

УДК 621.642.84

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДЫХАТЕЛЬНЫХ КЛАПАНОВ ПРИ ТЕОРЕТИЧЕСКИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ ИХ СРАБАТЫВАНИЯ

Левитин Роман Евгеньевич¹,
746636@mail.ru

Цыцельская Вероника Алексеевна¹,
tsyselskayaveronika@gmail.com

¹ Тюменский индустриальный университет,
Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38.

Актуальность. Статья посвящена проблеме потерь нефти и нефтепродуктов при эксплуатации резервуарных парков, наличие которых затрагивает экономические и экологические аспекты рационального использования ресурсов. Для сокращения выбросов углеводородов на предприятиях на данный момент используют различные технологические средства. Достигнутый эффект от применения существующих и разрабатываемых способов по борьбе с потерями определяется использованием специализированных методик, которые являются несовершенными. Поэтому возможность достоверной оценки способов сокращения потерь является одной из основных задач при эксплуатации резервуарных парков и правильного выбора использования технологических средств их оснастки для установления действительно достигаемых выбросов.

Цель: определить эффективность сокращения выбросов путем хранения нефти под избыточным давлением как действенного способа.

Объект: резервуар вертикальный стальной номинальным объемом 10000 м³, конструкция которого способна выдерживать различные нагрузки, и дыхательная арматура с возможностью настройки на широкий диапазон давлений, в том числе значительного превышающий расчетный интервал давлений для реальных резервуаров вертикальных стальных, установленных на данный момент.

Методы: идеально-газовое приближение в рамках термодинамического подхода.

Результаты. Описаны результаты проведенного авторами исследования, указывающие, что настройка дыхательных клапанов на большее избыточное давление срабатывания приводит к более сложной зависимости потерь от производимых дыханий в резервуаре, т. е. потери от «малых» дыханий могут не иметь прямой корреляции с увеличением давления срабатывания клапана. Установлено, что при теоретически высоких давлениях срабатывания дыхательной арматуры в диапазоне от 9,13 до 670,88 кПа может наблюдаться рост потерь от производимых «малых» дыханий в 7,25 раз, что указывает на необходимость новых технологий и способов, способных исключить выбросы паровоздушной смеси.

Ключевые слова:

паровоздушная смесь, потери смеси, резервуар, эффективность, дыхательный клапан, давление срабатывания, нефть, нефтепродукты, сокращение потерь, «большие» дыхания, «малые» дыхания, газовое пространство.

Введение

На данный момент проблема сокращения потерь нефти и нефтепродуктов является одним из важнейших направлений в области ресурсосбережения топливно-энергетического сырья и развития экономики компаний нефтяной промышленности [1, 2].

Способность нефти и нефтепродуктов к испарению определяет одни из основных причин потерь легких фракций углеводородов при их хранении [3–6]. Большое влияние на величину потерь имеют производственные операции заполнения и опорожнения резервуаров, а также изменения условий окружающей среды. Высокая испаряемость большинства сортов нефти, повышение температуры газового пространства и понижение атмосферного давления приводят к возникновению «малых» дыханий в резервуаре [7]. «Большие» дыхания осуществляются при технологических процессах слива и налива нефтепродуктов, в результате которых происходит вытеснение паровоздушной смеси в атмосферу или поступление воздуха через дыхательную арматуру [8, 9].

Для повышения эффективности работы предприятий транспортной инфраструктуры нефтяной отрасли в области сокращения выбросов углеводородов учеными [10–14] производится поиск и разработка реше-

ний оснастки объектов хранения и сбыта нефти и нефтепродуктов более совершенными технологическими средствами [15–18]. Для доказательства ответственности внедрения новых разработок относительно существующих стоят проблемы использования методик расчета с невысокой степенью достоверности, нуждающихся в совершенствовании, а также проблемы оценки эффективности применения существующих способов [19–22].

Одним из эффективных способов уменьшения выбросов считается хранение нефти и нефтепродуктов под избыточным давлением. С целью сокращения потерь в этом методе резервуар конструктивно рассчитывают для работы под избыточным давлением, что, согласно [23], предотвращает потери от «малых» и значительно снижает потери от «больших» дыханий.

В данной статье рассматривается теоретическая эффективность применения дыхательных клапанов, используемых для регулирования избыточного и вакуумметрического давления внутри резервуаров при таких условиях, в которых резервуар обладает прочностью выдерживать различные рабочие нагрузки, а потери паровоздушной смеси определяются только настройкой срабатывания клапанов на различный диапазон значений. Произведенный авторами

расчет учитывает влияние колебаний температуры газового пространства резервуара и атмосферного давления.

Объект и методы исследования

Для выявления эффективности хранения нефтепродуктов под высоким избыточным давлением как действенного способа снижения выбросов нефтепродуктов авторами была проведена оценка потерь паровоздушной смеси от производимых дыханий в резервуаре во время его эксплуатации с учетом возможности работы дыхательных клапанов при различных давлениях их срабатывания. Под различными давлениями срабатывания подразумевается настройка дыхательной арматуры на любые избыточные и вакуумметрические давления, которые могут значительно превышать рабочие (расчетные) давления, установленные на данный момент на резервуарах для хранения нефти и нефтепродуктов.

Расчет произведен для резервуара типа РВС с номинальным объемом 10000 м^3 , конструкция которого способна выдерживать различные нагрузки, в том числе выше критических. Данное условие было принято для возможности рассмотрения зависимости величины выбросов паровоздушной смеси (ПВС) от давлений срабатывания клапана при различных значениях. Известно, что при высоких избыточных давлениях в резервуаре могут наступить предельные деформации, способные привести к нарушению его работоспособности или аварийной работе.

