации в резервуарах и трубопроводах обвязки [1]. Применяемые для предотвращения распространения пожара по ГУС огнепреградители кассетного типа не эффективны при развитии детонационного горения в трубопроводах. Об этом свидетельствуют научные исследования и многочисленные пожары, происшедшие в резервуарных парках, в том числе, крупный пожар на ЛПДС "Конда" (22.08.2009 г.) [2]. Второй вариант связан с опасностью образования на внутренней поверхности трубопроводов горючих отложений, которые могут быть "пищей для огня" и, следовательно, способствовать распространению пожара по отложениям, что характерно для резервуарных парков хранения околопредельных жидкостей (дизельное топливо, керосин).

Одним из специфических источников зажигания, инициирующих пожар в резервуарном парке хранения сернистых нефтей, является самовозгорание отложений сернистых соединений железа (около 30 %), которые образуются не только в резервуарах, но и в трубопроводах ГУС.

Механизм образования пиррофорных отложений в трубопроводах ГУС имеет свои особенности. Известно, что сернистые соединения железа образуются в результате химического взаимодействия сероводорода или свободной серы со стальными стенками технологического оборудования.

На внутренней поверхности трубопроводов ГУС при наличии разности температур между стенками и движущимся потоком *паровоздушной смеси (ПВС)* постоянно происходит процесс конденсации наиболее тяжелой части паров, который сопровождается образованием жидкой пленки конденсата, непрерывно стекающей в нижнюю часть канала. Поэтому на этих участках (в верхней части и на боковых стенках трубопровода) изначально процессы образования сернистых соединений железа и их окисления кислородом воздуха (даже при низкой его концентрации в богатых смесях ПВС) происходят одновременно, так как здесь отсутствуют условия для аккумуляции тепла из-за малой толщины стекающей плёнки, и, наоборот, имеется постоянный доступ кислорода воздуха. Поэтому образование пиррофорных отложений на этих участках сопровождается их постоянной дезактивацией без нагрева до опасных температур.

Напротив, в нижней части канала стекающий конденсат при несвоевременном отводе может накапливаться, создавая препятствие для отвода тепла из зоны реакции и диффузии воздуха в зону реакции. Исследования авторов [3] показали, что именно в этой части канала создаются условия для образования наиболее активных сернистых соединений железа, обладающих ярко выраженными пиррофорными свойствами.

На практике для предупреждения накопления жидкой фазы транспортные трубопроводы, в которых по условиям эксплуатации возможна конденсация паров различных жидкостей, предусматривается устанавливать с нормативным уклоном не менее 0,005 [4-6].

Эти нормативы распространяется вне зависимости от свойств жидкой фазы и условий ведения технологии на различные транспортные системы, исходя из создания эффективного дренажа с целью возврата образующегося жидкого конденсата в производство.

Однако, исходя из условий предотвращения возникновения очагов самовозгорания, целесообразно использовать обоснованные величины угла наклона трубопроводов ГУС к горизонтальной плоскости ( $\alpha$ ) для отвода образующегося конденсата с учётом его индивидуальных свойств.

Основными параметрами, оказывающими влияние на величину угла наклона ( $\alpha$ ), являются вязкость и плотность образующейся жидкой фазы, которые, в свою очередь, находятся в зависимости от температуры. Если пренебречь поверхностными силами, то на элементарный объём  $\Delta V$  конденсата массой  $\Delta m$  (рис. 1) действует сила сопротивления вязкой среды.

