

ЗАПОЛНЕНИЕ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕМ РЕЗЕРВУАРОВ МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

А.Д. Семенов, А.Г. Бубнов, И.В. Сараев, А.О. Семенов

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, пр. Строителей, 33, Иваново, Российская Федерация, 153040

E-mail: bubag@mail.ru

Операции, связанные с заполнением резервуаров, как правило самые ответственные с точки зрения обеспечения техносферной безопасности и осуществляются относительно медленно. Самыми большими временными затратами при восстановлении боеготовности пожарных автомобилей являются затраты, именно при заполнении пенообразователем предназначенного для него резервуара.

Рассмотрены способы заполнения резервуара для пенообразователя в пожарных автомобилях при восстановлении боеготовности. Для уменьшения времени, отводимого на заполнение резервуара, обосновано возможное техническое решение по заполнению емкости для хранения пенообразователя с использованием стационарного вакуумного агрегата пожарной автоцистерны, что подтверждено и расчетом, и экспериментально. Подобные подходы и решения позволяют сократить время приведения пожарной автоцистерны в готовность после пожара.

Емкости под пенообразователь на пожарных автомобилях, применяемых подразделениями пожарной охраны, изготавливаются из стали марки Ст3, нержавеющей (легированной) стали и полиэтилена. Технические параметры резервуаров, предназначенных для хранения пенообразователя, установленных на пожарных автоцистернах, не позволяют реализовать возможность заполнения с применением вакуумного насоса – вследствие невозможности обеспечения стандартной конструкцией требуемого нормативного напряжения при создании разряжения в 0,0981 МПа (1 кгс/см²).

Показано, что усиление типовых конструкций резервуаров под пенообразователь вертикальными укрепляющими стойками из стали марки Ст3 и/или легированной стали, а также ребрами жесткости из полиэтилена, позволит сохранить геометрические параметры толщины стенки емкости для пенообразователя при производстве и в эксплуатации.

Ключевые слова: пенообразователь, резервуар, время заполнения, геометрические параметры, толщина и материал стенки

FILLING OF MOBILE EQUIPMENT TANKS WITH FOAMING AGENT

A.D. Semenov, A.G. Bubnov, I.V. Saraev, A.O. Semenov

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters», Stroiteley ave., 33, Ivanovo, 153040, Russia

E-mail: bubag@mail.ru

Operations related to filling reservoirs are usually the most responsible from the point of view of ensuring technosphere safety and are carried out relatively slowly. The biggest time costs in restoring the combat readiness of fire trucks are the costs of filling the tank intended for it with a foaming agent.

The methods of filling the foaming agent tank in fire trucks during the restoration of combat readiness are considered. In order to reduce the time taken to fill the tank, a possible technical solution for filling the foaming agent storage tank using a stationary vacuum unit of a fire tanker

has been substantiated – its effectiveness has been confirmed by technical calculation and experimentally. Such an approach and solutions will reduce the time it takes to get a fire tanker ready after a fire.

Containers for foaming agent on fire trucks used by fire protection units are made of steel grade St3, stainless (alloy) steel and polyethylene. The technical parameters of the tanks intended for storing the foaming agent installed on fire tankers do not allow the possibility of filling using a vacuum pump – due to the inability to provide the required standard voltage with a standard design when creating a discharge of 0.0981 MPa (1 kgf/cm²).

It is shown that the reinforcement of typical structures of tanks for foaming agent with vertical reinforcing struts made of St3 steel and/or alloy steel, as well as stiffeners made of polyethylene, will preserve the geometric parameters of the wall thickness of the container for foaming agent during production and operation.

Keywords: foaming agent, tank, filling time, geometric parameters, wall thickness and material

Для цитирования:

Семенов А.Д., Бубнов А.Г., Сараев И.В., Семенов А.О. Заполнение пенообразователем резервуаров мобильной техники. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2025. Т. LXIX. № 2. С. 108–128. DOI: 10.6060/rcj.2025692.13.

For citation:

Semenov A.D., Bubnov A.G., Saraev I.V., Semenov A.O. Filling of mobile equipment tanks with foaming agent. *Ros. Khim. Zh.* 2025. V. 69. N 2. P. 108–128. DOI: 10.6060/rcj.2025692.13.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что наполнение и опорожнение резервуаров – это наиболее ответственные операции, требующие высокой степени осторожности при выполнении, а также соблюдения специальных правил [1, 2]. Так, по требованиям технологичности и эффективности в промышленности заполнение резервуаров должно производиться под уровень жидкости снизу. Однако в периодических технологических процессах часто резервуар к моменту наполнения оказывается порожним. В таких случаях операции, связанные с его заполнением, осуществляются относительно медленно. Скорость (а иначе производительность) заполнения емкости должна строго соответствовать пропускной способности дыхательного клапана, поэтому перед заполнением резервуара необходимо проверить исправность клапана. Если в связи с неисправностью или по другим причинам дыхательный клапан окажется закрытым, то наполнение резервуара производить нельзя до устранения неисправности клапана. Требуемая пропускная способность дыхательного клапана связана с производительностью приемо-раздаточного патрубка [3–5]. Ограничения для скоростей и производительности по заполнению резервуаров нефтепродуктами и продуктами оргсинтеза многочисленны и приведены в главе 6–2 [1, 6]. Максимальная производительность наполнения (опорожнения) резервуаров легковоспламе-

няющимися нефтепродуктами не должна превышать 450 м³/ч, а высоковязкими 300 м³/ч. Однако заправка резервуаров мобильной техники для транспортирования различных органических веществ, включая нефтепродукты (емкостью до 1 м³), как правило, осуществляется одним из трех способов: 1) перелив из одной емкости в другую через промежуточную емкость; и/или с помощью 2) технических приспособлений (шлангов, переходников) – самотеком; 3) насосов различного типа.