Хранение нефти в резервуаре с момента налива осуществлялось в летний период – с июня по август включительно. В качестве географического местоположения резервуара выбран город Тюмень. Гидрометданные взяты из архива погоды, в котором интервальность замера температуры окружающего воздуха и атмосферного давления составляла каждые 3 часа. Также учитывалось, что резервуар первоначально не заполнен, т. е. уровень нефти в резервуаре минимален и равен высотной отметке расположения приемо-

раздаточного патрубка по его нижней образующей. Для расчета абсолютного давления в резервуаре при окончании процесса налива нефти принималось, что объем паровоздушного пространства составлял 1578 м^3 , т. е. степень заполнения равна 95 %.

Допускалось, что колебания температуры окружающей среды соответствовали колебаниям температуры газового пространства резервуара, в расчете не учитывались процессы испарения нефтепродуктов.

Предполагалось, что в резервуаре с момента его заполнения концентрация паров нефти в газовой смеси была задана и не изменялась, т. е. принята постоянной. В проведенном исследовании вычислялась именно масса потерь ПВС, а не паров нефти. Основным параметром в расчете является давление, создаваемое паровоздушной смесью в ограниченном газовом пространстве под действием изменения температуры и атмосферного давления окружающей среды.

Первоначально для расчета выбросов ПВС была найдена суммарная масса паров газового пространства опорожненного резервуара в начальный момент налива в него нефти. Необходимость этого заключалась в возможности нахождения минимального абсолютного давления ($P_{абс}$), которое могло бы установиться в резервуаре при удержании всей паровоздушной смеси в момент окончания процесса заполнения.

Абсолютное давление в резервуаре при степени заполнения 95 %, согласно уравнению Менделеева-Клапейрона, определяется следующим уравнением:

$$P_{абс} = \frac{m R T_k}{\mu_{п.с.} \cdot (V_{кр} + 0,05 V_{ст})}, \quad (1)$$

где m – масса паровоздушной смеси, удержанной с начала момента налива нефти в резервуар; R – универсальная газовая постоянная; T_k – температура в резервуаре в момент окончания заполнения резервуара нефтью; $\mu_{п.с.}$ – молярная масса ПВС в момент начала налива нефти в резервуар; $V_{кр}$ – объем газового пространства под крышей резервуара; $V_{ст}$ – объем цилиндрической части резервуара (рис. 1).

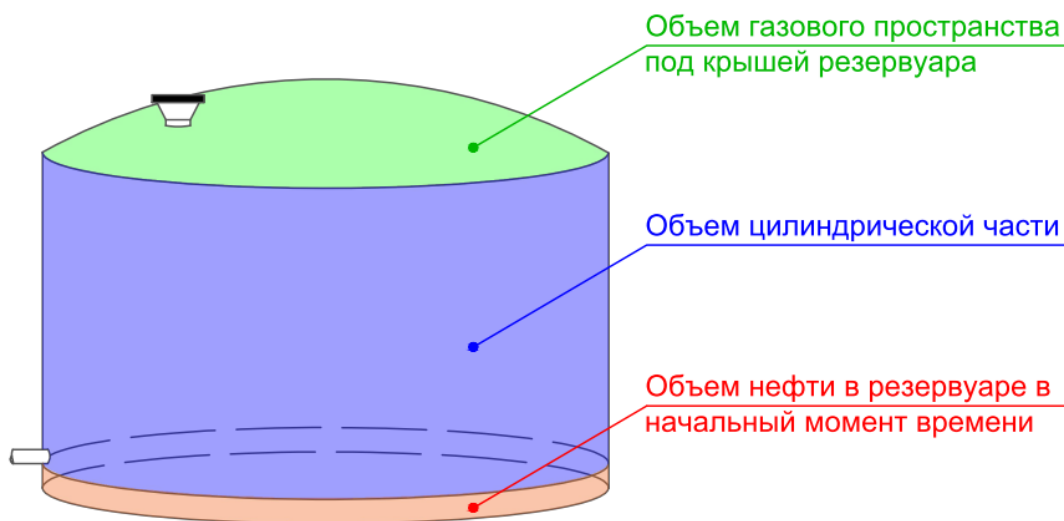


Рис. 1. Схематическое изображение резервуара в начальный момент заполнения

Fig. 1. Schematic representation of the tank at the initial moment of filling

Для определения массы паровоздушной смеси в газовом пространстве с момента налива первоначально необходимо учесть объем пространства, свободного от нефти. Принималось, что уровень нефти в резервуаре был минимален, равен высоте приемо-раздаточного патрубка, тогда объем нефти из всего геометрического объема резервуара до начала момента заполнения составил:

$$V_0 = S \cdot h_{\text{п}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} h_{\text{п}}, \quad (2)$$

где S – площадь днища резервуара; $h_{\text{п}}$ – высота расположения приемо-раздаточного патрубка; d – диаметр резервуара.

Геометрический объем всего резервуара складывается из цилиндрической части и шарового сегмента – крышки (может применяться любой другой тип с перерасчетом объема):

$$V = V_{\text{ст}} + V_{\text{кр}} = \pi r^2 h_{\text{ст}} + \pi h_{\text{кр}}^2 \cdot \left(R - \frac{1}{3} h_{\text{кр}} \right), \quad (3)$$

где $h_{\text{ст}}$ – высота стенки резервуара; r – радиус днища резервуара; R – радиус сферической крышки резервуара; $h_{\text{кр}}$ – высота крышки резервуара.

Массу паровоздушной смеси в начальный момент можно выразить через ее плотность. Предполагалось, что наличие остатка нефти до начала заполнения являлось причиной существования паров нефти в газовом пространстве, концентрация которых принималась также постоянной:

$$m = \rho_{\text{п.с.}} \cdot (V - V_0), \quad (4)$$

где $\rho_{\text{п.с.}}$ – плотность паровоздушной смеси в начальный момент.

Исходя из соотношений объемов паров нефти и воздуха в резервуаре плотность определяется как:

$$\rho_{\text{п.с.}} = \frac{\rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{н}} + \rho_{\text{в}} \cdot V_{\text{в}}}{V_{\text{н}} + V_{\text{в}}} = \frac{\rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{н}} + \rho_{\text{в}} \cdot (V - V_0 - V_{\text{н}})}{V - V_0}, \quad (5)$$

где $\rho_{\text{в}}$, $\rho_{\text{н}}$ – плотность воздуха и паров нефти в газовом пространстве соответственно; $V_{\text{в}}$, $V_{\text{н}}$ – парциальные объемы воздуха и паров нефти в газовом пространстве соответственно.

Объем газового пространства, занятого парами нефти, можно определить основываясь на уравнениях молекулярной физики:

$$V_{\text{н}} = \frac{\vartheta R T_{\text{к}}}{P_0}, \quad (6)$$

где P_0 – давление в резервуаре в момент начала налива нефти; ϑ – количество вещества паров нефти в момент заполнения нефтью резервуара.

Количество вещества паров нефти:

$$\vartheta = \frac{P_{\text{н}}(V - V_0)}{RT}, \quad (7)$$

где $P_{\text{н}}$ – парциальное давление паров нефти до налива.

Величина парциального давления паров нефти используется для расчета первоначальной массы паровоздушной смеси, находившейся в РВС. В дальнейшем расчет ведется именно для массы ПВС с объемной концентрацией, принятой постоянной, что является допущением.

Молярную массу можно определить, используя формулу Менделеева–Клапейрона:

$$\mu_{\text{п.с.}} = \frac{\rho_{\text{п.с.}} RT}{P_0}. \quad (8)$$

Дальнейший расчет осуществлялся согласно представленному алгоритму (рис. 2).

Входным параметром для идентификации потерь ПВС является значение абсолютного давления $P_{\text{абс}}$ (1), рассчитанного с использованием формул (2)–(8). Для возможности оценки количества находящейся массы паровоздушной смеси в резервуаре после «большого» дыхания алгоритм расчета сводится к сравнению абсолютного давления ($P_{\text{абс}}$), вызванного сжатием газового пространства, и давления, которое может установиться в резервуаре с учетом использования дыхательной оснастки. На основе этих сравнений определяется давление ($P_{\text{р-ра(уточн.)}}$), установившееся в резервуаре и находящееся в диапазоне давлений работы клапана.

При открытии клапана на избыточное давление часть массы ПВС вытравливается в атмосферу с РВС до установочных (расчетных) значений клапана ($P_{\text{изб}}$). Количественные потери смеси (Δm) определяются разницей между массами ПВС, находившимися в РВС до ($m_{\text{н-1}}$) и после момента срабатывания клапана ($m_{\text{н}}$).

Аналогично рассчитывается изменение массы ПВС при работе клапана на вакуум ($P_{\text{вак}}$). В частности, случаи давления срабатывания клапана на вакуум возможны, когда атмосферное давление больше абсолютного давления в резервуаре на величину настройки клапана на вакуум.

Масса ПВС не изменится при давлении газового пространства, находящегося в диапазоне работы дыхательной арматуры ($\Delta m=0$).

При дальнейшем хранении нефти в резервуаре на изменение состояния системы газового пространства влияет изменение во времени условий окружающей среды. Возможность дальнейшего расчета изменений массы ПВС в резервуаре с течением времени определяется на основе прироста или уменьшения значений атмосферного давления ($P_{\text{атм}}$) и температуры воздуха ($T_{\text{н}}$) по отношению к давлению, установленному в резервуаре на момент по прошествии действия «выдоха» или «вдоха» ($P_{\text{р-ра(уточн.)}}$). В результате полученное значение ($P_{\text{р-ра(н)}}$) уточняется, и цикл расчета повторяется с учетом изменений условий окружающей среды.

Результаты

Произведенное авторами исследование установило, что настройка дыхательных клапанов на большее избыточное давление срабатывания приводит к более сложной зависимости потерь от производимых дыханий в резервуаре. В связи с этим при установке в клапанах определенных значений давлений часть потерь от «больших» дыханий может переходить в область потерь от «малых» дыханий. Последнее приводит к иному выводу в источнике [23], к «исключению» выбросов от «больших» дыханий и только частично от «малых».

