

УДК 614.841.3

## Совершенствование системы аварийного слива топлива из надземных резервуаров АЗС

### Improvement of fuel emergency drain system from aboveground gas station tanks

*Д.В. Седов<sup>1</sup>,  
канд. тех. наук,  
Р.Г. Шубкин<sup>2</sup>,  
канд. тех. наук,  
С.В. Шархун<sup>3</sup>,  
канд. тех. наук*

*<sup>1</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет,*

*<sup>2</sup>Восточно-Сибирский институт МВД России,*

*<sup>3</sup>Уральский институт ГПС МЧС России*

*D.V. Sedov<sup>1</sup>,  
Ph.D. of Engineering Sciences,  
R.G. Shubkin<sup>2</sup>,  
Ph.D. of Engineering Sciences,  
S.V. Sharhun<sup>3</sup>,  
Ph.D. of Engineering Sciences*

*<sup>1</sup>Irkutsk National Research Technical University,*

*<sup>2</sup>East-Siberian Institute of the MIA of Russia,*

*<sup>3</sup>Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia*

#### Аннотация:

Рассматривается проблема эксплуатации неэффективных технических решений противопожарной защиты автозаправочных станций (АЗС) на фоне повышения количества АЗС в связи с интенсивной автомобилизацией городов. Предлагаются технические решения по повышению эффективности системы аварийного слива топлива из надземных резервуаров АЗС в условиях пожара. Цель работы – совершенствование системы аварийного слива топлива из резервуаров АЗС. Задачи: а) разработка технических решений, обеспечивающих эффективность работы системы аварийного слива при пожаре в условиях длительной эксплуатации и повышение экологической безопасности; б) определение технических параметров системы, обеспечивающих требуемое время опорожнения резервуаров.

**Ключевые слова:** автозаправочная станция, система аварийного слива, система безопасности, авария, пожар, время опорожнения резервуара.

#### Abstract:

The problem of operation of ineffective technical solutions for fire protection of gas stations against the background of an increment in the number of ones in connection with the intensive increase cars in cities. Technical solutions are proposed to improve the efficiency of the emergency fuel drain system from aboveground gas station tanks in a fire. The purpose of the work is to improve the system of emergency drain of fuel from gas station tanks. Tasks: a) development of technical solutions that ensure the efficiency of the emergency drain system in case of fire in long-term operation and increase environmental safety; b) determination of the technical parameters of the system for providing the required time for emptying the tanks.

**Key words:** gas station, emergency drain system, security system, accident, fire, tank emptying time.

#### Введение

Интенсивная автомобилизация городов влечет рост количества автозаправочных станций (АЗС) на придорожных территориях. Являясь объектами повышенной пожаровзрывоопасности, они, тем не менее, зачастую располагаются в селитебных зонах с плотной застройкой, создавая зоны значительного социального риска. На АЗС в России ежегодно происходит от 20 до 40 пожаров. Средний ущерб от пожара составляет 3,8 млн руб. [1]. При авариях на АЗС, сопровождающихся взрывами, возможны повреждения как соседнего оборудования, так и зданий

(на расстоянии порядка 80 м для бензинов и порядка 15 м для дизельных топлив). Работники и посетители АЗС могут получить средние и легкие травмы на расстоянии 80–160 м при авариях с участием бензинов и на расстоянии 15–45 м с участием дизельных топлив [2]. В целом, травмирование возможно в зоне радиусом 230 м.

В настоящее время тенденции развития технических решений, направленных на обеспечение противопожарной защиты АЗС, связаны с подземным размещением оборудования, применением систем улавливания легких фракций, автоматизацией контроля параметров и резервированием элементов, в том числе использованием двойных стенок резервуаров [3]. Вместе с тем, на отдельных АЗС еще продолжается эксплуатация одностенных топливных резервуаров наземного расположения. При устройстве систем аварийного слива могут отмечаться неэффективные проектные решения. Аварийные емкости могут быть не рассчитаны на прием всего количества топлива, либо система слива допускает смешение разных нефтепродуктов. Таким образом, вопрос технического совершенствования систем противопожарной защиты АЗС остается, по-прежнему, открытым и актуальным.

