

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

2.9.1 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте;

2.9.4. – Управление процессами перевозок;

2.9.6 – Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники;

2.9.8 – Интеллектуальные транспортные системы

УДК 621.396.96

DOI: 10.26467/2079-0619-2023-26-1-22-33

Автоматизированная система сокращения потерь от испарения и обводнения авиатоплива в резервуарах топливозаправочного комплекса

А.А. Браилко¹

*¹Московский государственный технический университет гражданской авиации,
г. Москва, Россия*

Аннотация: В процессе производственной деятельности топливозаправочного комплекса (ТЗК) аэропорта в результате движения авиакеросина, связанного с опорожнением и заполнением резервуаров при приеме и выдаче авиатоплива на заправку воздушных судов (ВС), неизбежно происходят два негативных явления – обводнение авиакеросина при взаимодействии с воздухом, его испарение и унос в атмосферу. Это влечет за собой экономические потери, повышенный уровень пожаровзрывоопасности и экологический ущерб. Размеры ущерба от потерь естественной убыли авиатоплива в результате неизбежной эмиссии паровоздушной смеси (ПВС) из оборудования резервуарного парка ТЗК достигают 10...14 % от объема перевалки авиакеросина. В свою очередь такой объем испаряемого керосина приводит к серьезной экологической проблеме – загрязнению атмосферы парами авиатоплива, приводящей к затратам на компенсацию и налогообложение природопользования, возможности нанесения вреда здоровью штатного персонала ТЗК, а также к тому, что ТЗК становится пожароопасным объектом, что влечет за собой затраты на пожароохранные мероприятия. В статье проведена оценка количественных и качественных потерь от испарения и обводнения в условиях хранения, приема и выдачи авиатоплива из резервуаров ТЗК аэропорта. На основании анализа механизма ухудшения качества авиатоплива от обводнения и загрязнения механическими примесями, а также потерь легких фракций авиатоплива (ЛУВ), вызванного явлениями больших и малых дыханий резервуарного оборудования, неизбежно сопровождающих процессы хранения, выдачи и приема авиатоплива, установлены причины и механизм образования потерь авиатоплива от малых и больших дыханий, потери от насыщения газового пространства и предложены рекомендации по снижению этих потерь. В статье проведен анализ известных способов снижения (предотвращения) выбросов ПВС и рассматривается задача создания надежных и автоматизированных методов и технологий уменьшения потерь авиакеросина, в частности уменьшения уровня содержания воды в авиакеросине. Актуальной становится автоматизация процессов уменьшения потерь авиакеросина. Приведен расчет потерь авиатоплива от испарений при хранении, приеме и выдаче авиатоплива в ТЗК аэропорта в период наиболее интенсивных полетов, а значит, наибольшего движения авиакеросина, дающие представление о масштабе экономических потерь и экологического ущерба. Рассмотрены существующие системы уменьшения потерь нефтепродуктов, применяемых в настоящее время. В статье представлено техническое решение для сокращения потерь авиакеросина от испарения в резервуарах путем разработки автоматизированной системы, которая обеспечивает снижение уровня обводненности авиатоплива в резервуаре и сокращение потерь легких фракций авиатоплива при хранении, приеме и выдаче авиатоплива, за счет осушения атмосферного воздуха, поступающего в надтопливное пространство резервуара, а также конденсации и отделению ПВС при малых и больших дыханиях резервуара. Предложенная к использованию система сокращения потерь авиакеросина от испарения позволит существенно повысить эффективность улавливания ПВС авиатоплива при хранении в резервуарном парке ТЗК, улучшить экологическую обстановку топливозаправочной деятельности ТЗК, минимизировать экономические потери ТЗК от естественной убыли, а также понизить уровень пожароопасности ТЗК аэропорта. Система предназначена для дооборудования резервуаров приема, хранения и выдачи авиатоплива, резервуарных парков, складов ГСМ ТЗК.

Ключевые слова: топливозаправочный комплекс ТЗК, дыхательная система резервуара, паровоздушная смесь, обводненность авиатоплива, потери авиатоплива, испарение авиатоплива.