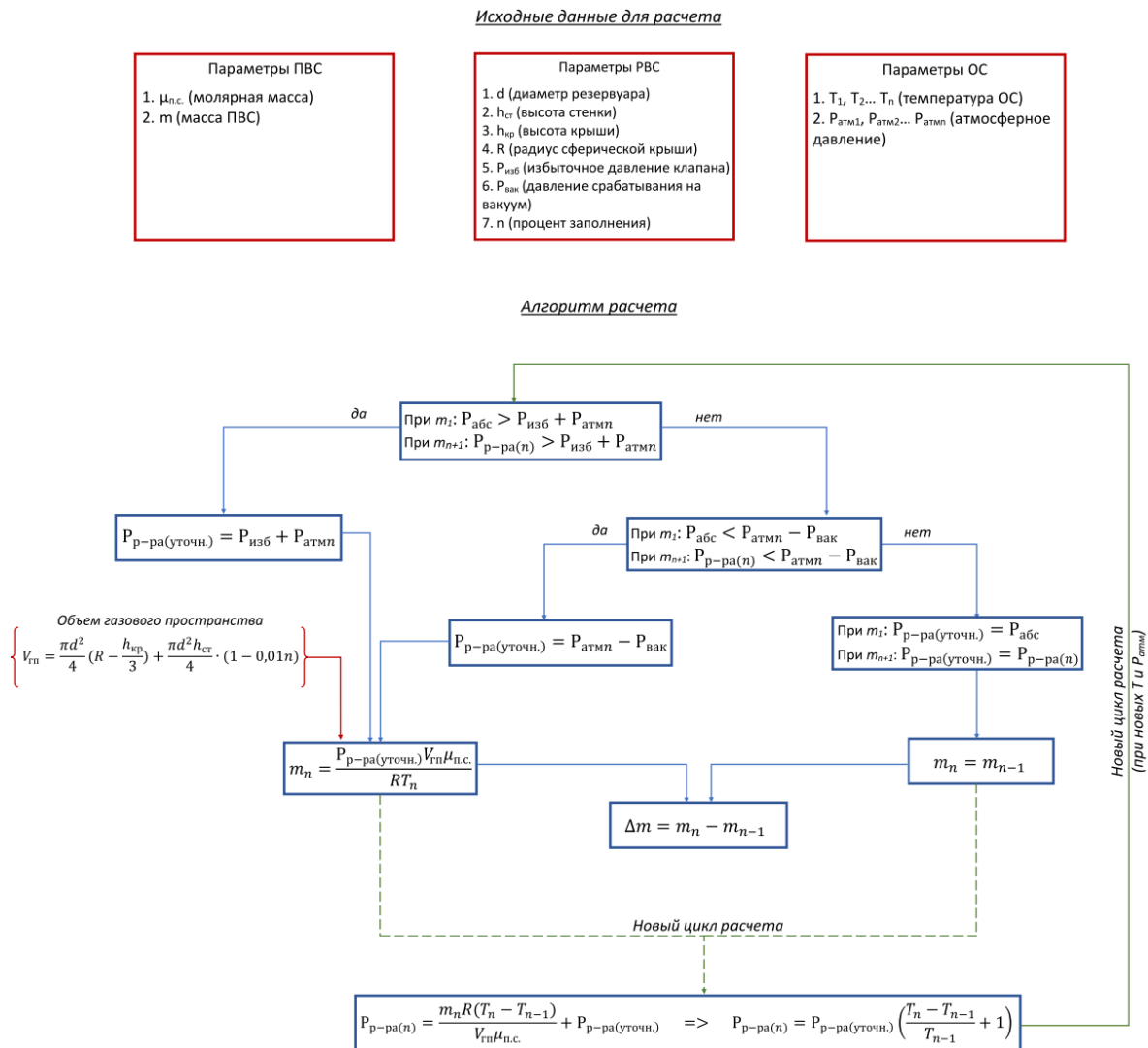


Рис. 2. Алгоритм для расчета выбросов паровоздушной смеси
Fig. 2. Algorithm for calculating emissions of a vapor-air mixture

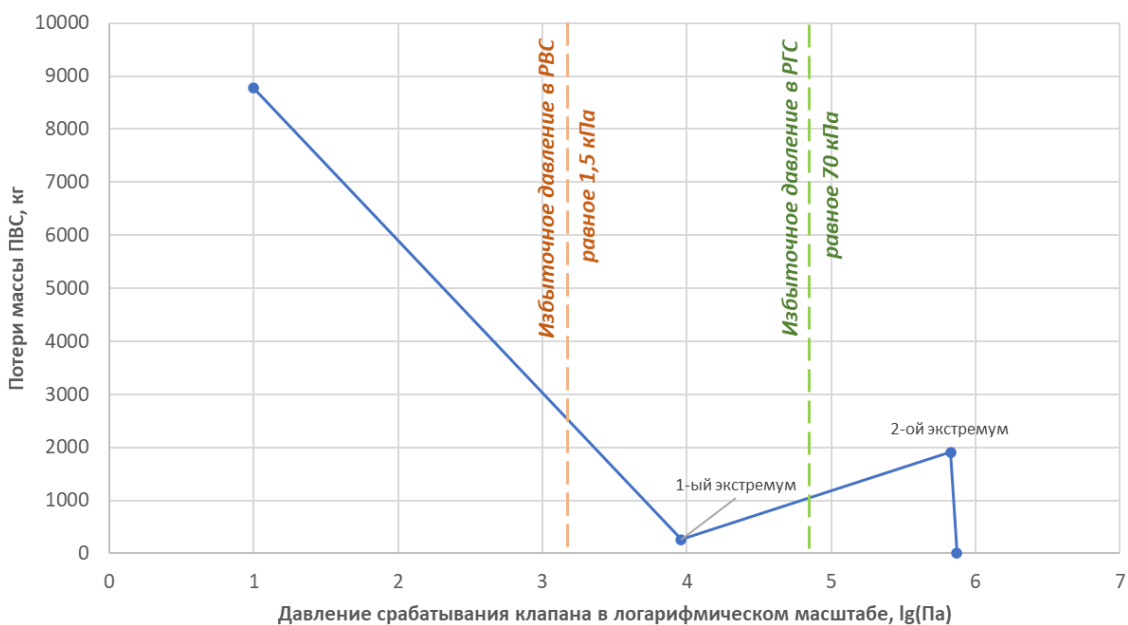


Рис. 3. Зависимость потерь массы паровоздушной смеси от давления срабатывания клапана при «малых» дыханиях
Fig. 3. Dependence of the mass loss of the vapor-air mixture on the valve actuation pressure at «small» breaths