#### Объект и предмет исследования

В качестве примера была рассмотрена много-топливная АЗС с наземным размещением резервуаров, где заправка осуществляется бензинами и дизельными топливами. Объем реализации нефтепродуктов составляет 7163 т/год (500 заправок в сутки). На заправочных островках установлены 4 топливораздаточные колонки, из них 3 трехпродуктовые и 1 однопродуктовая. Все здания и сооружения оснащены системами молниезащиты, оборудование заземлено для предотвращения образования статического электричества.

Резервуарный парк АЗС включает 6 типовых наземных резервуаров объемом 25 м<sup>3</sup> каждый. Диаметр резервуара составляет 2,5 м, длина – 5 м. Каждый резервуар заполняется на 90%. Запас свободного пространства предусмотрен для компенсации температурных расширений жидкости и страховки на случай переполнения резервуара. Резервуары имеют ручные задвижки, которые могут отключать их от общей сети. Резервуары расположены в 2 группах по 3 резервуара. Расстояние между резервуарами в пределах группы составляет 1 м, расстояние между группами – 6 м.

Объектом исследования в настоящей работе является система аварийного слива топлива из резервуаров. Данная система расположена под землей,

между группами резервуаров. Подземная емкость для аварийного слива топлива имеет объем 16 м<sup>3</sup>. Система аварийного слива (рис. 1) оборудована линией продувки инертным газом, задвижками и гидравлическими затворами.

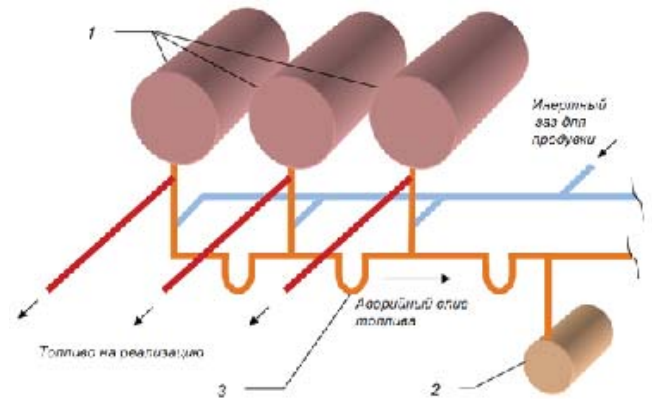


Рис. 1. Схема системы аварийного слива топлива из резервуаров: 1 – резервуары для хранения топлива; 2 – аварийная емкость; 3 – гидравлический затвор

Предметом исследования являются технические параметры системы аварийного слива, обеспечивающие требуемое время опорожнения резервуаров в условиях пожара.

Анализ конструктивных особенностей системы аварийного слива показал, что она имеет ряд недостатков. Во-первых, она предусматривает слив топлива из какого-либо одного резервуара. Это означает, что в случае угрозы нескольким резервуарам система будет уже неэффективной. Кроме того, система не рассчитана на прием всей жидкости из одного резервуара (объем резервуара – 25 м<sup>3</sup>, объем аварийной емкости – 16 м<sup>3</sup>). Иными словами, система может принять 16 м<sup>3</sup> топлива, а 6,5 м<sup>3</sup> нефтепродукта останется в резервуаре и будет гореть до введения сил противопожарной службы (расчетное время развития аварии до 1 ч [4]). Иными словами, данная система не обеспечивает безопасность технологического процесса в случае пожара. При пожаре огнем будет не только уничтожено оставшееся в резервуаре топливо, но и выброшено в воздух большое количество токсичных веществ. Кроме того, тепловое излучение от зоны горения может привести к разрушению соседних резервуаров, возникновению «огненного» шара, взрыву и другим последствиям.