Таким образом, повышение эффективности заправки емкостей для транспортировки легко вспенивающихся органических жидкостей влияет на безопасность эксплуатации емкостного оборудования в технологическом процессе.

Так, для тушения пожаров химических производств и в промышленности широко используются как стационарные системы, так и привлекаемые внешние службы пожаротушения. Последними в качестве основной пожарной техники, используемой при тушении пожара, являются пожарные автоцистерны, от эффективной эксплуатации которых зависят качественные характеристики (успешность и временные показатели) тушения пожара. Приведение в готовность пожарной техники и оборудования ограничено 40 мин [7]. Основные мероприятия, проводимые в рамках восстановления боеготовности пожарной техники и оборудования в подразделении пожарной охраны, направлены на заправку пожарных автомобилей (ПИА) го-

рюче-смазочными материалами и огнетушащими веществами; замену неисправного имущества, оборудования и снаряжения, средств связи, обмундирования (боевой одежды и ее формы); техническое обслуживание ПА; мойку ПА. Проведенный нами анализ мероприятий по достижению ПА готовности для пожаротушения показал, что наиболее затратной по времени (более 25%), зависящей от температуры окружающей среды и технологии заполнения, является именно заправка ПА пенообразователем (концентрированным водным раствором поверхностно-активных веществ (ПАВ) со стабилизирующими добавками). Отметим, что на сегодняшний день на рынке представлено 10 типов пенообразователей и смачивателей для тушения пожаров (по [8]: S, S/AR, AFFF, AFFF/AR, AFFF/AR-LV, FP, FP/AR, FFFP, FFFP/AR и WA-смачиватели [9]). На основе этих типов выпускаются сотни марок пенообразователей с конкретными показателями и характеристиками для тушения всех видов пожаров [10], являющимися довольно устойчивыми во время хранения и использования [11, 12]. Время заправки резервуара ПА практически не зависит от типа пенообразователя и входящих в него ПАВ [13, 14]. Связано это с высокой пенообразующей способностью всех этих типов, используемых в пожаротушении ПАВ при перемешивании/заполнении специального резервуара ПА – пенобака, что требует поиска технических решений, позволяющих уменьшить временные интервалы отдельных мероприятий по восстановлению готовности пожарной техники в подразделениях пожарной охраны. Типовой пенобак имеет емкость 300–1000 л, изготавливается из полиэтилена высокого давления или нержавеющей стали параллелепипедной формы, располагается в насосном отсеке ПА, оборудуется электрическими индикаторами уровня пенообразователя, расположенными на панели управления насосом. Пенобак, как правило, подходит для использования со всеми типами пенообразователей и разделен перегородкой на два независимых бака, например, по 60 и 240 л (для 300 л бака) – для использования 1% и 6% концентратов ПАВ, соответственно.

Анализ существующего порядка по заправке пенобака ПА показал, что на практике реализовано два подхода. Оба подразумевают заполнение емкости непосредственно через горловину, только в варианте 2 применяют шланги (рис. 1) без использования дополнительных технических средств, что требует значительных временных затрат – ввиду вспенивания пенообразователя.

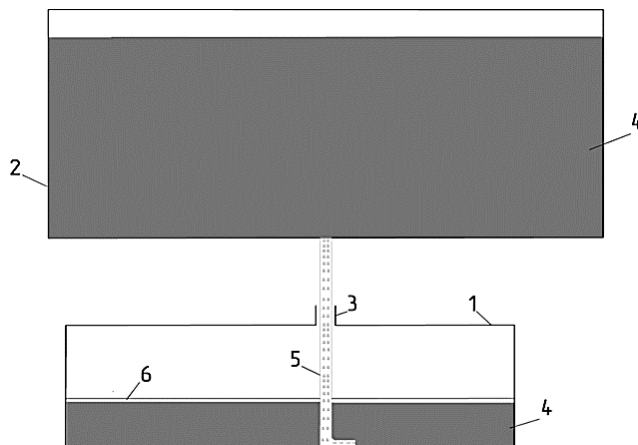


Рис. 1. Заполнение резервуара самотеком, применяя полимерный шланг (вариант 2)

1 – заполняемый резервуар, 2 – опорожняемая емкость для хранения пенообразователя, 3 – горловина пенобака, 4 – пенообразователь, 5 – патрубок, 6 – слой пены

Fig. 1. Filling the tank by gravity using a polymer hose (option 2)
1 – a filling tank, 2 – an emptying container for storing a foaming agent, 3 – a foam tank neck, 4 – a foaming agent, 5 – a nozzle, 6 – a foam layer

Поэтому целью работы явилась разработка технического решения по ускорению заполнения пенобака пожарного автомобиля с оценкой необходимых прочностных характеристик основного конструкционного материала емкости для заправки при данном подходе.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Оценку времени заполнения пенобака (модельного резервуара – пластиковой (полиэтиленовой) канистры емкостью 10 л) проводили на базе Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России. Использованная канистра была близка по конструктивным особенностям к пенобаку для хранения пенообразователя (ПАВ) в ПА.