В процессе приема нефти и нефтепродуктов происходит уменьшение газового пространства и сжатие паровоздушной смеси, приводящее к росту абсолютного давления в резервуаре. В зависимости от величины давления срабатывания клапана только определенная часть ПВС удерживается и не выбрасывается в атмосферу. При дальнейшей эксплуатации под действием температуры и атмосферного давления для оставшейся части смеси характерны процессы увеличения или уменьшения объёмов пара и газа, приводящие к последующим потерям или поступлению воздуха соответственно. В случае настройки клапанов на большее давление срабатывания количество ПВС, удерживаемое при «большом» дыхании, становится выше, и величина технологических потерь в сильной мере начинает зависеть от температурных и атмосферных колебаний окружающей среды. Данные колебания в ограниченном газовом пространстве приводят к увеличению внутренней энергии и сжатию смеси, увеличению абсолютного давления и последующим потерям при «малых» дыханиях.

Согласно проведенному расчету, зависимость потерь масс паровоздушной смеси от величины давления срабатывания клапана имеет ярко выраженные экстремумы (рис. 3), которые свидетельствуют о различной эффективности применения клапанов при определенных значениях давления.

Обсуждение

Диапазон давления срабатывания до значения первого экстремума указывает на первоначально эффективное применение дыхательных клапанов по борьбе с потерями от «малых» дыханий. Объясняется это тем, что при теоретической оснастке резервуара дыхательной арматурой на избыточное давление, близкое к атмосферному, основная часть потерь приходится на «большое» дыхание, по сравнению с которым потери от «малых» дыханий оставшейся части значительно меньше. На указанном участке графика, несмотря на снижение потерь от «малых» дыханий, общие потери смеси при хранении самые большие.

При последующем теоретическом увеличении давления срабатывания клапана до давлений, много превышающих его технические возможности, наблюдается увеличение потерь от «малых» дыханий, которых, казалось, не должно быть. Дело в том, что при возможности обеспечения в резервуаре высокого избыточного давления потери при «большом» дыхании существенно сокращаются и приводят к удержанию в нем значительной массы смеси. Молекулы данной смеси при возрастании температуры в ограниченном газовом пространстве увеличивают свою скорость движения и чаще соударяются о стенки внутренней поверхности резервуара, что приводит к дальнейшему росту давления в нем. При достижении его предельного значения в атмосферу стравливается сжатая паровоздушная смесь, удержанная преимущественно с момента налива. Другими словами, общее сокращение потерь на выявленном промежутке давлений достигается путем снижения выбросов смеси от «больших» дыханий и перехода их в область «малых» ды-

ханий. Отмечено, что на данном участке потери смеси от «малых» дыханий будут увеличиваться до момента наступления в резервуаре абсолютного давления, способного удержать всю массу паров смеси, хранящейся в резервуаре с момента опорожнения. Это указывает на то, что потери от «больших» дыханий в конечном счете станут равны нулю, и все выбросы будут приходиться только на «малые» дыхания. Общие потери паровоздушной смеси при увеличении давления срабатывания клапана уменьшаются.

На последнем промежутке наблюдается сокращение потерь ПВС при «малых» дыханиях. Причиной такого снижения является возможность дыхательного клапана достигать и превосходить значение избыточного давления, которое создается с момента налива паровоздушной смесью. Возможность удержания большего давления не является фактором, действующим на увеличение степени сжатия смеси ввиду ограниченности массы ПВС, сохранившейся с момента поступления нефти в резервуар. Создается «запас» давления, который позволяет минимизировать влияние колебаний атмосферного давления и температуры на рассматриваемую систему и в конечном счете его исключить. Общие потери смеси на данном участке определяются только «малыми» дыханиями, когда увеличение температуры и снижение атмосферного давления еще позволяют превысить предельное значение давления работы клапана.

Динамика выбросов паровоздушной смеси в рассмотренных ранее интервалах давлений дыхательных клапанов представлена на рис. 4.

При настройке дыхательных клапанов на избыточные давления, соответствующие интервалу до первого экстремума, в частности 1,5 и 4 кПа, по графику наблюдаются интенсивные колебания изменения масс ПВС, характеризующиеся частыми потерями смеси и поступлениями воздуха в резервуар. Потери при работе клапана на 4 кПа в 3,9 раз меньше по сравнению с его работой на 1,5 кПа. При увеличении избыточного давления срабатывания клапана до 300 кПа наблюдается увеличение выбросов, притом их большее количество приходится на первую половину месяца после налива резервуара. Возможность удержания смеси при избыточном давлении 672 кПа превышает потери в 1,9 раза по сравнению с клапаном, рассчитанным на работу 300 кПа, по причине только начала процесса «разряжения» смеси в резервуаре. При избыточном давлении 735 кПа потери значительно сокращаются, и по отношению к клапану с установленным давлением на 672 кПа уменьшаются в 9,4 раза.

Заключение

Подводя итоги всего вышеизложенного, можно утверждать, что исключить потери от «малых» дыханий в резервуарах только настройкой клапанов на большее давление практически невозможно. Согласно исследованию, график зависимости потерь паровоздушной смеси от давлений срабатывания дыхательной арматуры с учетом колебаний температуры и атмосферного давления имеет экстремумы, указывающие на возможность увеличения выбросов путем

перехода их из области «больших» дыханий в область «малых». Наличие такого перехода приводит к росту потерь от производимых «малых» дыханий в 7,25 ра-

за (масса потерь в точке первого экстремума за три месяца: 262,87 кг; масса потерь в точке второго экстремума: 1906 кг).