Для цитирования: Браилко А.А. Автоматизированная система сокращения потерь от испарения и обводнения авиатоплива в резервуарах топливозаправочного комплекса // Научный Вестник МГТУ ГА. 2023. Т. 26, № 1. С. 22–33. DOI: 10.26467/2079-0619-2023-26-1-22-33

The automated system for reducing losses from evaporation and water contamination in jet fuel in the tanks of the refueling complex

A.A. Brailko¹

¹*Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia*

Abstract: In the process of the production activity of the airport refueling complex (RC), because of the movement of jet fuel associated with emptying and filling fuel tanks when receiving and supplying jet fuel for aircraft (AC) refueling, two negative phenomena are bound to occur – water contamination in jet fuel with when interacting with air, its evaporation and entrainment into the atmosphere. This entails economic losses, an increased level of fire and explosion hazard and environmental damage. The amount of damage caused by the natural loss of jet fuel, because of the inevitable emission of vapor-air mixture (VAM) from the RC tank farm, reaches 10...14% of the volume of jet fuel transshipment. In turn, such volume of evaporated kerosene leads to a serious environmental problem – pollution of the atmosphere by aviation fuel vapors, escalating the costs for compensation and taxation of environmental management, potential harming the health of the RC full-time staff. The RC becomes a fire-hazardous object, which incurs expenses for fire protection measures. The article evaluates the quantitative and qualitative losses from evaporation and water contamination in fuel in the conditions of storage, reception, and delivery of aviation fuel from the airport RC tanks. Based on the analysis of the mechanism of deterioration of the aviation fuel quality from water contamination and mechanical impurities, as well as losses of light fractions of aviation fuel caused by the phenomena of strong and inconsiderable breathing of tanks of the tank farm facilities, invariably accompanying the processes of storage, delivery, and reception of aviation fuel. The causes and mechanism of formation of aviation fuel losses from strong and inconsiderable breathing of tanks as well as from saturation of the gas space are established. The recommendations for reducing these losses are proposed. The article analyzes the known methods of reducing (preventing) VAM emissions and considers the task of developing reliable and automated methods and technologies for reducing jet fuel losses, particularly, reducing the level of water content in jet fuel. Automation of the processes to minimize jet fuel losses is becoming relevant. The calculation of jet fuel losses from evaporation during storage, reception, and delivery of jet fuel to the airport RC within the heavy air traffic period concerned with the greatest movement of jet fuel, giving an idea of the scale of economic losses and environmental damage, is presented. The currently existing systems for reducing losses of petroleum products are considered. The article presents a technical solution to reduce the loss of jet fuel from evaporation in tanks by developing an automated system that minimizes the level of water content in jet fuel in the tank and reduces the loss of light fractions of jet fuel during storage, reception, and delivery due to the dehumidification of atmospheric air entering the above-fuel space of the tank, as well as VAM condensation and separation under inconsiderable and strong breathing of tanks. The proposed system for reducing losses of aviation kerosene from evaporation will significantly increase the efficiency of capturing VAM of aviation fuel when stored in the RC fuel tank battery, improve the environmental situation of the RC activity, minimize the economic RC losses from natural loss, as well as mitigate the risk for fire hazard of the airport RC. The system is designed for retrofitting tanks for receiving, storing, and delivering jet fuel, fuel tank batteries, fuel, and lubricants warehouses.

Key words: refueling complex, tank breathing system, vapor-air mixture, water contamination in jet fuel, jet fuel losses, aviation fuel evaporation.

For citation: Brailko, A.A. (2023). The automated system for reducing losses from evaporation and water contamination in jet fuel in the tanks of the refueling complex. Civil Aviation High Technologies, vol. 26, no. 1, pp. 22–33. DOI: 10.26467/2079-0619-2023-26-1-22-33

Введение

Производственная деятельность ТЗК является непрерывной и представляет собой циклические процессы «конвейерного» характера: прием, хранение, подготовка, выдача и заправка ВС авиационным топливом. Технологические процессы деятельности ТЗК по авиатопливообеспечению ВС включают в себя многочисленные перекачки авиатоплива из резервуара в резервуар, наполнение и опустошение резервуаров, а также хранение в

резервуарах, а это неизбежно сопровождается большими и малыми дыханиями резервуаров, насыщением газового пространства и выбросом ПВС, что приводит в свою очередь к испарению, обводнению и загрязнению авиакеросина. В процессе приема авиатоплива в резервуар происходит вытеснение объема надтопливного пространства и унос ПВС в атмосферу окружающей среды. В процессе большого и малого дыхания при выдаче авиатоплива из резервуара или понижении температуры при хранении понижается давление в резервуаре, происходит вдох и поступление

атмосферного воздуха в надтопливное пространство. Влага из атмосферного воздуха конденсируется на стенках резервуара, что приводит к повышению уровня содержания воды в авиатопливе.