Первоначально фиксировали время заполнения пенообразователем типа S (100% концентрат) канистры переливая его: из промежуточной емкости в 10 л емкость (вариант 1); самотеком (вариант 2, рис. 1) – используя полимерный шланг; с применением промежуточного вакуумного насоса (вариант 3, рис. 2). Для реализации вариантов 2 и 3 применялся полимерный шланг Ø25 мм.

Экспериментально определено, что время заполнения модельной емкости по вариантам 2 и 3 значительно меньше (среднее время заполнения, которое уменьшается с 31 мин – 1 вариант, до 27 с – 2 вариант и 14 с – 3 вариант), чем по 1 варианту.

Наблюдения за заполнением канистры (вариант 1) показали, что высокие значения времени наполнения связаны с процессом пенообразования.

В литературе [15] описывается подобный процесс, который связан с возникновением турбулентности на границе раздела фаз пенообразователь-воздух при контакте пенообразователя в резервуаре с потоком воздуха (при заполнении резервуара).

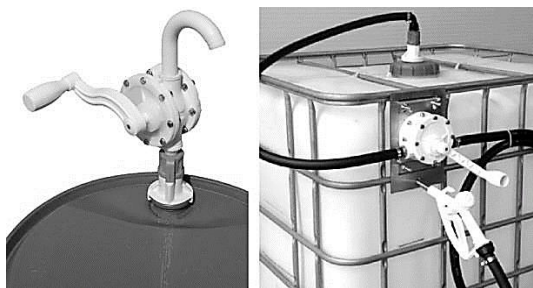


Рис. 2. Заполнение резервуара с использованием промежуточного насоса (вариант 3)

Fig. 2. Filling the tank using an intermediate pump (option 3)

Известно [16], что пенообразователи являются коллоидными ПАВ, а время жизни пузырьков образовавшейся пены в таких системах может достигать несколько сут. Нами установлено, что получающаяся пена заполняет 15-20% от объема модельной емкости и препятствует дальнейшему заполнению резервуара, поэтому требуется дождаться осаждения пены, что занимает до 90% времени заполнения (именно поэтому процесс пенообразования при заправке пенообразователя оказывает большое влияние на боевую готовность ПА).

Нами было выявлено экспериментально, что при заполнении резервуара пенообразователем происходит пенообразование, которое выражается в снижении использования полезного объема емкости, приводя к нарушению регламента обслуживания ПА при его возвращении в пожарно-спасательную часть, увеличении потерь перекачиваемой жидкости, а также в неблагоприятном, часто корродирующем, воздействии на элементы и оборудование ПА. Таким образом, полному заполнению модельной емкости препятствует образовавшаяся пена.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что для борьбы с пенообразованием применяются химические и физические методы [17-19]. В рассматриваемом случае (для целей пожаротушения) использование химических методов, при осаждении образующейся пены, нецелесообразно ввиду негативного влияния [15, 16] применяемых веществ (пеногасителей) на свойства пенообразователя.

Отметим, что второй (рис. 1) и третий (рис. 2) варианты заполнения модельного резервуара технически схожи. Ход операций по заполнению сводится к тому, что самотеком или с помощью насоса

пенообразователь по гибким шлангам из резервуара для хранения направлялся в модельный пенобак. Из-за возможности подбора необходимой скорости подачи пенообразователя, нами устанавливался ламинарный режим истечения жидкости без образования границы раздела фаз потоков пенообразователь – воздух. В результате установившегося режима истечения пенообразователя пена не образовывалась, резервуар (канистра) заполнялся полностью за вышеприведенное установленное (экспериментально) время.

Таким образом, для уменьшения вспенивания пенообразователя при наполнении емкостей под пенообразователь ПА наиболее эффективными и гибкими являются физические методы. Сравнительный анализ возможных способов заполнения показал, что использование промежуточных насосов для перекачки является эффективным. Известно, что в качестве насосов рекомендуется использовать насосы, создающие ламинарный поток жидкости при перекачке, к таким агрегатам относятся насосы объемного действия [20, 21]. Однако рассматриваемые способы заправки требуют определенных технико-экономических решений. Так, при организации второго варианта необходима реализация специально оборудованного места с емкостью, уровень которой находится выше уровня резервуара с пенообразователем в ПА. Это трудно реализуемо в связи с тем, что требует реконструкции помещений пожарно-спасательной части.

Наиболее предпочтительным является третий способ заполнения резервуара пенообразователем ввиду его простоты и универсальности, но промежуточные насосы, применяемые для перекачки вспенивающихся веществ, дорогостоящи. На ПА предусмотрена автоматическая вакуумная система (АВС) для заполнения рабочей полости пожарного насоса водой. Основным вакуумным агрегатом такой системы является шибберный насос [22, 23].

Нами оценена применимость стационарного вакуумного насоса для заполнения резервуара пенообразователем типового ПА с цистерной. Первоначально нами была осуществлена по [24, 25] оценка применимости стационарного вакуумного насоса. Исходные данные для расчета были приняты следующие:

- резервуар для хранения пенообразователя в ПА объемом 165 л ($0,165 \text{ м}^3$),
- высота размещения 2,5 м от уровня земли (рис. 3),
- создаваемое разрежение 0,8-0,9 атм ($0,081-0,091 \text{ МПа}$),
- плотность пенообразователя $\rho = 1100 \text{ кг/м}^3$.