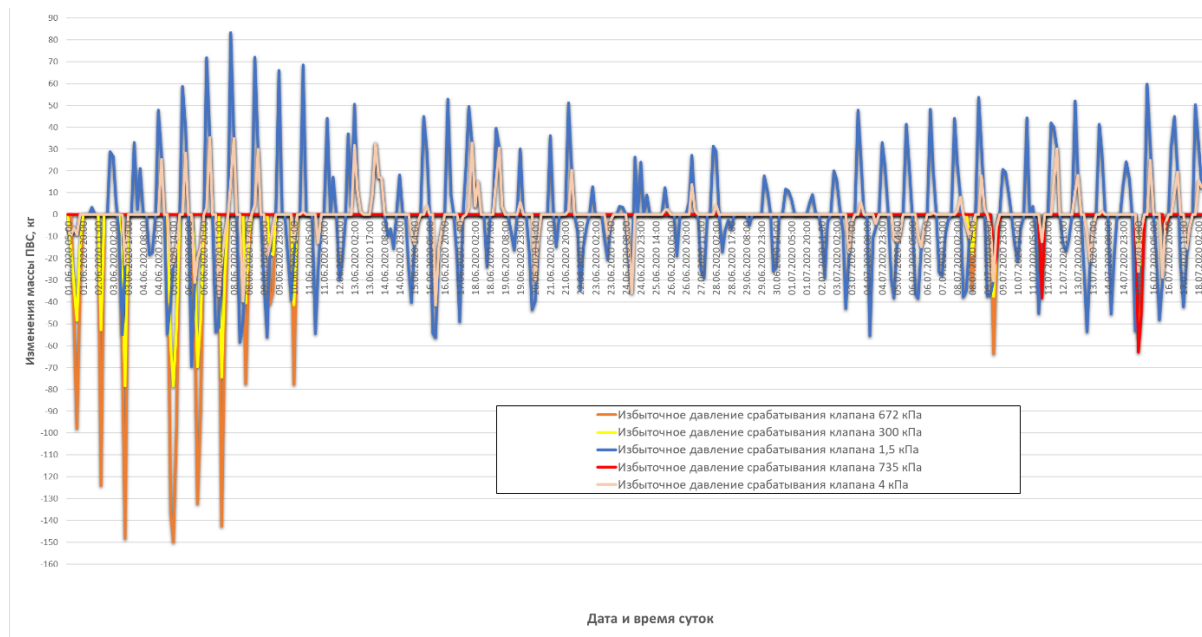


Рис. 4. Динамика выбросов паровоздушной смеси и поступлений воздуха в резервуар

Fig. 4. Dynamics of emissions of the vapor-air mixture and air inflows into the tank

На основании этого можно заключить, что в практике предприятий транспортной инфраструктуры нефтяной промышленности остро стоит необходимость в разработке и внедрении новых, более совершенных

способов и технологий, которые бы позволяли полностью исключать потери от производимых дыханий в резервуаре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриевский А.Н. Ресурсосбережение: основные задачи и направления ресурсосбережения в нефтяной и газовой промышленности // Вестник ОНЗ РАН. – 2010. – Т. 2. – С. 1–17. DOI: 10.2205/2010NZ000015.
2. Коршак А.А. Ресурсо- и энергосбережение при транспортировке и хранении углеводородов. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2016. – 411 с.
3. Danilov V.F., Shurygin V. Yu. To the question about ways to solve the problem of evaporation loss of oil products // Advances in current natural sciences. – 2016. – V. 3. – P. 141–145.
4. Потенциальные риски потерь нефтепродуктов при хранении и анализ путей их снижения / Г.Г. Васильев, И.А. Леонович, С.Н. Левин, В.М. Писаревский // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 5. – С. 87–93. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-5-87-93.
5. Шацких Е.С., Левин С.Н., Писаревский В.М. Анализ современных методов борьбы с потерями нефти и нефтепродуктов // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. – 2018. – № 2 (291). – С. 49–59.
6. Hermawan Y.D., Kristanto D., Hariyadi. Oil losses problem in oil and gas industries, Yogyakarta, Indonesia // Crude oil – new technologies and recent approaches. – 2021. – 21 p. DOI:10.5772/intechopen.97553.
7. Development of a new method for reducing the loss of light hydrocarbons at breather valve of oil tanks / M.M. Farhan, M.M. Al-Jumaily, A.D. Al-Muhammadi, A.S. Ismail // Energy Procedia. – 2017. – V. 141. – P. 471–478.
8. Шацких Е.С., Левин С.Н., Писаревский В.М. Применение гранулированного пеностекла в качестве покрытия зеркала испарения нефтяных резервуаров // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2018. – № 4. – С. 17–21.
9. Abdelmajeed M.A., Onsa M.H., Rabah A.A. Management of evaporation losses of gasolines storage tanks // Sudan Engineering Society Journal. – 2009. – V. 55 (52). – P. 39–43.
10. Черников В.И. Сооружение и эксплуатация нефтебаз: учебное пособие для нефтяных вузов. – М.: Гостоптехиздат, 1955. – 522 с.
11. Зоря Е.И., Орехова И.В., Черезова А.С. Сравнительный анализ методик расчета потерь легких фракций углеводородов из резервуаров хранения // Промышленный сервис. – 2017. – № 3 (64). – С. 12–17.
12. Коршак А.А. Современные средства сокращения потерь бензина от испарения. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2001. – 143 с.
13. Способ определения потерь нефти и нефтепродуктов от испарения при малых дыханиях резервуаров: пат. Рос. Федерация, № 2561660, заявл. 04.02.2014; опубл. 27.08.2015. Бюл. № 24. – 9 с.
14. Flutter speed estimation using presented differential quadrature method formulation / M. Ghalandari, S. Shamshirband, A. Mosavi, K. Chau // Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics. – 2019. – V. 13 (1). – P. 804–810.
15. A new method for reducing VOCs formation during crude oil loading process / H.R. Karbasian, D.Y. Kim, S.Y. Yoon, J.H. Ahn, K.C. Kim // Journal of Mechanical Science and Technology. – 2017. – V. 31 (4). – P. 1701–1710.
16. Коршак А.А., Бусыгин Г.Н., Галаутдинов А.Б. О расходах через дыхательную арматуру резервуаров при «больших дыханиях» // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 1995. – № 7. – С. 11–12.
17. Левитин Р.Е. Зарубежный и российский опыт определения выбросов паров нефти из вертикальных стальных резервуаров: монография. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – 160 с.
18. Veronico L.K., Yansen H., Antonius I. Surface cover method to reduce evaporation rate of crude oil // IOP Conference Series