Масштабы и размеры экономического ущерба от потерь при испарении авиатоплива красноречиво подтверждаются статистикой 75 : 25 % (рис. 1), расчетно-экспериментальными исследованиями (рис. 2), а также нормативными документами^{1,2}, предписывающими нормы естественной убыли, их учет при хранении, приеме и выдаче авиатоплива на складах ГСМ ТЗК и дающими количественное представление о значительном масштабе потерь топливозаправочного бизнеса и ущерба экологии [1–3]. Основная доля потерь от испарения на протяжении всего пути дви-



Рис. 1. Статистика потерь авиатоплива в ТЗК в результате малых и больших дыханий резервуаров
Fig. 1. Statistics of jet fuel losses in the refueling complex due to “insignificant and strong breathing of tanks”

¹ Приказ Минэнерго РФ № 527, Минтранса РФ № 236 от 1 ноября 2010 г. «Об утверждении норм естественной убыли нефти и нефтепродуктов при перевозке железнодорожным, автомобильным, водным видами транспорта и в смешанном железнодорожно-водном сообщении» [Электронный ресурс] // ГАРАНТ. 2010. 8 с. URL: <https://base.garant.ru/12181410/> (дата обращения: 12.04.2022).

² РД 153-39-019-97. Методические указания по определению технологических потерь нефти на предприятиях нефтяных компаний Российской Федерации (утв. Минтопэнерго РФ 16.06.1997) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. 1997. 61 с. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_99863/ (дата обращения: 12.04.2022).

жения авиатоплива от нефтезавода до заправки ВС принадлежит технологическим процессам работы резервуарного оборудования [4]³.

Выбросы ПВС, неизбежно сопровождающие транспортировку, прием, хранение и выдачу авиатоплива на заправку ВС, приводят к существенным потерям авиатоплива, загрязнению атмосферы и представляют угрозу безопасности и здоровью обслуживающего персонала ТЗК. Борьба с потерями авиатоплива от испарения является приоритетной экологической деятельностью. Ущерб от испарения выражается не только в стоимости невозвратных потерь авиатоплива, но и в негативных экологических последствиях загрязнения окружающей среды. Таким образом, разработка методов и способов, создание устройств и технологий по минимизации потерь от испарения и обводнения авиатоплива на объектах топливозаправочного комплекса целесообразны и имеют важное значение для экономики бизнеса авиатопливообеспечения, а также для охраны экологии.

Другой вид потерь, обусловленный эмиссией легких фракций авиакеросина в условиях транспортировки авиатоплива и топливозаправочной деятельности, в связи с ужесточением требований нормативно-технической документации (НТД) в части предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих и пожароопасных веществ, инициирует необходимость разработки технологий и создания оборудования для предотвращения или сокращения объемов выбросов производства топливозаправочной деятельности ТЗК.

Рассмотрим механизм формирования потерь от испарения и обводнения авиакеросина в технологии работы резервуарного оборудования ТЗК.

1. В процессе приема авиакеросина при наполнении резервуаров происходит большой выдох (большие дыхания) и вытеснение

³ Потери от испарения нефти и нефтепродуктов из наземных резервуаров [Электронный ресурс]: курсовая работа. Уфа: УНИ, 1987. 73 с. URL: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=655290> (дата обращения: 10.05.2022).

ПВС, содержащей значительное количество авиакеросина.

2. В процессе хранения и оттаивания авиакеросина при неподвижном хранении происходит малый выдох, который зависит от суточного повышения температуры (малые дыхания), и вытеснение ПВС, содержащей незначительное количество авиакеросина.

3. В процессе выдачи авиатоплива при опорожнении резервуара в результате большого вдоха в надтопливное пространство резервуара поступает атмосферный воздух, влага которого в дальнейшем конденсируется на стенках резервуара, что приводит к обводнению авиатоплива, повышая уровень содержания в нем воды.

4. В процессе хранения и оттаивания авиакеросина при неподвижном хранении происходит малый вдох при суточном понижении температуры (малые дыхания) и заполнении объема резервуара атмосферным воздухом. Влага в дальнейшем конденсируется, и обводняет авиакеросин, ухудшая его параметры качества.

5. В результате больших и малых вдохов в освободившемся от авиакеросина объеме пространства происходит эмиссия паров и последующее насыщение газового пространства резервуара легких фракций углеводородов (ЛУВ).

Качественные и количественные потери авиакеросина, формируемые данным механизмом, зависят от климатических условий эксплуатации резервуара и частоты проводимых циклов приема-выдачи из резервуара авиакеросина.

Концентрация ПВС зависит от давления, и ее можно рассчитать по формуле

$$C_{н.п.} \% = \frac{P_H}{P_H + A} \cdot 100, \quad (1)$$

где $C_{н.п.}$ – концентрация ПВС;

P_H – давление насыщенных паров легких углеводородных фракций в ПВС, кПа;

A – величина атмосферного давления, которую принимают равной 100 кПа.

Величина давления насыщенных паров легких углеводородных фракций зависит от

температуры, которую можно рассчитать согласно уравнению Антуана^{4,5}:

$$\lg P_H = A - \frac{B}{C+t}, \quad (2)$$

где t – температура, °С;

P_H – величина давления насыщенных паров легких углеводородных фракций, мм рт. ст.;

A, B, C – справочные коэффициенты; постоянные, полученные экспериментальным путем.