Для двух выбранных сечений составляем уравнение Бернулли:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{a_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{a_2 v_2^2}{2g} + \Delta h_{1-2} \quad (1)$$

где

z_1 – высота, на которой находится емкость в сечении 1-1;

z_2 – высота, на которой находится емкость в сечении 2-2;

p_1 – давление в емкости в сечении 1-1;

p_2 – давление в емкости в сечении 2-2;

v_1 – скорость потока в сечении 1-1;

v_2 – скорость потока в сечении 2-2;

g – ускорение свободного падения (9,8 м/с²);

ρ – плотность жидкости;

Δh_{1-2} – потери напора.

Оценки показали, что при создании в резервуаре разряжения при помощи шибберного насоса – 0,85 атм (0,086 МПа) пенообразователь будет заполнять емкость со скоростью 0,12 м/с, за время равное 241 с (чуть более 4 мин).

Упрощенно предложенная схема заполнения емкости для пенообразователя пожарного автомобиля марки АЦ 2,5-40 (типа ЗИЛ-433362) с использованием вакуумного насоса представлена на рис. 3.

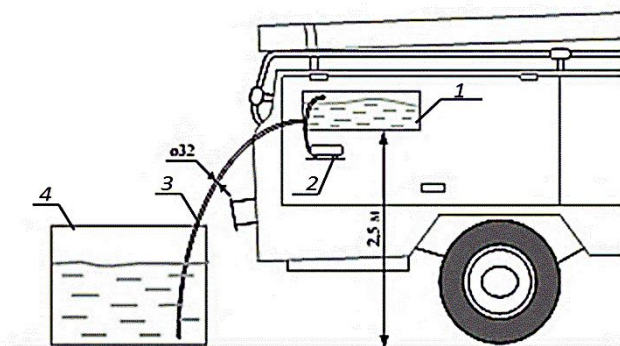


Рис. 3. Заполнение пенообразователем резервуара пожарного автомобиля с помощью стационарного вакуумного насоса 1 – резервуар пожарного автомобиля; 2 – шибберный насос (вакуумный насос); 3 – кислотно-щелочной шланг Ø32 мм (марка КЩ 32); 4 – резервуар с пенообразователем

Fig. 3. Filling the tank of a fire truck with foaming agent using a stationary vacuum pump

1 – fire truck tank; 2 – slide pump (vacuum pump); 3 – acid-base hose Ø32 mm (brand KSCH 32); 4 – tank with foaming agent

Согласно рис. 3 в водопенных коммуникациях вакуумным насосом 2 создается разряжение, из сторонней емкости 4 по кислотно-щелочному шлангу 3 пенообразователь всасывается по системе трубопроводов в пенобак 1. Так автоматизи-

руется процесс заполнения бака для пенообразователя на ПА.

Экспериментальные значения по наполнению бака для хранения пенообразователя на пожарном автомобиле при использовании стационарного вакуумного насоса показали, что среднее время заполнения равно 4,25 мин. Причем, при заполнении устанавливается равномерный ламинарный поток пенообразователя. В результате установившегося истечения пенообразователя пена не образуется, и емкость заполняется полностью за установленный промежуток времени. Анализ времен заполнения, полученных расчетным и экспериментальным способом, показывает, что данные хорошо согласуются между собой, а применение стационарного вакуумного насоса для заполнения пенобака на пожарном автомобиле является целесообразным.

Сравнительный анализ способов заполнения модельной емкости пенообразователем показывает, что использование технических решений по уменьшению пенообразования при перекачке пенообразователя позволяет сократить время заполнения пенобака. Так, на заполнение бака для пенообразователя объемом 200 л (0,2 м³) требуется: 2-3 ч – при переливе из емкости в емкость (вариант 1); 9 мин – самотеком (вариант 2) – с применением самодельных технических приспособлений; 4-5 мин с применением промежуточного насоса (вариант 3). Однако рассматриваемые способы заправки требуют дополнительного технического обоснования, в т.ч. и оценки возможности заправки пенобака с точки зрения устойчивости его материалов в случае заполнения при помощи насоса.

В литературе [26, 27] показано, что при создании современных ПА и оборудования к ним в качестве конструктивных материалов используют сплавы алюминия, нержавеющей сталь и, конечно, различные полимеры и композиты с ними. В настоящее время емкости под пенообразователь на ПА, применяемые подразделениями пожарной охраны изготовлены из стали марки Ст3, нержавеющей (легированной) стали, полиэтилена. Таким образом, расчет резервуара на прочность и устойчивость необходимо проводить в зависимости от типа конструктивного материала, применяемого в изготовлении (сталь, нержавеющая сталь, полиэтилен).

Рассмотрим конструктивные особенности резервуара для пенообразователя ПА и материалы, из которых он изготавливается. В новых и перспективных ПА резервуары в поперечном сечении имеют

форму квадрата с закругленными углами (рис. 4). На верхней части бака 4 установлена заливная горловина 5 с присоединенной к ней рукавной головкой 6. Внизу закреплен вентиль 7 для поступления пенообразователя к насосу. Резервуар крепится хомутами 3 и гайкой 2 к подрамнику. Резервуары (пенобаки) проектируют в отсеке с насосами.