- Materials Science and Engineering. – 2020. – V. 823. – P. 1–7. DOI: 10.1088/1757-899X/823/1/012012
19. Совершенствование системы обеспечения качества нефтепродуктов при транспортировке трубопроводным транспортом / С.Б. Хотничук, В.В. Бортник, Ф.В. Тимофеев, А.А. Кузнецов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2017. – Т. 7. – № 5. – С. 88–96.
 20. Зоря Е.И., Лощенкова О.В. Оценка общедоступных технологий и методов определения потерь нефтепродуктов от испарений из резервуаров при хранении // Экологический вестник России. – 2019. – № 1. – С. 14–20.
 21. Коршак А.А., Коршак Ан.А. Оценка вклада повышения объема паровоздушной смеси над объемом закачки в потерях нефти и нефтепродуктов от испарения // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2021. – Т. 11. – № 4. – С. 452–459.
 22. Influence of seasonal changes in climatic conditions on losses at oil tanks filling (on example of the Republic of Bashkortostan) / A. Elizaryev, D. Tarakanov, S. Aksenov, De. Tarakanov, E. Elizareva, E. Nasyrova, A. Nazyrov // Interagro mash. – 2020. – № 175 (1). – P. 1–6. DOI: 10.1051/e3sconf/202017512021.
 23. Рудин М.Г., Арсеньев Г.А., Васильев А.В. Общезаводское хозяйство нефтеперерабатывающего завода. – Л.: Химия, 1978. – 312 с.
- Поступила: 15.03.2022 г.
Дата рецензирования: 11.05.2022 г.*

Информация об авторах

Левитин Р.Е., кандидат технических наук, доцент Высшей инженерной школы Тюменского индустриального университета.

Цицельская В.А., студент Тюменского индустриального университета.

UDC 621.642.84

EFFICIENCY OF USING BREATHING VALVES AT THEORETICALLY HIGH PRESSURES OF THEIR OPERATION

Roman E. Levitin¹,
746636@mail.ru

Veronika A. Tsytelskaya¹,
tsytelskayaveronika@gmail.com

¹ Tyumen Industrial University,
38, Volodarsky street, Tyumen, 625000, Russia.

The relevance. The article highlights the problem of losses of oil and oil products during the production of tank batteries, that existences affect economic and environmental aspects of the sustainable use of resources. To reduce hydrocarbon emissions, enterprises are currently using various technological means. The achieved effect of the application of existing and developing methods to combat losses can be determined by applying specialized calculation methods, which, due to the use of various assumptions in the calculations by the authors, the presence of errors of measuring instruments during experimental studies are imperfect. Therefore, at the moment, the possibility of a reliable assessment of the effectiveness of methods for reducing losses is one of the main tasks for establishing really achievable emissions during the operation of tank farms and the correct choice of using technological means of their equipment.

The main aim of the research is to determine the effectiveness of reducing emissions by excessive pressure storage as the effective way.

The object: vertical steel tank with a nominal volume of 10000 m³, the structure of which is able to withstand various loads, and breathing valves with the ability of setting a wide pressure range, including pressure range more than the calculated one of currently installed on vertical steel tanks.

Methods: analytical methods of molecular-kinetic theory.

Results. The article describes the results of the authors' researches indicating that the setting of the breathing valves on a greater excessive pressure of activation leads to a more complex dependence of losses of the vapor-air mixture depending on large and small breaths in the vertical steel tank. It is estimated that theoretically high actuation pressures of breathing valves can be observed increasing losses from produced «small» breaths by 7,25 times, that highlights the necessity of invention of technologies and methods that can exclude emissions of the vapor-air mixture.

Key words:

vapor-air mixture, mixture losses, tank, efficiency, breathing valve, actuation pressure, oil, oil products, loss reduction, large breaths, small breaths, gas space.