Результаты проведенных расчетов выбросов ПВС и их сравнение с требованиями НТД представлены на рис. 2, о проведенных работах по «Разработке нормативов технологических потерь ГСМ для ЗАО «Топливо-заправочный сервис», выполненных ЗАО «КИПЭНЕРГО» «Контрольно-измерительные приборы в энергетике» в 2018 году.

В работе проведена оценка потерь авиакеросина в условиях реального ТЗК. Результаты опытно-практической оценки количественных значений потерь авиакеросина из расходных резервуаров ТЗК, проведенных в 2018 году, составили ≈ 100 тонн (рис. 3). Ежемесячно в атмосферу «улетучивается» от 1 до 12 тонн авиакеросина в зависимости от климатических условий эксплуатации резервуара и частоты проводимых циклов приема-выдачи из резервуара [5].

⁴ РД 153-39.2-048-00. Методика определения эффективности применения улавливания легких фракций нефти из резервуаров [Электронный ресурс] // Система нормативных документов «МЕГАНОРМ». 2000. 47 с. URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://meganorm.ru/Data2/1/4293816/4293816396.pdf> (дата обращения: 12.04.2022).

⁵ РД 153-39-018-97. Инструкция по нормированию технологических потерь нефти на нефтегазодобывающих предприятиях нефтяных компаний Российской Федерации (вместе с «Техническими требованиями к проведению исследований по определению технологических потерь нефти на нефтегазодобывающих предприятиях и представлению их результатов») (утв. Минтопэнерго РФ 16.06.1997) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. 1997. 61 с. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_99862/ (дата обращения: 12.04.2022).

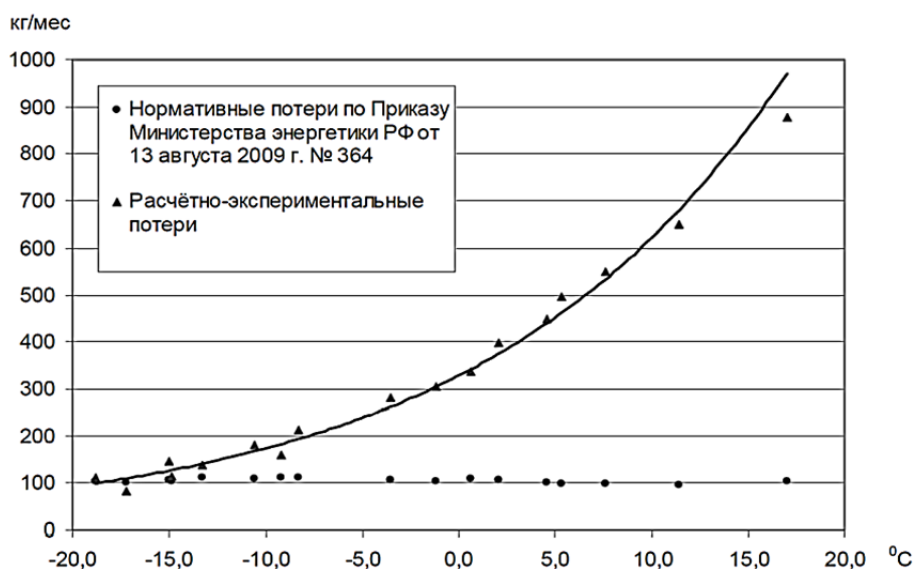


Рис. 2. Выбросы паровоздушной смеси (ПВС) при хранении в резервуаре
Fig. 2. Emissions of vapor-air mixture (VAM) during storage in a tank

Потери авиакеросина также связаны с его обводнением. Присутствие воды даже в весьма малых количествах способно резко повлиять на свойства авиакеросина, что может привести к нежелательным последствиям при эксплуатации авиационной техники [5–7].

Возможность попадания воды в авиакеросин при транспортировании, хранении и заправке ВС очень велика, а удаление ее из

авиакеросина связано со значительными трудностями. Процесс затратный и дорогостоящий и связан с повышенным расходом фильтроэлементов, увеличением длительности отстаивания, что в итоге приводит к существенным потерям и неэффективным затратам бизнеса ТЗК, а также является угрозой безопасности полетов.

Механизм насыщения авиатоплива водой

ПОТЕРИ ОТ ИСПАРЕНИЯ ТС-1 В 2018 г.