Во-вторых, трубопроводы системы аварийного слива оборудованы ручными задвижками. При аварии, разливе топлива, пожаре или взрыве, когда потребуется включение системы аварийного слива, подобраться к задвижкам и перекрыть их будет практически невозможно из-за воздействия опасных факторов, таких как тепловое излучение, из-

быточное давление взрыва, потеря видимости из-за задымления, выделение токсичных продуктов и т.д. Если же в момент аварии загорание не произойдет и персоналу удастся подобраться к задвижкам, то время их перекрывания составит 5 мин (расчетное значение [4]). По нашим оценкам, за 5 мин через аварийное отверстие диаметром 0,06 м из резервуара выльется 5,7 м<sup>3</sup> топлива. При диаметре аварийного отверстия 0,08 м выльется 6,5 м<sup>3</sup> топлива. При диаметре аварийного отверстия 0,1 м количество вышедшей жидкости составит 9,6 м<sup>3</sup>. В результате площадь пролива составит 855–1440 м<sup>2</sup> (диаметр пролива 33–43 м). Таким образом, последствия пожара могут принять значительные масштабы с вовлечением соседних резервуаров.

### Цель и задачи исследования

Для исключения указанных выше недостатков систему аварийного слива на рассматриваемом АЗС целесообразно технически усовершенствовать. В связи с этим целью настоящей работы является совершенствование системы аварийного слива топлива из резервуаров автозаправочной станции.

Задачами работы являются:

- разработка технических решений, обеспечивающих эффективность работы системы аварийного слива при пожаре в условиях длительной эксплуатации и повышение экологической безопасности;
- определение технических параметров системы аварийного слива из топливных резервуаров, обеспечивающих требуемое время их опорожнения.

### Предлагаемые технические решения

Схема усовершенствованной системы аварийного слива для одной группы резервуаров представлена на рис. 2. Были предложены следующие технические решения.

Во-первых, учитывая то, что при возникновении пожара одного резервуара с большой вероятностью произойдет повреждение остальных резервуаров, емкость для аварийного слива должна вмещать в себя количество топлива, хранящееся во всех резервуарах, то есть должна быть объемом не менее  $25 \cdot 6 = 150 \text{ м}^3$ . Однако при сливе топлива из всех резервуаров в одну емкость произойдет смешение продуктов, что приведет к возникновению ущерба из-за сложности последующего разделения топлив. Поэтому вместо одной аварийной емкости объемом 150 м<sup>3</sup> предлагается оборудовать каждый резервуар автономной линией аварийного слива с отдельной аварийной емкостью объемом 25 м<sup>3</sup>. В этом случае при пожаре топливо не только будет спасено от огня, но и пригодно для повторного использования.

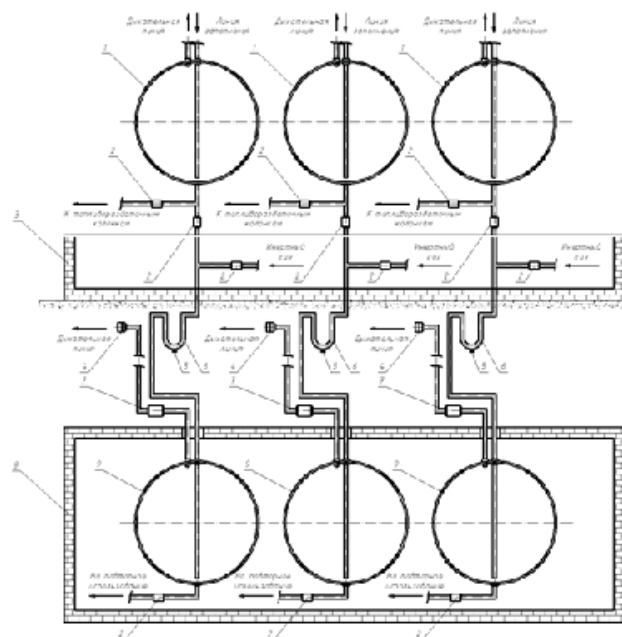


Рис. 2. Схема усовершенствованной системы аварийного слива топлива (вертикальный разрез): 1 – топливный резервуар; 2 – задвижка автоматическая с пробковым краном; 3 – стенка обвалования; 4 – сетчатый огнепреградитель; 5 – пробка; 6 – гидравлический затвор; 7 – сетчатый огнепреградитель; 8 – подземное помещение; 9 – аварийная емкость

Во-вторых, исходя из того, что при аварии необходимо быстро слить топливо в аварийную емкость, вместо ручных задвижек на линии аварийного слива предлагается установить автоматические задвижки, например, в виде пробкового крана. Автоматические задвижки позволят оператору включить аварийный слив из безопасного места (с пульта управления диспетчерской), что значительно экономит время. Кроме того, время срабатывания автоматических задвижек значительно меньше (несколько секунд), что позволит снизить возможные последствия пожара (взрыва).

В-третьих, подземные аварийные емкости предлагается объединить в группы по три и расположить в специальном подземном помещении (в первоначальном варианте аварийная емкость была непосредственно вкопана в землю). Использование подземного помещения для аварийных емкостей позволит осуществлять их осмотр и обслуживание, защитить от повреждений при движении грунта и предохранить от коррозионного воздействия влаги. Кроме того, достигается экологическая защита почвы от проникновения углеводородов.

В-четвертых, время аварийного слива топлива из резервуаров не должно превышать предела огнестойкости необработанных огнезащитным составом металлических конструкций, то есть 15 мин (900 с).

Если принять время включения системы равным 10 с, то на слив топлива останется 890 с. Расчет проектных параметров предложенной системы аварийного слива представлен ниже.

### Методы и материалы

Диаметр сливного трубопровода и другие параметры системы аварийного слива можно определить следующим образом. Общее время слива из горизонтально расположенных цилиндрических резервуаров определяется из выражения [5]:

$$\tau_{\text{св}} = \frac{LD\sqrt{DA}}{2,6d_0^2\mu_c}, \quad (1)$$

где  $L$  – длина резервуара, м;

$D$  – диаметр резервуара, м;

$A$  – коэффициент, зависящий от отношения напора жидкости  $H$  к диаметру  $D$ ;

$d_0$  – диаметр выходного сечения системы аварийного слива, м<sup>2</sup>;

$\mu_c$  – коэффициент расхода системы.

Коэффициент расхода системы рассчитывается по формуле [6]:

$$\mu_c = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_{\text{св}}}}, \quad (2)$$

где  $\xi_{\text{св}}$  – коэффициент сопротивления системы, равный:

$$\xi_{\text{св}} = \sum_{i=1}^n \xi_i \left(\frac{d_0}{d_i}\right)^4 + \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{l_i}{d_i} \left(\frac{d_0}{d_i}\right)^4, \quad (3)$$

где  $\xi_i$  – коэффициент местного сопротивления;

$\lambda_i$  – коэффициент линейного сопротивления трубопровода;

$d_i$  – диаметр трубопровода на  $i$ -ом участке, м;

$l_i$  – длина  $i$ -го участка трубопровода, м;

$i$  – порядковый номер элемента.

Коэффициенты местного сопротивления можно определить по обобщенной формуле А.Д. Альтшуля (как при ламинарном, так и при турбулентном режимах):

$$\xi_i = \frac{\tilde{N}_i}{\text{Re}_i} + \xi_{\text{эди}}, \quad (4)$$

где  $C_i$  – коэффициент, зависящий от вида местного сопротивления;

$\text{Re}_i$  – число Рейнольдса для  $i$ -го местного сопротивления;

$\xi_{\text{квн}}$  – коэффициент местного сопротивления в квадратичной области турбулентного режима для  $i$ -го местного сопротивления.

Число Рейнольдса определяется по формуле:

$$\text{Re}_i = \frac{\vartheta_i d_i}{\nu}, \quad (5)$$

где  $\vartheta_i$  – скорость в  $i$ -м местном сопротивлении, м<sup>2</sup>с<sup>-1</sup>;

$\nu$  – кинематическая вязкость жидкости, м<sup>2</sup>с<sup>-1</sup>.