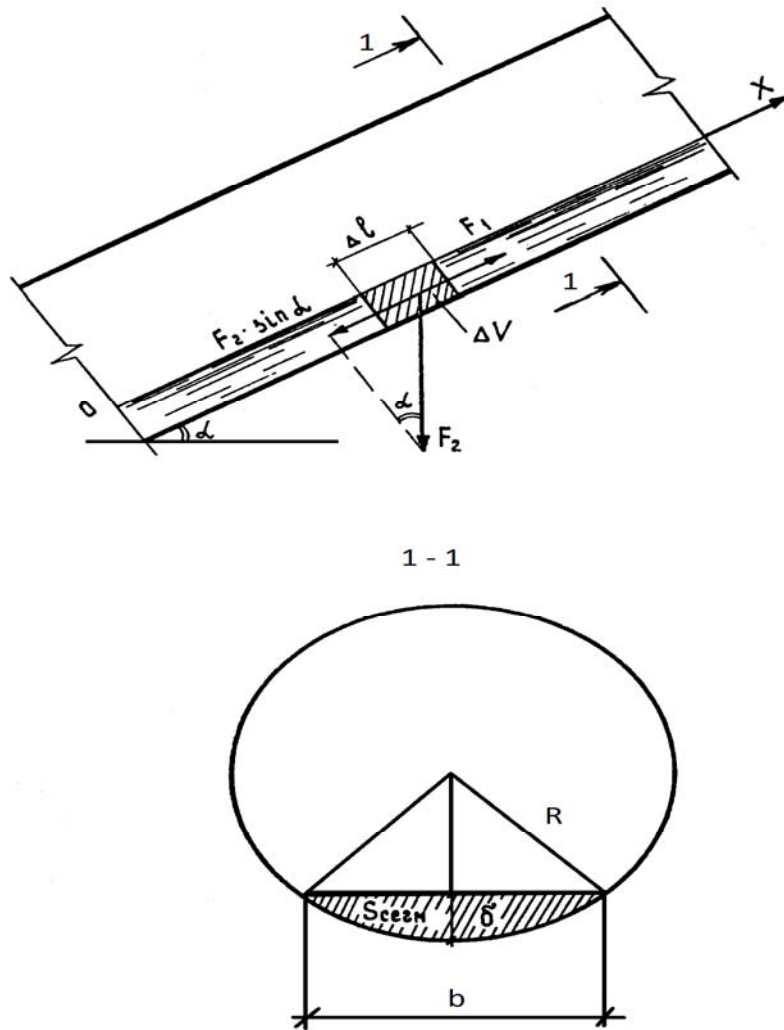


Рис. 1. Схема к определению толщины слоя жидкости

Тогда  $F_1 + F_2 = \Delta m a'$ .

Проецируя на ось  $OX$  векторы этих сил, имеем

$$F_1 - F_2 \sin \alpha = \Delta m a'.$$

При ускорении движения  $a' = 0$  скорость сдвига слоёв жидкости

$$\frac{d\varphi}{d\tau} = \text{const},$$

а также

$$F_1 - F_2 \cdot \sin \alpha = 0;$$

$$F_1 = F_2 \cdot \sin \alpha. \quad (1)$$

Тогда

$$\mu S \frac{d\varphi}{d\tau} = \Delta m g \cdot \sin \alpha;$$

$$\Delta m \cdot \sin \alpha = \frac{\mu S}{g} \frac{d\varphi}{d\tau}. \quad (2)$$

В правой части уравнения (2) находятся константы. Следовательно,

$$\Delta m \cdot \sin \alpha = A, \quad (3)$$

где  $\Delta m$  – масса жидкости элементарного объёма  $V$ ;

$A$  – коэффициент пропорциональности.

Для температуры  $t$

$$\Delta m \cdot \sin \alpha_t = K_t \cdot A; \quad (4)$$

$$K_t = \frac{\mu_t}{\mu_0},$$

где  $\mu_t$  – коэффициент динамической вязкости при температуре  $t$ ;

$\mu_0$  – коэффициент динамической вязкости при нормальных условиях.

Из формулы (4) находим требуемый угол  $\alpha_t$  при температуре  $t$

$$\alpha_t = \arcsin\left(\frac{K_t A}{\Delta m}\right). \quad (5)$$

Уравнение (5) позволяет определить значение  $\alpha_t$  для жидкостей при заданных температуре  $t$  и  $\Delta m$ .