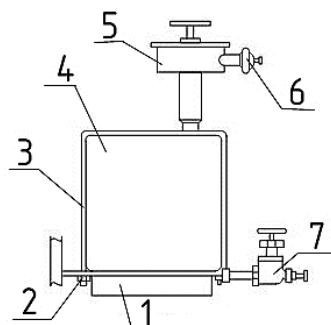


Рис 4. Устройство емкости под пенообразователь пожарного автомобиля: 1 – подрамники; 2 – гайка; 3 – хомут; 4 – бак; 5 – заливная горловина; 6 – рукавная головка; 7 – вентиль
Fig. 4. The device of the container for the foaming agent of a fire truck: 1 – stretchers; 2 – nut; 3 – clamp; 4 – tank; 5 – filler neck; 6 – sleeve head; 7 – valve

Таким образом, резервуар для пенообразователя пожарной автоцистерны является сосудом, который при его заправке, с применением вакуумного насоса, будет находится под внешним давлением 0,0981 МПа (1 кгс/см²). Длительная и бесперебойная работа оборудования, работающего под давлением, является одним из важных условий, которое зависит от механической надежности. Механическая надежность определяется такими техническими показателями как прочность, жесткость, герметичность, устойчивость и долговечность, которые необходимо учитывать при расчете емкостей, работающих под вакуумом [28]. Расчетные значения по толщине стенок емкости для хранения пенообразователя на ПА позволят разработать рекомендации заводам-изготовителям по реализации предлагаемого подхода по заправке резервуара пенообразователем.

Расчет толщины стенок емкости проводился по [29], путем сравнения максимального напряжения в прямоугольной пластине с допускаемым напряжением для рассматриваемого материала (Ст3, легированная сталь, полиэтилен), из которого изготовлена емкость под пенообразователь.

$$\sigma = c \cdot p \cdot \left(\frac{a}{s}\right)^2 = c \cdot \frac{\gamma H}{2} \cdot \left(\frac{a}{s}\right)^2 < \sigma_{\text{доп}}, \quad (2)$$

$$c = \frac{0,75}{1 + 1,61 \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^2}, \quad (3)$$

где p – среднее давление, действующее на пластину, кгс/см²;

a – короткая сторона стенки между укрепляющими элементами, см;

b – длинная сторона стенки между укрепляющими элементами, см;

s – толщина стенки, см;

γ – удельный вес жидкости, кг/см³;

c – коэффициент, зависящий от отношения b/a .

В работе проводился оценочный расчет необходимой толщины стенки емкости под пенообразователь с геометрическими размерами 0,5×0,8×0,5 м объемом 200 л, для АЦ-3,2-40/4(43253), модель 001-МС [30]. Результаты оценки в зависимости от типа конструктивного материала представлены в таблице.

Анализ результатов расчета толщины стенки емкости под пенообразователь на АЦ, в зависимости от типа конструктивного материала, показал, что пенобаки установленные на ПА имеют толщину стенок от 4 до 7 мм. Прочностные характеристики такой конструкции не обеспечивают условия выражения (2) по допустимому напряжению $\sigma_{\text{доп}}=1600$ кгс/см² (156,9064 МПа) для стали марки Ст3 и легированной стали и $\sigma_{\text{доп}}=280$ кгс/см² (27,4586 МПа) для полиэтилена марок 276-73, 276-83, 276-84 [31-33].

Таблица 1

Результаты оценки толщины стенки резервуара под пенообразователь на автоцистерне в зависимости от типа конструктивного материала

Table. 1. The results of the tank wall thickness assessment for the foaming agent on the tanker, depending on the type of structural material

Толщина стенки пенобака, мм	Сталь Ст3, мм	Легированная (нержавеющая) сталь, мм	Полиэтилен, мм
Установленные на АЦ	4	4	7
Расчетные значения без укрепления стенок	8	8	20
Расчетные значения с укреплением стенок	4	4	7

Таким образом, при создании разряжения в 0,0981 МПа (1 кгс/см²) в прямоугольной емкости 0,5×0,8×0,5 м напряжение на стенки для стали марки Ст3 и легированной стали толщиной 4 мм составляет $\sigma = 5857$ кгс/см² (574,3755 МПа), для полиэтилена марок 276-73, 276-83, 276-84 $\sigma=1913$ кгс/см²

(187,6012 МПа), что требует усиливать конструкцию вертикальными укрепляющими стойками. Выполнение условий соответствия по выражению (2) достигается при увеличении толщины стенок емкости в 2-2,5 раза, что повышает себестоимость пенобаков при изготовлении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, наиболее рациональным является предлагаемый в работе способ заполнения пенобака с использованием стационарного вакуумного насоса, эффективность его подтверждена экспериментально и техническим расчетом. Использование предлагаемых технических решений по заправке бака для хранения пенообразователя ПА, с применением стационарного вакуумного насоса, позволит сократить время приведения пожарной автоцистерны в готовность после пожара.

Однако предлагаемый подход к заправке пенобака требует модернизации конструкции емкости. Определены значения создаваемого напряжения в конструкционном материале, при созда-