Подставим формулу (5) в выражение (4), после чего измененное выражение (4) подставим в (3):

$$\xi_{\text{св}} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\tilde{N}_i \nu}{\vartheta_i d_i} + \xi_{\text{эди}} \right) \left( \frac{d_0}{d_i} \right)^4 + \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{l_i}{d_i} \left( \frac{d_0}{d_i} \right)^4. \quad (6)$$

Для упрощения расчетов можно принять, что на всех участках трубопровода жидкость движется с одинаковой (средней) скоростью  $\vartheta$ , которую можно определить по формуле:

$$\vartheta \approx 0,5 \mu_c \sqrt{2g} (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2}) = 0,5 \sqrt{\frac{2g}{1 + \xi_c}} (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2}), \quad (7)$$

где  $H_1$  и  $H_2$  – соответственно напор жидкости в начале и в конце слива.

Тогда задача сводится к решению системы уравнений (6) и (7). Выразим из выражения (7) величину  $\xi_c$ :

$$\xi_c = \frac{g}{2\vartheta^2} (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})^2 - 1. \quad (8)$$

Теперь приравняем (4.8) и (4.6):

$$\sum_{i=1}^n \left( \frac{\tilde{N}_i \nu}{\vartheta d_i} + \xi_{\text{эди}} \right) \left( \frac{d_0}{d_i} \right)^4 + \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{l_i}{d_i} \left( \frac{d_0}{d_i} \right)^4 = \frac{g}{2\vartheta^2} (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})^2 - 1$$

или

$$\sum_{i=1}^n \left( \frac{\tilde{N}_i \nu}{\vartheta d_i} + \xi_{\text{эди}} \right) \left( \frac{d_0}{d_i} \right)^4 + \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{l_i}{d_i} \left( \frac{d_0}{d_i} \right)^4 - \frac{g}{2\vartheta^2} (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})^2 + 1 = 0. \quad (9)$$

Уравнение (9) есть выражение для решения поставленной задачи о времени аварийного опорожнения резервуара.

### Результаты и обсуждение

На рис. 3 представлена номограмма зависимости коэффициента  $A$  от отношения напора жидкости  $H$  к диаметру  $D$ . Из него видно, что на протяжении слива из-за непрерывного изменения напора  $H$  значение коэффициента  $A$  постоянно меняется. Когда емкость находится в заполненном состоянии (22,5 м<sup>3</sup> топлива), ее начальный напор составляет  $H_1 = 7,15$  м (высота от нижнего конца сливного трубопровода до зеркала жидкости в резервуаре). По рис.

3 можно определить, что для  $\frac{H_1}{D} = \frac{7,15}{2,5} = 2,86$  коэффициент  $A_1 = 0,31$ . Конечное значение напора  $H_2 = 0$ , поэтому  $A_2 = 1$ .



Для нахождения среднего значения коэффициента  $A$  для всей операции аварийного слива можно воспользоваться приближенным методом. Участок кривой между значением  $A_1$  (соответствует напору в начальный момент слива) и значением  $A_2$  (в конечный момент слива) заменяются четырьмя прямолинейными отрезками:  $A_2-A_3$ ,  $A_3-A_4$ ,  $A_4-A_5$  и  $A_5-A_1$  (см. рис. 3). Далее определяются средние значения коэффициента  $A$  для каждого из отрезков, после чего рассчитывается среднее среди полученных средних, пока не получится среднее значение коэффициента  $A$  для всего участка кривой. В рассматриваемом случае получаем:

$$A = 0,5 \cdot \{0,5 \cdot [0,5 \cdot (A_2 + A_3) + 0,5 \cdot (A_3 + A_4)] + 0,5 \cdot [0,5 \cdot (A_4 + A_5) + 0,5 \cdot (A_5 + A_1)]\} = 0,56.$$