REFERENCES

- Dmitrievskiy A.N. Resursosberezhenie: osnovnye zadachi i napravleniya resursosberezheniya v nefyanyy i gazovyy promyshlennosti [Resource conservation: the main tasks and directions of resource conservation in the oil and gas industry]. *Vestnik ONZ RAN*, 2010, no. 2, pp. 1–17. DOI: 10.2205/2010NZ000015.
- Korshak A.A. *Resurso- i energosberezhenie pri transportirovke i khraneni ugleodorodov* [Resource and energy saving during transportation and storage of hydrocarbons]. Rostov-on-the-Don, Feniks Publ., 2016. 416 p.
- Daniilov V.F., Shurygin V.Yu. To the question about ways to solve the problem of evaporation loss of oil products. *Advances in current natural sciences*, 2016, vol. 3, pp. 141–145. In Rus.
- Vasiliev G.G., Leonovich I.A., Levin S.N., Pisarevsky V.M. Potential risks of oil product losses during storage and analysis of ways for reducing them. *Occupational safety in industry*, 2020, no. 5, pp. 87–93.
- Shatskikh E.S., Levin S.N., Pisarevsky V.M. Analysis of current methods to combat losses of oil and petroleum products, *Proceedings of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas*, 2018, no. 2 (291), pp. 49–59.
- Hermawan Y.D., Kristanto D., Hariyadi. Oil Losses Problem in Oil and Gas Industries, Yogyakarta, Indonesia. *Crude oil – new technologies and recent approaches*, 2021, 21 p. DOI: 10.5772/intechopen.97553.
- Farhan M.M., Al-Jumaily M.M., Al-Muhammadi A.D., Ismail A.S. Development of a new method for reducing the loss of light hydrocarbons at breather valve of oil tanks. *Energy Procedia*, 2017, vol. 141, pp. 471–478.
- Shatskikh E.S., Levin S.N., Pisarevsky V.M. Application of granulated foam glass as a coating of the evaporation mirror of oil tanks. *Transportation and storage of petroleum products and hydrocarbon raw materials*, 2018, no. 4, pp. 17–21. In Rus.
- Abdelmajeed M.A., Onsa M.H., Rabah A.A. Management of evaporation losses of gasolines storage tanks. *Sudan Engineering Society Journal*, 2009, vol. 55, no. 52, pp. 39–43.
- Chernikin V.I. *Sooruzhenie i ekspluatatsiya neftebaz* [Construction and operation of oil depots]. Moscow, Gostoptehizd at Publ., 1955. 522 p.
- Zorya E.I., Orekhova I.V., Cherezova A.S. The comparative analysis of method of calculation of losses of easy fractions of hydrocarbons from storage tanks. *Industrial service*, 2017, no. 3 (64), pp. 12–17. In Rus.
- Korshak A.A. *Sovremennyye sredstva sokrasheniya poter benzina ot ispareniiya* [Modern means of reducing gasoline losses from evaporation]. Ufa, DesignPolygraphService Publ., 2001. 143 p.
- Zemenkov Yu.D., Levitin R.E., Dyakov K.V. *Sposob opredeleniya poter nefi i nefteproduktov ot ispareniiya pri malykh dyhaniyakh rezervuarov* [Method to detect losses of oil and oil products from evaporation under inbreathing of reservoirs]. Patent RF, no. 2561660, 2015.
- Ghalandari M., Shamshirband S., Mosavi A., Chau K. Flutter speed estimation using presented differential quadrature method formulation. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 2019, vol. 13, pp. 804–810.
- Karbasiyan H.R., Kim D.Y., Yoon S.Y., Ahn J.H., Kim K.C. A new method for reducing VOCs formation during crude oil loading process. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2017, vol. 31, pp. 1701–1710.
- Korshak A.A., Busygin G.N., Galyautdinov A.B. O raskhodakh cherez dykhatelnuyu armaturu rezervuarov pri «bolshikh» dyhaniyakh [About expenses through the breathing valves of tanks during «big» breaths]. *Transport i khraneni nefteproduktov i ugleodorodno go syrya*, 1995, no. 7, pp. 11–12.
- Levitin R.E. *Zarubezhnyy i rossiyskiy opyt opredeleniya vybrosov parov nefi iz vertikalnykh stalnykh rezervuarov* [Foreign and Rus-

- sian experience in determining oil vapor emissions from vertical steel tanks: monograph]. Tyumen, TSOGU Publ., 2015. 160 p.
18. Veronico L.K., Yansen H., Antonius I. Surface cover method to reduce evaporation rate of crude oil. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 823, pp. 1–7. DOI: 10.1088/1757-899X/823/1/012012.
 19. Khotnichuk S.B., Bortnik V.V., Timofeev F.V., Kuznetsov A.A. Improvement of the quality assurance system for oil products to be transported by pipelines. *Science and technology of pipeline transportation of oil and oil products*, 2017, vol. 7, no. 5, pp. 88–96. In Rus.
 20. Zorya E.I., Loshchenkova O.V. Otsenka obshchedostupnykh tekhnologiy i metodov opredeleniya poter nefteproduktov ot ispareniy iz rezervuarov pri khraneni [Evaluation of publicly available technologies and methods for determining losses of petroleum products from evaporation from storage tanks]. *Ekologicheskiy vestnik Rossii*, 2019, no. 1, pp. 14–20.
 21. Korshak A.A., Korshak An. A. Assessment of the contribution of the air-vapor mixture volume exceeding over the volumes injected to oil and petroleum product losses from evaporation. *Science & Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation*, 2021, vol. 11, no. 4, pp. 452–459. In Rus.
 22. Elizaryev A., Tarakanov D., Aksenov S., Tarakanov De., Elizareva E., Nasyrova E., Nazyrov A. Influence of seasonal changes in climatic conditions on losses at oil tanks filling (on example of the Republic of Bashkortostan). *Interagromash*, 2020, no. 175 (1), pp. 1–6. DOI: 10.1051/e3sconf/202017512021.
 23. Rudin M.G. *Obshchezavodskoe khozyaystvo neftepererabatyvayushchego zavoda* [The general factory economy of an oil refinery]. Leningrad, Khimiya Publ., 1978. 312 p.

Received: 15 March 2022.

Reviewed: 11 May 2022.

Information about the authors

Roman E. Levitin, Cand. Sc., associate professor, Tyumen Industrial University.

Veronika A. Tsyselskaya, student, Tyumen Industrial University.