нии разряжения в 0,0981 МПа (1 кгс/см²) потребуются две вертикальные укрепляющие стойки для емкостей из стали марки Ст3 и легированной стали, а для емкостей из полиэтилена марок 276-73, 276-83, 276-84 потребуются уже три вертикальные укрепляющие стойки. Целесообразно использовать усиление из того же материала, что и емкость под пенообразователь, причем для емкостей из полиэтилена можно увеличить количество ребер жесткости при формовке. Такое конструктивное решение позволит сохранить себестоимость производства емкостей под пенообразователь и расширить функционал при осуществлении заправки пенообразователем. Использование вертикальных укрепляющих стоек и ребер жесткости позволит сохранить геометрические параметры толщины стенки пенобака при производстве.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence of a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 31385-2016. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200138636>. (дата обращения: 26.02.2024).
2. Производственные операции. Наполнение, опорожнение и зачистка резервуаров. Сайт компании «Газовик-нефть», г. Саратов. URL: <https://gazovik-neft.ru/directory/article/napolnenie-oporojnenie-rezervuarov.html>. (дата обращения: 26.02.2024).
3. РД 153-39.4-078-01. Правила технической эксплуатации резервуаров магистральных нефтепроводов и нефтебаз. URL: <https://docs.cntd.ru/document/471808628>. (дата обращения: 26.02.2024).
4. Максименко А.Ф., Дьяченко И.Ф., Лоповок С.С. Уточнение методики расчета потерь нефти в резервуарах типа РВС от "больших дыханий". *Территория Нефтегаз*. 2016. № 9. С. 92-95.
5. Максименко А.Ф., Дьяченко И.Ф., Лоповок С.С. К вопросу о расчете потерь нефтепродуктов от "больших дыханий". *Вестник Ассоциации буровых подрядчиков*. 2016. № 4. С. 47-48.
6. Требования к скоростям заполнения резервуаров. Сайт компании ООО "РОСПАЙП", г. Екатеринбург. URL: https://ros-pipe.ru/tekh_info/tekhnicheskie-stati/khranenie-i-transportirovka-nefteproduktov/trebovaniya-k-skorostyam-zapolneniya-rezervuarov/. (дата обращения: 26.02.2024).
7. Приказ МЧС России от 16.09.2024 № 777 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-mchs-rossii-ot-16092024-n-777-ob-utverzhenii/>. (дата обращения: 09.04.2025).

REFERENCES

1. GOST 31385-2016. Vertical cylindrical steel tanks for oil and oil-products. General specifications. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200138636>. (26.02.2024). (in Russian).
2. Manufacturing operations. Filling, emptying and cleaning of tanks. URL: <https://gazovik-neft.ru/directory/article/napol-nenie-oporojnenie-rezervuarov.html>. (26.02.2024). (in Russian).
3. RD 153-39.4-078-01. Rules for the technical operation of reservoirs of main oil pipelines and oil depots. URL: <https://docs.cntd.ru/document/471808628>. (26.02.2024). (in Russian).
4. Maksimenko A.F., Dyachenko I.F., Lopovok S.S. Improving of methodology of estimating working evaporative losses. *Territoriya Neftegaz*. 2016. N 9. P. 92-95. (in Russian).
5. Maksimenko A.F., Dyachenko I.F., Lopovok S.S. About estimating of working evaporative losses of oil products. *Vestnik Associacii burov'y'h podryadchikov*. 2016. N 4. P. 47-48. (in Russian).
6. Tank filling rate requirements. URL: https://ros-pipe.ru/tekh_info/tekhnicheskie-stati/khranenie-i-transportirovka-nefteproduktov/trebovaniya-k-skorostyam-zapolneniya-rezervuarov/. (26.02.2024). (in Russian).
7. Prikaz MCHS Rossii ot 16.09.2024 № 777 «Ob utverzhdenii Boyevogo ustava podrazdeleniy pozharnoy okhrany, opredelyayushche-go poryadok organizatsii tusheniya pozharov i provedeniya avariyno-spatatel'nykh rabot» URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-mchs-rossii-ot-16092024-n-777-ob-utverzhenii/>. (09.04.2025). (in Russian).
8. GOST R 50588-2012. Foaming agents for fire extinguishing. General technical requirements and test methods. <https://docs.cntd.ru/document/1200093407>. (26.02.2024). (in Russian).