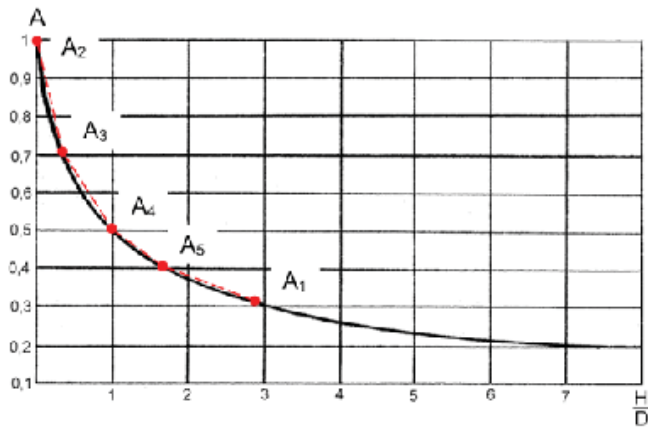


Рис. 3. Определение среднего значения коэффициента  $A$  по номограмме [5]

Для определения с помощью уравнения (9) скорости  $\vartheta$  движения эвакуируемого нефтепродукта по системе аварийного слива необходимо для каждого  $i$ -го участка сливного трубопровода учесть значения коэффициентов местного и линейного сопротивлений  $C_i$ ,  $\xi_{\text{кв}i}$ ,  $\xi_i$ ,  $\lambda_i$ . Для этого предложенная конструкция сливного трубопровода была разбита на участки. На рис. 4 представлена расчетная схема полученных участков сливного трубопровода. В табл. 1 приведены характеристики данных участков (данные из [6]).

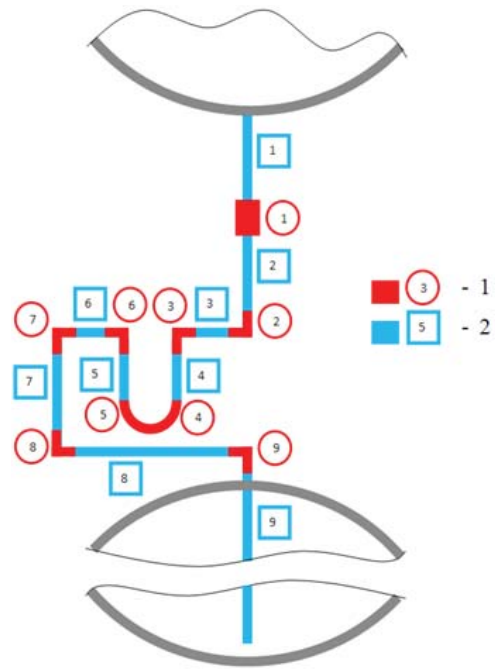


Рис. 4. Расчетная схема трубопровода аварийной системы слива: 1 – местное сопротивление и его порядковый номер; 2 – прямолинейный участок и его порядковый номер

Таблица 1 Параметры участков трубопровода аварийной системы слива

Порядковый номер $i$	Тип участка					
	Местное сопротивление		Прямолинейный участок			
	$\xi_{\text{кв}i}$	$C_i$	$d_i$ , м	$l_i$ , м	$d_i$ , м	$\lambda_i$
1	0,4	150	0,12	0,3	0,12	0,03
2	1,4	400	0,12	0,5	0,12	0,03
3	1,4	400	0,12	0,15	0,12	0,03
4	0,2	130	0,12	0,3	0,12	0,03
5	0,2	130	0,12	0,3	0,12	0,03
6	1,4	400	0,12	0,15	0,12	0,03
7	1,4	400	0,12	0,7	0,12	0,03
8	1,4	400	0,12	0,45	0,12	0,03
9	1,4	400	0,12	3,4	0,12	0,03

При проведении расчетов в качестве исходных данных были приняты параметры: диаметр трубопровода  $d_0 = 0,12$  м, начальный напор в системе  $H_1 = 7,15$  м, конечный напор после слива продукта  $H_2 = 0$ . Кинематическая вязкость эвакуируемого продукта (бензина) составляет  $\nu = 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ .

Решая уравнение (9) относительно скорости  $\vartheta$  на ПЭВМ методом последовательных подстановок, было получено, что с относительной погрешностью 0,5 % средняя скорость жидкости в трубопроводе составляет  $\vartheta = 1,72 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ . Данное значение справедливо также и для дизельных топлив, у которых коэффициент вязкости равен  $\nu = 4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ .

По формуле (8) расчетное значение коэффициента сопротивления системы составило:

$$\xi_c = \frac{g}{2g^2} (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})^2 - 1 = \\ = \frac{9,81}{2 \cdot 1,73^2} (\sqrt{7,15} + \sqrt{0})^2 - 1 = 10,8.$$

По формуле (2) получен коэффициент расхода системы:

$$\mu_{\bar{n}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_{\bar{n}}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 10,8}} = 0,29.$$

По формуле (1) определено время аварийного слива жидкости:

$$\tau_{ca} = \frac{LD\sqrt{DA}}{2,6d_0^2\mu_c} = \frac{5 \cdot 2,5\sqrt{2,5 \cdot 0,56}}{2,6 \cdot 0,12^2 \cdot 0,29} = 1016 \text{ с},$$

где L – длина резервуара, равная 5 м;

D – диаметр резервуара, равный 2,5 м.

Как видно, расчетное время аварийного слива превышает требуемое (890 с), и необходима корректировка параметров системы. Для уменьшения времени опорожнения резервуара, необходимо увеличить диаметры участков.

Примем диаметры участков трубопровода равными 0,13 м. Тогда, решая уравнение (9), получаем, что скорость жидкости при сливе  $\vartheta = 1,73 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ . Тогда коэффициент сопротивления составит:

$$\xi_{\bar{n}} = \frac{9,81}{2 \cdot 1,73^2} (\sqrt{7,15} + \sqrt{0})^2 - 1 = 10,68.$$

Коэффициент расхода системы будет равен:

$$\mu_{\bar{n}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_{\bar{n}}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 10,68}} = 0,29.$$

Время опорожнения резервуара составит:

$$\tau_{\bar{n}\bar{e}} = \frac{5 \cdot 2,5\sqrt{2,5 \cdot 0,56}}{2,6 \cdot 0,13^2 \cdot 0,29} = 861 \text{ н}.$$

Данное значение не превышает требуемого (890 с), следовательно, система с диаметром сливного трубопровода 0,13 м будет эффективной.

### Заключение и выводы

Таким образом, при использовании усовершенствованной системы аварийного слива достигается не только своевременная эвакуация всего объема хранящегося топлива из резервуаров АЗС, но и сохраняется возможность повторного его использования. При сливе всего хранящегося топлива пожар не сможет распространяться на соседнее оборудо-

вание и продолжаться длительное время. Огнепреградители и гидравлические затворы, устанавливаемые на дыхательных линиях и линиях слива, не позволят огню распространиться по коммуникациям. Продувка линии инертным газом позволит удалить пары легко воспламеняющихся жидкостей из системы и обеспечит безопасные условия для проведения ремонтных работ. Использование подземного помещения для аварийных емкостей повысит их надежность, долговечность и экологическую безопасность.

### Литература

1. Тимофеева С.С., Фурманова С.С. Анализ пожарной опасности на автозаправочных станциях России и Иркутской области // Вестник ИргТУ. – 2012. – №8. – С. 55–60.
2. Радченко Ю.С. Оценка последствий аварий на автозаправочных станциях // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2008. – №4. – С 125–129.
3. Гильмуллина А.Ф. Исследование и разработка технических решений по повышению безопасности автозаправочных станций // STUDYLIB.RU. – URL: <https://studylib.ru/doc/2432603/issledovanie-i-razrabotka-tehnicheskikh-reshenij-po> (дата обращения 01.10.2019).
4. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с Изменением № 1). Принят МЧС России 25 марта 2009. Официальное издание. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
5. Каргаполова Е.О. Пожарная безопасность технологических процессов: учеб. пособие. – Омск: Издво ОмГТУ, 2015. – 100 с.
6. Абросимов Ю.Г., Иванов А.И., Качалов А.А и др. Гидравлика и противопожарное водоснабжение: учебник. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. – 422 с.