Для определения допустимого по условиям пожарной безопасности  $\Delta m$  необходимо располагать данными по толщине слоя отложений  $\delta$ , при которой возможно их самовозгорание. Установлено, что толщина слоя отложения прямо пропорциональна толщине слоя жидкости  $\delta$ , скопившейся на единице длины.

Известно, что площадь сегмента  $S_{сегм}$  (рис. 1), ограниченная хордой  $b$  и окружностью радиусом  $R$ , определяется по формуле:

$$S_{сегм} = \frac{3}{2} b, \quad (6)$$

где 
$$b = 2\sqrt{R^2 - (R - \delta)^2}. \quad (7)$$

Тогда объём жидкости по длине  $\Delta l$  трубопровода определяется по формуле:

$$V_{жс} = S_{сегм} \Delta l = \frac{3}{2} b \delta \Delta l,$$

откуда 
$$\delta = \frac{2 V_{жс}}{3 b \Delta l}, \quad (8)$$

где  $V_{жс} = \frac{\Delta m}{\rho}$ , тогда уравнение (8) будет иметь следующий вид:

$$\delta = \frac{2 \Delta m}{3 \rho b \Delta l}.$$

С учётом уравнения (7)

$$\delta = \frac{2 \Delta m}{3 \rho (2\sqrt{R^2 - (R - \delta)^2}) \Delta l}.$$

После преобразований этого соотношения получим:

$$\delta = \frac{\Delta m}{3\rho\Delta l\sqrt{d\delta - \delta^2}},$$

где  $d$  – диаметр окружности сечения трубопровода, откуда

$$\Delta m = 3\delta\rho\Delta l\sqrt{d\delta - \delta^2}. \quad (9)$$

Подставив найденное значение  $\Delta m$  в уравнение (5), получим

$$\alpha_i = \arcsin\left(\frac{K_i A}{3\Delta l\rho\delta\sqrt{d\delta - \delta^2}}\right). \quad (10)$$

Лабораторные и натурные опыты показали, что это уравнение справедливо для маловязких отложений с  $\nu < 5,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$  в широком диапазоне рабочих температур (легкая нефть, бензин, дизельное топливо).

Экспериментальным путем с использованием выражения (3), на примере конденсатных отложений, образующихся в трубопроводах ГУС резервуарных парков [3], найден коэффициент  $A$ , который численно оказался равным  $5,05 \cdot 10^{-2}$ . При подстановке его значений в зависимость (10) получен оптимальный уклон трубопровода ГУС, равный 0,020, который обеспечит своевременное удаление образующегося конденсата в конденсатосборник и, следовательно, предупредит его накапливание до толщины слоя, опасной по условиям образования самовозгорающихся отложений.

Таким образом, на основании проведенного аналитического исследования, можно сделать вывод о том, что для предупреждения накапливания слоя конденсата допустимой по условиям образования самовозгорающихся отложений толщины, горизонтальные участки трубопроводов ГУС необходимо устанавливать с уклоном, равным 0,020 к горизонтальной плоскости.

### Литература

1. **Петров А.П.** Аналитическая оценка образования горючей концентрации в резервуарах с нефтью и нефтепродуктами // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. Вып. № 3 (25). 2009. 4 с. <http://ipb.mos.ru/ttb>.
2. **Волков О.М.** Версия "Домино" на пожаре группы РВС-20000 на линейной производственно-диспетчерской станции "Конда" // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. Вып. № 3 (49). 2013. 17 с. <http://ipb.mos.ru/ttb>.
3. **Петров А.П., Швырков С.А., Горячев С.А., Воробьев В.В., Юрьев В.И.** Пожарная опасность газоуравнительных систем резервуаров с сернистой нефтью // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. Вып. № 6 (46). 2012. 5 с. <http://ipb.mos.ru/ttb>.
4. **СНиП 41-01-2003.** Отопление, вентиляция и кондиционирование.
5. **ПБ 03-585-03.** Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов.
6. **СП 42-101-2003.** Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб.