

УДК 502.55:62-641

К ВОПРОСУ О РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМЫ ПОТЕРЬ НЕФТЕПРОДУКТОВ ОТ ИСПАРЕНИЯ

Данилов В.Ф., Шурыгин В.Ю.

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Елабужский институт,
Елабуга, e-mail: danilov-fedor@mail.ru*

В статье рассмотрена проблема потерь нефтепродуктов от испарения при их хранении, приеме и выдаче на нефтебазах, автозаправочных станциях и нефтеперерабатывающих заводах. Актуальность данной проблемы обусловлена тем, что она имеет как экономический, так и экологический аспект. В реальных условиях концентрация углеводородов определяется температурой наливаемого бензина, степенью заполнения и скоростью заполнения резервуаров, а также концентрацией этих углеводородов в бензине. В статье проанализированы причины и структура потерь углеводородов в районе объектов нефтепродуктообеспечения. Приведена сравнительная характеристика существующих способов для улавливания паров нефтепродуктов и оценка их эффективности. Предложены два новых устройства для рекуперации паров углеводородов в процессе их хранения. Показано, что данные устройства позволяют обеспечить эффективное улавливание паров нефтепродуктов, а также повысить эффективность экологической защиты на современных автозаправочных комплексах и нефтебазах.

Ключевые слова: нефтепродукты, газообразные углеводороды, автозаправочная станция, нефтебаза, резервуар, дыхательный клапан, рекуперация паров, барботаж, дроселирующее устройство

TO THE QUESTION ABOUT WAYS TO SOLVE THE PROBLEM OF EVAPORATION LOSS OF OIL PRODUCTS

Danilov V.F., Shurygin V.Y.

Kazan (Volga Region) Federal University, Elabuga Institute, Elabuga, e-mail: danilov-fedor@mail.ru

The paper considers the issue of evaporation loss of oil products during storage, acceptance and delivery at bulk plants, fuel filling stations and oil refineries. The topicality of this issue is determined by the fact that it features both economic and environmental aspect. In the real conditions hydrocarbon concentration is determined by the temperature of petroleum filled, degree and rate of reservoir filling as well as concentration of these hydrocarbons in petroleum. The paper analyzes the causes structure of hydrocarbon losses within oil products supply facilities. Comparative characteristic of the existing methods of tank vapor recovery and assessment of their efficiency are provided. Two new devices for vapor recovery during storage were proposed. It is shown that these devices allow ensuring efficient tank vapor recovery as well as improving efficiency of environmental protection at modern fuel filling complexes and bulk plants.

Keywords: breathing valve, bubbling, bulk plant, fuel filling station, hydrocarbon gages, oil products, throttle, reservoir, vapor recovery

Процесс наполнения и хранения нефти и нефтепродуктов в резервуарах всегда сопровождается выбросом лёгких газообразных углеводородов в атмосферу. При этом масса выбрасываемых газов углеводородов на нефтебазах может составлять до 0,1% от массы переваливаемого продукта, а на автозаправочных станциях (АЗС) до 0,2% массы выдаваемого продукта [4]. Проведённые в МГТУ им. Н.Э. Баумана расчеты показывают, что в России АЗС общего пользования выбрасывают в течение года более 140 тыс. тонн паров углеводородов, т.е. около 6 миллиардов рублей. Одна усредненная АЗС теряет из-за выбросов паров нефтепродуктов в атмосферу в среднем в день до 70 кг бензинов или 25000 кг в год, т.е. до 1 миллиона рублей. По данным же зарубежных исследователей: АЗС Германии ежегодно выбрасывают 145 тыс. т паров углеводородов, АЗС Англии – более 120 тыс. т. Французские экс-

перты оценивают потери от испарения при заполнении резервуаров АЗС и хранении автобензинов в размере 0,18% от объема операции. Немецкие эксперты оценивают эти потери в 0,17%. Японские же исследователи установили, что поскольку в условиях Японии температура в подземном резервуаре в течение года сильно не меняется, а именно варьируется от 15 до 25°C, то потери от испарения составляют 1,08 кг/м³ закачиваемого автобензина [1, 5, 7]. В среднем, состав паровоздушной смеси, «выдыхаемой» из резервуаров, включает 32% массовой доли углеводородов метанового ряда, 12% бензиновых фракций и 56% воздуха. Такие выбросы приводят к существенному загрязнению окружающей среды, а также создают пожароопасную ситуацию. Выход из сложившейся ситуации требует внедрения новейших научных достижений и совершенствования способов

улавливания паров нефтепродуктов. Таким образом, актуальность рассматриваемой проблемы не вызывает сомнений.