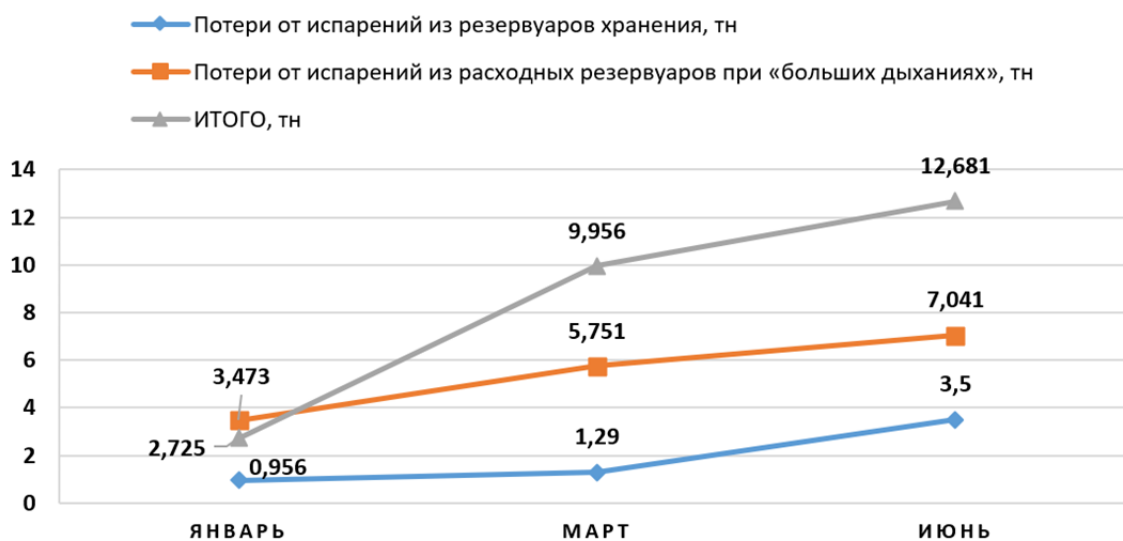


Рис. 3. Результаты опытно-практической оценки количественных значений потерь авиатоплива из расходных резервуаров ТЗК в 2018 году

Fig. 3. Results of the experimental and practical assessment of quantitative values of jet fuel losses from RC feed tanks in 2018

из влаги атмосферного воздуха, присутствующего в надтопливном пространстве резервуаров, упоминается в технической литературе [5, 8]. При высоком уровне влажности воздуха, в пределах 70...100 %, как правило это весенне-летний период, и в особенности при дождливой погоде, в резервуар емкостью 5000 м³ при его большом входе в процессе выдачи авиатоплива может поступить до 50 литров воды, это составляет 1 литр воды на 100 м³ воздуха, влага из воздуха конденсируется на стенках резервуара и приводит к обводнению авиатоплива [5, 9].

Пути попадания воды в авиакеросин характерны для случаев простоя, опорожнения и заполнения резервуаров хранения и транспортировки. Превышение уровня обводненности авиакеросина в оборудовании ТЗК приводит к повышению уровня содержания механических примесей, вовлеченных в поток вместе с примесями воды, а также вероятности развития бактериального заражения авиакеросина в оборудовании ОАТО и топливных системах ВС, поскольку бактерии развиваются на границе раздела вода – керосин [6, 8].

Таким образом, актуальность разработки систем снижения потерь в процессе деятельности ТЗК очевидна, а в связи с современным развитием новых информационных технологий становится целесообразным достижение целей создания этих систем путем автоматизации технологических процессов ресурсосберегающих технологий. Рассмотрим уже существующие устройства и системы сокращения потерь нефтепродуктов.

Обзор аналогов

В настоящее время существует большое многообразие технологических решений по снижению выбросов ПВС в атмосферу при транспортировке и хранении авиатоплива, наиболее эффективным является герметизация резервуарного оборудования, газоуравнительных систем, а также применение систем рекуперации авиатоплива из ПВС.

Актуальным является применение средств рекуперации паров при наливе/сливе нефте-

продуктов в морские суда, вагоны-цистерны и автоцистерны. Также эффективно применение системы рекуперации на АЗС, НПЗ и ГСМ. Установка систем рекуперации обеспечивает предотвращение выбросов вредных паров нефтепродуктов в атмосферу и позволяет получать дополнительную прибыль на возврате нефтепродукта обратно в технологический цикл.

Адсорбционно-абсорбционные установки рекуперации паров на основе сухой вакуумной технологии признаны большинством мировых нефтяных компаний как лучшие.

Система рекуперации легких углеводородов полностью изолирована от окружающей среды и применяется при транспортировке бензинов, газоконденсатов нефти и других нефтепродуктов с давлением насыщенных паров выше 500 мм рт. ст., при этом обеспечивает снижение выбросов легких углеводородов с 1500 до 30 г/м³ в точке выброса.