8. ГОСТ Р 50588-2012. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200093407>. (дата обращения: 26.02.2024).
9. ООО «Завод Спецхимпродукт», г. Москва. URL: <https://www.spena.ru/articles/typy-penoobrazovateley/>. (дата обращения: 26.02.2024).
10. Гришина Е.П., Кудрякова Н.О., Предеин А.Н., Беляев С.В. Кинетика коррозии стали марки Ст3 в пенообразователе для пожаротушения ПО-6ЦТ. Электрохимическое исследование. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2018. Т. 61. Вып. 1. С. 30-36. DOI: 10.6060/tcct.20186101.5666.
11. Костяев А.А., Балмасов А.В., Инсаридзе Л.Н. Влияние ингибиторов на коррозию углеродистой стали в растворах пенообразователя. *Рос. хим. жс. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2014. Т. LVIII. № 2. С. 15-20.
12. Колокольникова А.С., Красновских М.П., Пономарев Д.А., Щербань М.Г. Влияние водосмешивающейся смазочно-охлаждающей жидкости на основе поверхностно-активных веществ на коррозию стали Р6М5 в нейтральной среде. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 4. С. 39-46. DOI:10.6060/ivkkt.20226504.6546.
13. Вилкова Н.Г., Мишина С.И., Дорчина О.В. Устойчивость пен, содержащих дизельное топливо. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2018. Т. 61. Вып. 6. С. 48-53. DOI: 10.6060/tcct.20186106.5361.
14. Цымбалов А.С., Ларина А.И., Толстоухов С.А., Блиничев В.Н. Исследование влияния типа ПАВ и числа оборотов роторного диспергатора на стабильность эмульсий в системе масло – вода. *Рос. хим. жс. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2019. Т. LXIII. № 3-4. С. 86-90. DOI: 10.6060/rcj.2019633.12.
15. Шароварников А.Ф., Шароварников С.А. Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав, свойства, применение. М.: ООО «Издательство «Пожнаука». 2005. 335 с.
16. Дерзаева Л.А., Курмаева А.И., Барабанов В.П., Гайнутдинова Р.Р., Шигабиева Ю.А. Анализ пенообразующих свойств промышленных поверхностно-активных веществ и их бинарных смесей для синтетических моющих средств. *Вестник Технологического университета*. 2016. Т. 19. № 5. С. 18-20.
17. Абрамов В.А., Богданова С.А., Шигабиева Ю.А., Вольфсон С.И. Влияние поверхностно-активных веществ на реологические свойства гелей на основе полиакриловой кислоты. *Вестник Технологического университета*. 2022. Т. 25. № 7. С. 70-73. DOI: 10.55421/1998-7072_2022_25_7_70.
18. Яковлев А.А., Турицына М.В., Кузнецов А.С. Исследование влияния различных реагентов на разрушение пен и предупреждение пенообразования у буровых растворов. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело*. 2015. Т. 14. № 15. С. 48-56. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.15.6.
19. Лутфуллина Г.Г., Зиннатуллина З.А. О возможности регулирования пенообразующей способности композиций ПАВ. *Вестник Технологического университета*. 2015. Т. 18. № 15. С. 197-199.
20. Николаев П.В., Козлов Н.А., Петрова С.Н. Основы химии и технологии производства синтетических моющих средств. Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т. 2007. 116 с.
21. ИТС 31-2017. Производство продукции тонкого органического синтеза. М.: Бюро НДТ. 2017. 167 с.
22. Моисеев Ю.Н., Теребнев В.В. Пожарная техника. Кн. 2. Мобильные средства пожаротушения. Екатеринбург: ООО «Издательство «Калан». 2019. 248 с.
9. ООО «Zavod Speczximprodukt». URL: <https://www.spena.ru/articles/typy-penoobrazovateley/>. (26.02.2024). (in Russian).
10. Grishina E.P., Kudryakova N.O., Predein A.N., Belyaev S.V. Kinetics of corrosion of steel St3 in po-6ct foaming agent for fire extinguishing. Electrochemical investigation. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2018. V. 61. N. 1. P. 30-36. DOI: 10.6060/tcct.20186101.5666. (in Russian).
11. Kostyaev A.A., Balmasov A.V., Inasaridze L.N. Effect of inhibitors on corrosion of carbon steel in foaming agent solutions. *Ros. Khim. Zh.* 2014. V. 58. N 2. P. 15-20. (in Russian).
12. Kolokolnikova A.S., Kransnovskikh M.P., Ponomarev D.A., Shcherban M.G. Influence of a water-miscible surfactant-based cutting fluid on the corrosion of R6M5 steel in a neutral medium. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 4. P. 39-46. DOI: 10.6060/ivkkt.20226504.6546. (in Russian).
13. Vilkova N.G., Mishina S.I., Dorchina O.V. Stability of foams containing diesel fuel. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2018. V. 61. N 6. P. 48-53. DOI: 10.6060/tcct.20186106.5361. (in Russian).
14. Tsybalov A.S., Larina A.I., Tolstoukhov S.A., Blinichev V.N. Study of the influence of surface type and number of speeds of a rotor dispersanter on the stability of emulsions in the oil-water system. *Ros. Khim. Zh.* 2019. V. 63. N 3-4. DOI: 10.6060/rcj.2019633.12. (in Russian).
15. Sharovarnikov A.F., Sharovarnikov S.A. Foaming agents and foams for fire extinguishing. Composition, properties, application. M.: Pozhnauka. 2005. 335 p. (in Russian).
16. Derzaeva L.A., Kurmaeva A.I., Barabanov V.P., Gajnutdinova R.R., Shigabieva Yu.A. Analysis of foaming properties of industrial surfactants and their binary mixtures for synthetic detergents. *Herald of technological University*. 2016. V. 19. N 5. P. 18-20. (in Russian).
17. Abramov V.A., Bogdanova S.A., Shigabieva Yu.A., Vol'fson S.I. The influence of surfactants on the rheological properties of polyacrylic acid-based gels. *Herald of technological University*. 2022. V. 25. N 7. P. 70-73. DOI: 10.55421/1998-7072_2022_25_7_70. (in Russian).
18. Iakovlev A.A., Turitsyna M.V., Kuznetsov A.S. Research into effects of certain reagents on foam destruction and prevention of foam-formation in drill fluids. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*. 2015. V. 14. N 15. P. 48-56. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.15.6. (in Russian).
19. Lutfullina G.G., Zinnatullina Z.A. On the possibility of regulating the foaming capacity of surfactant compositions. *Herald of technological University*. 2015. V. 18. N 15. P. 197-199. (in Russian).
20. Nikolaev P.V., Kozlov N.A., Petrova S.N. Fundamentals of chemistry and technology of production of synthetic detergents. Ivanovo: ISUCT. 2007. 116 p. (in Russian).
21. ИТС 31-2017. Production of fine organic synthesis products. M.: Byuro NDT. 2017. 167 p.
22. Moiseev Yu.N., Terebnev V.V. Fire-fighting equipment. Book 2. Mobile fire-fighting equipment. Yekaterinburg: ООО "Izdatelstvo "Kalan". 2019. 248 p. (in Russian).
23. Vakuumny'j nasos AVS-01E'. Rukovodstvo po e'kspluatatsii. Miass: AO «Pozhgidravlika». 2004. 25 p. URL: https://pojaru.net.ru/load/pozharnye_avtomobili/39-1-0-45 (in Russian).

23. Вакуумный насос ABC-01Э. Руководство по эксплуатации. Миасс: АО «Пожгидравлика». 2004. 25 с. URL: https://pojaru.net.ru/load/pozharnye_avtomobili/39-1-0-45. (дата обращения: 26.02.2024).
24. **Кречко А.В.** Гидравлика и гидропневмопривод: методические указания к практическим занятиям. Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ). 2015. 52 с.
25. **Иванов В.И.** Вакуумная техника. СПб.: Университет ИТМО. 2016. 129 с.
26. **Яковенко Ю.Ф.** Пожарные автомобили нового поколения. Современная ситуация и перспективы. *Пожарная безопасность: специализированный каталог*. 2015. С. 82-86.
27. **Яковенко Ю.Ф.** Современные пожарные автомобили: модельные ряды, эффективные решения и технологии. *Пожарная безопасность: специализированный каталог*. 2016. С. 124–128.
28. **Колобов М.Ю., Воробьев С.В., Миронов Е.В., Куваева Е.Ю., Сахаров С.Е., Колобова В.В.** Влияние режимных параметров оборудования на интенсивность изнашивания конструкционных материалов. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2023. Т. 67. № 1. С. 64-69. DOI: 10.6060/R CJ.2022671.9.
29. **Назаров А.А., Алексеев В.А., Гришин Н.С., Зарипов Р.Р.** Основы расчета и конструирования химических машин и аппаратов. Казань: Изд-во КНИТУ. 2014. 80 с.
30. Пожарная автоцистерна АЦ-3,2-40/4(43253) модель 001-МС. Руководство по эксплуатации. М: ЗАО «ПО «Спецтехника пожаротушения», 2011. 162 с.
31. **Красновских М.П., Пономарев В.Г., Мокрушин И.Г.** Влияние физического пенообразователя на свойства жестких пенополиуретанов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. № 11. С. 90-97. DOI: 10.6060/ivkkt.20226511.6657.
32. **Старчак Е.Е., Ушакова Т.М., С.С. Гостев, Гринев В.Г., Крашенинников В.Г., Новокшорова Л.А.** Влияние структуры полиолефиновой фракции на морфологию и свойства полимерных композиций на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2023. Т. LXVII. № 4. С. 19-22. DOI: 10.6060/R CJ.2023674.4.
33. **Гусаров С.С., Кудинова О.И., Рывкина Н.Г., Маклакова И.А., Ладыгина Т.А., Новокшорова Л.А.** Композиционные материалы на основе Al_2O_3 с двухслойным полимерным покрытием из сверхвысокомолекулярного полиэтилена и полиэтилена: синтез, свойства и переработка 3D печатью методом селективного лазерного спекания. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2023. Т. LXVII. № 4. С. 3-7. DOI: 10.6060/R CJ.2023674.1.
24. **Krechko A.V.** Hydraulics and hydropneumatic drive: guidelines for practical classes. Novocherkassk: PSRSP (NPI). 2015. 52 p. (in Russian).
25. **Ivanov V.I.** Vacuum technology. S.Pb.: UITMO. 2016. 129 p. (in Russian).
26. **Yakovenko Yu.F.** New generation fire trucks. Current situation and prospects. *Pozharnaya bezopasnost': specializirovanny'j katalog*. 2015. P. 82-86. (in Russian).
27. **Yakovenko Yu.F.** Modern fire trucks: model ranges, effective solutions and technologies. *Pozharnaya bezopasnost': specializirovanny'j katalog*. 2016. P. 124–128. (in Russian).
28. **Kolobov M.Yu., Vorobyov S.V., Mironov E.V., Kuvaev E.Yu., Sakharov S.E., Kolobova V.V.** Influence of mode parameters of the equipment on the intensity of wear of structural materials. *Ros. Khim. Zh.* 2023. V. 67. N 1. P. 64-69. DOI: 10.6060/R CJ.2022671.9.
29. **Nazarov A.A., Alekseev V.A., Grishin N.S., Zaripov R.R.** Fundamentals of calculation and design of chemical machines and apparatuses. Kazan': KSTU. 2014. 80 p. (in Russian).
30. *Pozharnaya avtotsisterna ACz-3,2-40/4(43253) model` 001-MS. Rukovodstvo po e'kspluatatsii*. M: ZAO «PO «Specztekhnika pozharotusheniya», 2011. 162 p. (in Russian).
31. **Krasnovskikh M.P., Ponomarev V.G., Mokrushin I.G.** Physical foaming agent influence on rigid polyurethane foams properties. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 11. P. 90-97. DOI: 10.6060/ivkkt.20226511.6657.
32. **Starchak E.E., Ushakova T.M., Gostev S.S., Grinev V.G., Krashenninnikov V.G., Novokshonova L.A.** Effect of the polyolefin fraction structure on the morphology and properties of polymer compositions based on ultrahigh molecular weight polyethylene. *Ros. Khim. Zh.* 2023. V. 67. N 4. P. 19-22. DOI: 10.6060/R CJ.2023674.4.
33. **Gusarov S.S., Kudinova O.I., Ryvkina N.G., Maklakova I.A., Ladygina T.A., Novokshonova L.A.** Composite Materials Based on Al_2O_3 with a Two-Layer Polymer Coating of Ultra-High Molecular Weight Polyethylene and Polyethylene: Synthesis, Properties, and Processing by 3D Printing by Selective Laser Sintering *Ros. Khim. Zh.*. 2024. V. 94. P. 1532-1536. DOI: 10.1134/S107036322406032X.

Поступила в редакцию 26.03.2024

Принята к опубликованию 10.04.2025

Received 26.03.2024

Accepted 10.04.2025