Причины и структура потерь нефтепродуктов

Согласно действующим нормам естественной убыли нефтепродуктов от испарения теряется примерно 5% поставляемых бензинов и несколько меньший объем других нефтепродуктов. Реально же нормы естественной убыли не всегда отражают размер фактических потерь, так как нефтепродукты с момента их хранения подвергаются многократным операциям слива-налива.

Потери нефтепродуктов в резервуарах типа РВС (резервуар вертикальной стальной) в средней климатической зоне в зависимости от времени года достигают 0,12–0,32% от количества закачиваемого в них нефтепродукта. В стационарном резервуаре РВС-5000 за осень и зиму потери автомобильного бензина при двух открытых световых люках могут составить – 200 т, при одном люке – 25 т, при открытом дыхательном клапане – 7 т. Снижение уровня жидкости в гидравлическом предохранительном клапане ниже установленного также приводит к дополнительным потерям горючего до 1,5%. При ручном отборе проб и замере горючего в резервуаре РВС-5000 разовые потери от испарения летом могут составить – днем 13 кг, ночью – 3 кг [2].

При кратковременном хранении нефтепродуктов (до 1 месяца) в резервуарах нефтебаз и автозаправочных комплексах в среднем по Московской области от испарения теряется до 30 тысяч тонн автомобильного бензина и 25 тысяч тонн дизельного топлива. Потери нефтепродуктов от испарения при хранении связаны с так называемыми «большими и малыми» дыханиями резервуаров. Известно, что потери от «малых дыханий» с 1 м³ газового пространства резервуаров, сообщающихся с атмосферой через дыхательные клапаны, при изменении температуры паров на 10°С составляют 6–10 г, а при изменении атмосферного давления на 1 мм рт. ст. – 2–4 г. Скорость насыщения парами газового пространства пропорциональна площади поверхности испарения. Подсчитано, что с 1 м² поверхности испарения наземного резервуара испаряется и теряется более 4 кг нефтепродуктов в месяц. Годовые потери горючего для резервуара вместимостью 400 м³ могут составить 1,28% от объема хранимого продукта [2].

Распределение потерь нефтепродуктов от «малых дыханий» резервуаров по временам года неравномерно. Наибольшие потери приходится на летний период. Потери от «малых дыханий» зависят и от суточных колебаний температуры, атмосферного давления и степени заполнения резервуара. По оценкам отечественных и зарубежных авторов эти потери составляют 0,02–0,06% от объемной доли хранимого продукта.

Среднегодовые потери в резервуарах при рабочем режиме слива-налива (от «больших дыханий») составляет около 0,14% от объема хранимого нефтепродукта. Величина потерь нефтепродуктов от «больших дыханий» зависит от количества операций по сливу-наливу и с увеличением их числа может возрасти в три и более раза.

Выбросы паров углеводородов являются одним из существенных источников загрязнения окружающей среды. Это проявляется в образовании стойких концентраций таких паров в воздухе вблизи резервуарных парков, автозаправочных комплексов и сливо-наливных эстакад. В этих районах у населения выявлена повышенная частота заболеваний органов дыхания, крови, сердечно-сосудистой системы, а также более высокая подверженность инфекционным заболеваниям. Положение усугубляется тем, что в результате интенсивного градостроительства в России, особенно за последние 20–30 лет, большое число нефтебаз оказалось в черте городской застройки.

Теоретические исследования по формированию структуры и параметров систем улавливания паров бензина показали их существенную зависимость от расхода и состава паровоздушной смеси – суммарной концентрации паров углеводородов, количества паров воды, относительного количества различных углеводородов.

Состав паров нефтепродуктов зависит от температуры окружающей среды. Так, углеводороды ряда C₃ – C₅, представляющие основу паров нефтепродуктов типа бензинов АИ-80, АИ-92, АИ-95 в паровоздушной смеси (ПВС), определенные для резервуаров АЗС, нефтебаз и нефтеперерабатывающих заводов при температурах от +20°С составляют от 32 до 46%. При температурах –20°С и ниже их количество в ПВС не превышает 13,6%.

В реальных условиях при наливке бензина в резервуары АЗС и заправке бензобаков автомобилей концентрация углеводородов определяется температурой наливаемого бензина, степенью заполнения резервуаров

(бензобаков), скоростью заполнения резервуаров (бензобаков), а также концентрацией этих углеводородов в бензине.

Совокупность вышеприведенных факторов и определяет значительный разброс по содержанию углеводородов в паровоздушной смеси в реальных условиях.