Система рекуперации ПВС герметично изолирует надтопливное пространство резервуара от атмосферы и используется при транспортировке бензина, газоконденсата и прочих нефтепродуктов с давлением насыщенных паров, превышающим 500 мм рт. ст., уменьшая уровень выбросов ПВС в 50 раз: с 1500 до 30 г/м³ в точке выброса.

Существует метод сокращения потерь нефтепродуктов при хранении [10], который снабжен камерой, расположенной внутри резервуара и представляющей собой гофрированный эластичный бак, внутренняя полость которого сообщается с атмосферой и изменяет свой объем по мере наполнения или опустошения резервуара. Трубопроводы для наполнения и опорожнения резервуара, размещены друг над другом, соединены между собой трубопроводом, водяным насосом, сборником газа и сборником водно-солевого раствора HCl.

Рассматривается конструкция усовершенствования дыхательного оборудования резервуаров хранения легкоиспаряющихся нефтепродуктов [11], представляющая собой сообщающиеся между собой резервуар, конденсор со сборником ЛУВ, адсорбер с сорбирующими гранулами, размещенный в кон-

денсоре, теплообменник состоящий из батареи термоэлементов, расположенный между конденсором и адсорбером и ориентированный холодными спаями к конденсору, а горячими – к адсорберу, конденсор и адсорбер соединены патрубком между собой и атмосферой. Сборник ЛУВ изготовлен из пористого газопроницаемого материала, имеющего ячеистую структуру. Конструкция состоит из двух пластин, размещенных с горячей стороны термоэлементов и соответственно холодной стороны термоэлементов. Пластины изготовлены из пористого газопроницаемого материала, имеющего ячеистую структуру, и размещены на сборнике ЛУВ.

Разработана установка улавливания ЛУВ из средств транспортирования топлива и резервуаров хранения с использованием хладагентов [12], сущность которой, заключается в установке на крышу резервуара или горловину автоцистерны устройства-заборника ПВС, соединенного паропроводом с дополнительным резервуаром. В процессе налива резервуара уровень топлива увеличивается, а объем надтопливного пространства уменьшается. В резервуаре увеличивается давление ПВС. ПВС откачивается насосом через паропровод в дополнительный резервуар. ПВС, проходя через теплообменник, конденсируется, а оставшиеся несконденсированные пары поглощаются низкооктановым топливом.

Запатентована система абсорбции ЛУВ со вспомогательным паросборником и охладителем, предназначенная для дооборудования дыхательных систем резервуаров [13]. В данной конструкции дыхательный клапан сообщается со вспомогательным паросборником, имеющим приемник ПВС и насос для откачки паров в паросборник, снабженный регулирующими клапанами. ПВС насосом перекачивается во вспомогательный паросборник, при достижении давления порога срабатывания клапана ПВС через обратный регулируемый клапан поступает в охладитель, а далее возвращается в резервуар, где окончательно абсорбируются.

Перспективными являются разработки технологий подготовки и осушения воздуха, поступающего в дыхательное оборудование резервуаров хранения авиатоплива, топливоза-

правщиков, топливных систем ВС [14, 15]. Наиболее эффективными являются мембранные технологии разделения загрязненных сред, в связи с этим исследования в данном направлении представляют наибольший интерес.

Наиболее эффективным методом исключения или минимизации потерь от испарения и обводнения авиатоплива является обеспечение герметичной изоляции надтопливного пространства резервуара от атмосферного воздуха. Этот метод имеет высокий экономический эффект для ТЗК с высоким уровнем расхода и оборачиваемости резервуаров, может быть реализован применением установок рекуперации и (или) газоуравнительных систем для хранения и транспортировки авиатоплива. Однако рассмотренное оборудование сложное – требуется внесение изменений в конструкцию штатного оборудования и оборудования дыхательной системы резервуара, а эффективность работы зависит от синхронности приема и отпуска авиатоплива из резервуаров, что не всегда возможно осуществить.

Вместе с тем представляет интерес решение снижения потерь от испарения и обводнения авиатоплива методами подготовки атмосферного воздуха перед поступлением его в резервуар: осушением путем нагрева или охлаждения, а также конденсацией авиакеросина из ПВС, выходящей из резервуара при его наполнении авиатопливом.

Система сокращения потерь от испарения и обводнения авиатоплива в резервуарах ТЗК

Предлагаемое решение для снижения потерь от испарения и обводнения авиатоплива в резервуаре хранения заключается в подготовке атмосферного воздуха путем осушения, подачи осушенного воздуха в надтопливное пространство резервуара через дыхательный клапан и отводе ПВС из этого же дыхательного клапана через предложенное устройство подвода-отвода воздуха, которое выполнено в виде кольцевого воздухопровода и сообщается с окружающей средой.

Принцип действия системы для снижения потерь от испарения и обводнения авиатоплива в резервуаре хранения заключается в подаче подготовленного осушенного атмосферного воздуха через дыхательный клапан в надтопливное пространство резервуара, а также отведении ПВС из дыхательного клапана через кольцевой воздуховод, конденсор и далее в атмосферу окружающей среды.

Принципиальная схема системы (рис. 4) представляет собой модуль подготовки воздуха, блок воздухоочистителя и холодильника-конденсора, поддерживающего низкую влажность воздуха. В качестве холодильника-конденсора может использоваться, промышленный кондиционер, расположенный за пределами резервуарного парка. Уровень энергетических затрат, требуемых для охлаждения паровоздушной смеси, зависит от объема надтопливного пространства, температуры ПВС, оборачиваемости резервуара и КПД холодильника-конденсора.

Кольцевые воздуховоды системы устанавливаются на дыхательные клапаны 6 резервуара 1 (рис. 4), оборудование воздухоподготовки и отведения ПВС располагается за пределами резервуарного парка. Кольцевые воздуховоды системы дыхательных клапанов 6 сообщаются трубопроводами с оборудованием воздухоподготовки и отведения ПВС. Дыхательный клапан 6 может циклически функционировать в режимах подачи в резервуар воздуха, а также и в режиме выпуска ПВС из резервуара при соответствующем изменении давления внутри резервуара, создаваемого наполнением или опорожнением резервуара 1, синхронно повторяя процессы вдоха-выдоха.

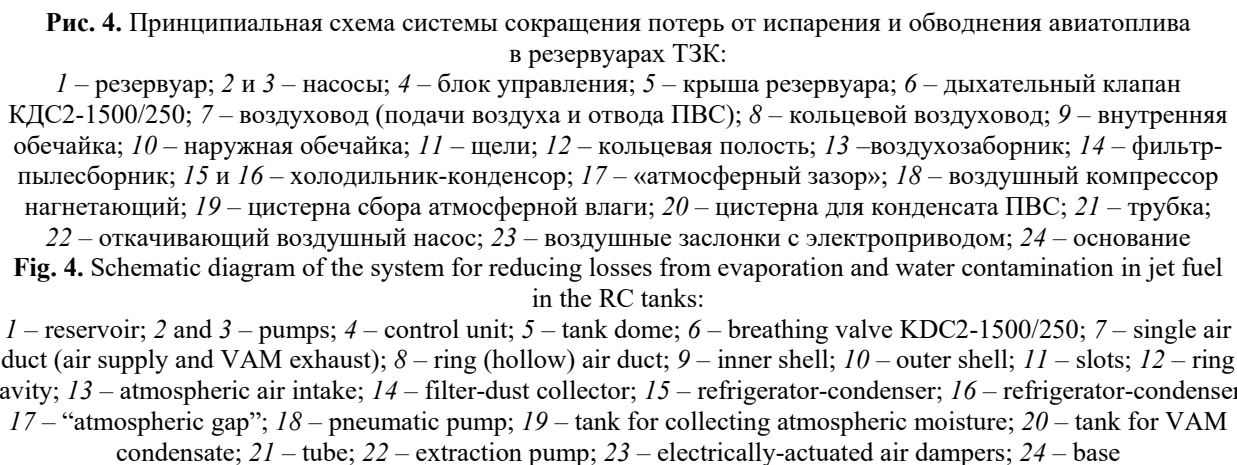
Режим выдачи авиатоплива. После воздухозаборника 13 атмосферный воздух, проходя воздухоочиститель-пылесборник 14, нагнетается насосом 18 в холодильник-конденсор, где происходит отделение влаги, т. е. осушение атмосферного воздуха, затем подготовленный воздух поступает в кольцевой воздуховод 8, а далее через «атмосферный зазор» засасывается дыхательным клапаном в надтопливное пространство резервуара, при этом конденсат после осушения из холодиль-

ника-конденсора 15 отводится в цистерну 19. Работа воздушного нагнетающего компрессора 18 синхронизирована с работой насоса выдачи авиатоплива 3 из резервуара и управляется программируемым логическим контроллером PLC 4.

При выдаче авиатоплива из резервуара (при откачке авиатоплива) очищенный и осушенный воздух из системы воздухоподготовки всасывается в резервуар 1. Воздушный компрессор нагнетает очищенный и осушенный воздух с избытком 10 % на компенсацию потерь. Расход воздуха определяется показаниями расходомеров топливоперекачивающих насосов подачи 2 выдачи авиатоплива, при этом алгоритм контроллера на основании данных расхода насосов подачи и выдачи 3 учитывает сообщаемые объемы воздух – ПВС – авиатопливо. Расходомеры дают точные показания количества авиатоплива, соответствующего требуемому расходу воздуха (+10 %), что обеспечивается работающей системой сообщаемых объемов авиатопливо – воздух.