Способы рекуперации паров углеводородов

В связи со сложной экологической ситуацией на нефтебазах и в районах АЗС, расположенных в мегаполисах, требуется незамедлительное решение вопроса переоснащения резервуарного парка и АЗС. На первый план выходит задача уменьшения потерь нефтепродуктов при испарениях за счет улавливания паров нефтепродуктов (рекуперации) и возвращения их обратно в резервуар.

Снижение потерь от утечки паров нефтепродуктов в основном достигается следующими методами: установка газоравнительных линий, дисков отражателей, организация хранения под инертным газом или под повышенным давлением, применение тепло- и лучеотражательных покрытий, плавающих понтонов. Все эти методы обладают малой эффективностью (10–60%) и достаточно высокой стоимостью. Эффективность понтонов несколько выше, однако, стоимость резервуара более высока. Существует метод охлаждения резервуаров водой. Его эффективность не превышает 60%. Кроме того, он требует больших расходов воды и затрат энергии на создание ее циркуляции.

Эффективность мембранного метода может достигать 80%, однако он малопроизводителен и достаточно дорог. Адсорбционный метод улавливания паров высокоэффективен (90–96%), но требует частой регенерации адсорбента. На таком же почти уровне эффективности находятся абсорбционный (96–98%), криогенный (96%) и компрессионный методы рекуперации паров (до 98%).

Анализ способов и средств улавливания паров нефтепродуктов из резервуаров позволяет сделать вывод о том, что наиболее перспективными на сегодняшний день являются способы, в основе которых лежат принципы абсорбции. Особенно удачным на наш взгляд является комбинированный метод, в основе которого лежит принцип абсорбции паров в охлажденном нефтепродукте. При этом если в качестве абсорбционной жидкости применять сам хранимый продукт, то еще сохраняется и качество хранившихся бензинов за счет возвращения легких фракций обратно в резервуар.

Устройства по улавливанию паров нефтепродуктов

Простой барботаж смеси паров нефтепродуктов с воздухом через небольшой слой охлажденного абсорбента не дает практически значимых результатов. Дело в том, что при этом вначале происходит испарение охлажденного продукта при контакте его с теплыми парами и лишь затем идет процесс конденсации. При этом успевает сконденсироваться только незначительная часть паров нефтепродукта.

Следовательно, необходимо подольше задержать пары нефтепродукта в охлажденном абсорбенте, то есть снизить скорость прохождения паров продукта в абсорбенте и увеличить их путь через охлажденный абсорбент за счет устройства системы лабиринтов [6].

С учетом вышеизложенного нами предлагается устройство для улавливания паров нефтепродуктов, схема которого представлена на рис. 1.

Устройство работает следующим образом. Пары, поступающие из резервуара, проходят через змеевик предварительного охлаждения, частично конденсируются на нём и стекают обратно в резервуар. Более лёгкие фракции проходят через змеевик из дисковых колец в охлажденном нефтепродукте и конденсируются в нём. Охлаждение нефтепродукта достигается за счет термoelementов Пельтье. При достижении определенного верхнего уровня охлажденной жидкости в клапане автоматически открывается сливной кран, и часть излишней холодной жидкости сливается обратно в резервуар. Для этого в устройстве имеется двухпозиционный регулятор уровня.

При заливе и сливе нефтепродуктов в резервуар предлагается соединить паровое пространство резервуара и транспортного средства, чтобы исключить излишнюю нагрузку на клапан. Таким образом, пары нефтепродукта будут возвращаться в резервуар в виде конденсата, и качество продукта будет сохраняться. В оборудованных такими клапанами резервуарах предлагается хранить продукты с высокой испаряемостью, например бензины.

Таким образом, данное устройство позволяет обеспечить улавливание паров нефтепродуктов и повысить эффективность экологической защиты на современных автозаправочных комплексах и на нефтебазах.

Однако и у этого устройства есть недостаток. Дело в том, что придется периодически менять абсорбент по мере его перенасыщения легкими фракциями.

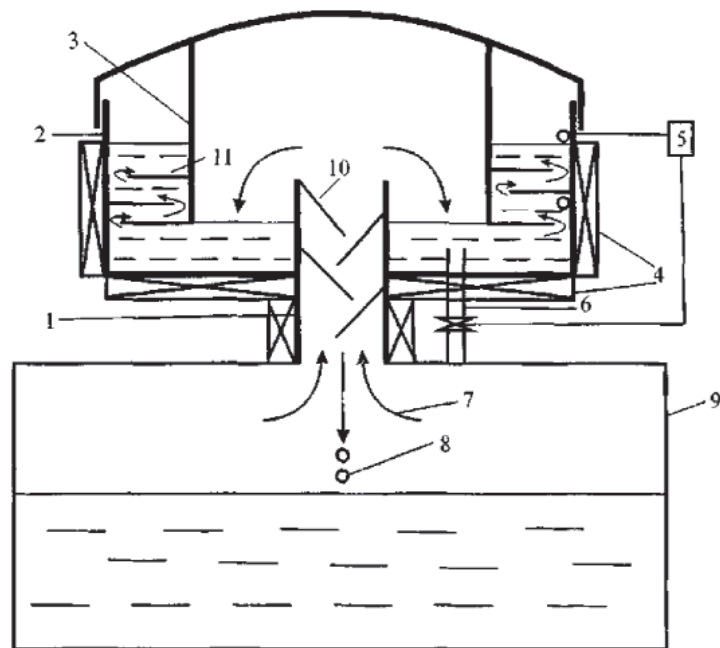


Рис. 1. Устройство I для улавливания паров нефтепродуктов:
 1 – патрубок; 2 – корпус; 3 – внутренний цилиндр; 4 – термоэлектрические элементы;
 5 – регулятор уровня; 6 – сливной патрубок с клапаном; 7 – пары нефтепродуктов; 8 – конденсат;
 9 – резервуар; 10 – змеевик предварительного охлаждения; 11 – змеевик из дисковых колец

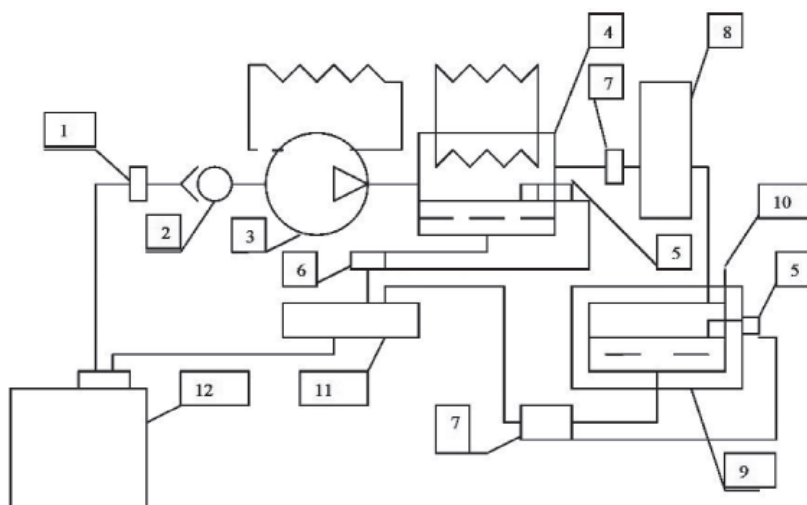


Рис. 2. Устройство II для улавливания паров нефтепродуктов при их хранении:
 1 – огневой предохранитель; 2 – обратный клапан; 3 – компрессор с водяным охлаждением;
 4 – ресивер с водяным охлаждением и двухпозиционным регулятором уровня (5);
 6 – дросселирующий клапан; 7 – клапан; 8 – детандер или дросселирующее устройство;
 9 – конденсатор в теплоизолирующем корпусе для сбора конденсата из легких фракций
 нефтепродукта с двухпозиционным регулятором уровня (5) и клапаном выпуска очищенного
 воздуха (10); 11 – емкости для сбора конденсата и слива его обратно в резервуар (12)

Поэтому нами разработан и предложен следующий способ и устройство для улавливания паров нефтепродуктов из резервуаров при хранении топлив, которые показаны на рис. 2.

Особенности данного устройства предварительно обсуждались в работе [3]. В данном устройстве реализован цикл Карно, который используется в холодиль-

ной машине. То есть сначала смесь паров нефтепродукта с воздухом сжимается, при этом часть внутренней энергии смеси переходит в тепловую энергию. Затем тепловая энергия от смеси отнимается охлаждением и, следовательно, внутренняя энергия смеси переходит на более низкий уровень. Затем происходит снижение давления через

дросселирующее устройство или посредством детандера. Таким образом, осуществляется возвращение смеси в исходное состояние по давлению, но на более низком уровне внутренней энергии, что приводит к понижению температуры и к конденсации нефтепродукта.

Данный способ возврата паров нефтепродуктов, по нашему мнению, лишен всех вышеперечисленных недостатков и гарантирует высокую эффективность очистки воздуха и сохранение качества горючего при его хранении.

Устройство работает следующим образом. Смесь паров нефтепродукта с воздухом, проходя через огневой предохранитель и обратный клапан, сжимается компрессором с водяным охлаждением, чтобы не допускать нагрева смеси при сжатии до температуры выше 300 градусов. Затем пары с воздухом поступают в ресивер, где происходит дополнительное охлаждение и конденсация паров нефтепродукта вследствие повышенного давления и температуры смеси, близкой к температуре окружающей среды. Известно, что пропан, например, сжижается при температуре двадцать градусов Цельсия и давлении не менее двух атмосфер. Снижение давления смеси за счет конденсации паров нефтепродукта компенсируется дополнительной подачей компрессора.

При достижении предельного уровня конденсата срабатывает двухпозиционный регулятор уровня, открывая дросселирующее устройство, и конденсат сливается в приемную емкость.

При достижении минимального уровня конденсата регулятор уровня перекрывает дросселирующее устройство, и ресивер опять начинает работу в режиме накопления. Воздух с несконденсированным нефтепродуктом через клапан-7 поступает в детандер или в дросселирующее устройство, совершая работу и переходя в состояние с меньшей внутренней энергией, что приведет к неизбежному понижению температуры смеси и к дополнительной конденсации паров легких фракций нефтепродукта в конденсаторе.

Конденсат будет сливаться в приемную емкость аналогично процессу в ресивере, только регулятор уровня в данном случае открывает простую автоматическую задвижку, так как в конденсаторе давление будет близко к атмосферному.

Очищенный воздух будет уходить через клапан, установленный в верхней части конденсатора. Конденсат из приемной емкости сольется обратно в резервуар, сохраняя при этом качество продукта, так как возвращаются легкие фракции нефтепродукта, которые в обычных условиях безвозвратно утрачиваются. Компрессор включается автоматически при достижении предельного допустимого давления в резервуаре.

Для гарантированного стопроцентного очищения воздуха от паров нефтепродуктов в к клапану (10) может быть добавлена коробка с активированным углем, через которую воздух будет проходить непосредственно в атмосферу. Так как паров нефтепродуктов проходящих через клапан (10), останется чрезвычайно мало, то ресурс активированного угля останется очень высоким.

Выводы

В настоящее время анализ и разработка методов улавливания паров нефтепродуктов и повышение эффективности экологической защиты на объектах нефтепродуктообеспечения является весьма актуальной и важной задачей.

Представляется, что предлагаемые устройства окажутся достаточно эффективными для улавливания паров нефтепродуктов при их хранении. Можно отметить, что преимуществом второго устройства является то, что в нем не придется периодически менять абсорбент по мере его перенасыщения легкими фракциями. При этом не меняется качество нефтепродуктов при длительном хранении, так как легкие фракции не теряются, а возвращаются обратно в резервуар. Использование предложенной технологии способствует улучшению экологической обстановки в районе объектов нефтепродуктообеспечения.

Все вышесказанное позволяет сделать вывод о перспективности предлагаемого технического решения и о возможности его практического использования для рекуперации паров нефтепродуктов в процессе их хранения.

Список литературы

1. Александров А.А., Архаров И.А., Емельянов В.Ю. Деньги на ветер. Обзор действующих систем улавливания паров нефтепродуктов. – URL: <http://pandia.ru/text/77/28/96776.php> (дата обращения: 10.02.2016).
2. Данилов В.Ф., Марцев Ю.П. и др. Анализ и обоснование перспективных методов улавливания паров нефтепродуктов из средств хранения. Отчет о НИР шифр «ВОЗВРАТ» Регистр. № 1604621. – Ульяновск: УВВТУ, 2007. – 74 с.
3. Данилов В.Ф., Савельев А.В., Кюннап Р.И. Технические аспекты сокращения потерь нефтепродуктов при хранении в резервуарном парке // Труды НИИ 25 МО РФ. – 2014. – № 56. – С. 396–400.
4. Коваленко В.Г., Сафонов А.С., Ушаков А.И., Шергалис В. Автозаправочные станции. – СПб.: НПИКЦ, 2003. – 272 с.
5. Литвиненко А.Н. Химмотология нефтепродуктов и технических жидкостей. Часть 2. Разработка технологий и установок топливподготовки и ликвидации аварийных проливов нефтепродуктов. Электронное учебное пособие. – Ульяновск: УлГПУ, УНЦ «Ноосферные знания и технологии» РАЕН, 2012. – 354 с. – URL: <http://www.knigafond.ru/books/> (дата обращения: 10.02.2016).
6. Марцев Ю.П., Данилов В.Ф., Кузнецов А.С., Шепталов В.К. Устройство для улавливания паров нефтепродуктов // Патент России № 65494. 2007. Бюл. № 13.
7. Сафонов А.С., Ушаков А.И. Гришин В.В. Химмотология горюче-смазочных материалов. – СПб.: НПИКЦ, 2007. – 488 с.