Режим приема авиатоплива. При включении насоса 2 подачи авиатоплива, в резервуар 1 ПВС вытесняется из надтопливного пространства резервуара через дыхательный клапан 6 через «атмосферного зазора» 17 поступает в кольцевой воздуховод 8, далее перекачивается компрессором 22 по воздуховоду 7 в холодильник-конденсор 16. В холодильнике-конденсоре 16 из ПВС в результате охлаждения отделившийся конденсат утилизируется в бак-керосинослив 20, а очищенный воздух выводится наружу через выхлопную трубу 21 в атмосферу окружающей среды (аналогично очистным сооружениям ТЗК).

Работа воздушного откачивающего компрессора 22 синхронизирована с работой насоса подачи авиатоплива 2 в резервуар и управляется программируемым логическим контроллером PLC 4 (по алгоритму потребный расход +10 % в соответствии с расходами объема «ПВС – воздух – авиатопливо»), с целью исключения обратных перетоков ПВС и воздуха при перемене режимов вдоха и выдоха воздуховоды 7 снабжены воздушными заслонками с электроприводом 23 на линиях



прессора 18 или откачивающего воздушного компрессора 22, в зависимости от приема или выдачи авиатоплива в резервуар и соответственно от режима вдоха или выдоха. В состоянии покоя системы (когда дыхания не происходит) при равенстве давления атмосферы и надтопливного пространства резервуара все заслонки 23 закрыты, исключая любые перетоки воздуха по воздуховоду 7.

При любых неисправностях системы, в т. ч. при отсутствии электропитания, работа штат-

ного дыхательного клапана резервуара не нарушается, в этом случае атмосферный воздух и ПВС беспрепятственно проникают в дыхательный клапан через «атмосферный зазор», таким образом обеспечивается бесперебойная работа дыхательного оборудования резервуара, не требуя вмешательства обслуживающего персонала. После возобновлении электропитания работа системы восстанавливается автоматически.

Заключение

1. Проведенный расчет потерь авиакеросина при больших и малых дыханиях резервуаров в условиях реального ТЗК показал, что в пределах норм естественной убыли потери составляют от 1 до 12 тонн в месяц.

2. Обзорные исследования применяемых систем снижения потерь авиатоплива от обводнения и испарения авиатоплива конструктивно сложны, требуют реконструкции штатного резервуарного оборудования, а также необходимости вмешательства в работу дыхательной системы резервуара.

3. Предложена автоматизированная система сокращения потерь от испарения и обводнения за счет осушения атмосферного воздуха, поступающего в резервуар, и конденсации авиакеросина из ПВС, выходящей из резервуара при больших и малых дыханиях резервуара в процессах хранения, приема и выдачи авиатоплива из резервуаров ТЗК.

4. Монтаж разработанного устройства подготовки воздуха не требует вмешательства в конструкцию штатного оборудования и не затрагивает технологию работы резервуарного парка и оборудования дыхательных систем.

5. Наибольший эффект от внедрения системы сокращения потерь от испарения и обводнения будут иметь ТЗК с высоким расходом авиатоплива, интенсивной оборачиваемостью резервуарного парка и с высокой степенью загазованности.

6. Внедрение системы сокращения потерь от испарения и обводнения в ТЗК и других объектах авиатопливообеспечения (нефтезаво-

ды, терминалы, нефтебазы, склады ГСМ и пр.) будет способствовать получению дополнительной прибыли за счет снижения экономических потерь, улучшению экологической обстановки и повышению уровня пожаро-взрывобезопасности резервуарных парков ТЗК.

Список литературы

1. Сальников А.В. Потери нефти и нефтепродуктов: учеб. пособие. Ухта: УГТУ, 2012. 108 с.

2. Земенков Ю.Д., Пашков М.И., Богатенко Ю.В. и др. Эксплуатация объектов хранения и распределения жидких углеводородов: учеб. пособие. СПб.: Недра, 2007. 534 с.

3. Коршак Ан.А., Коршак А.А. Метод прогнозирования потерь нефти и нефтепродуктов от «больших дыханий» за длительный период // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2018. № 5 (115). С. 79–87. DOI: 10.17122/ntj-oil-2018-5-79-87

4. Цегельский И.Г., Ермаков П.Н., Спиридонов В.С. Защита атмосферы от выбросов углеводородов из резервуаров для хранения и транспортирования нефти и нефтепродуктов [Электронный ресурс] // km.ru. 01.04.2004. URL: <https://www.km.ru/referats/231E364D59744A1F86233F71CF565DA1> (дата обращения: 10.05.2022).

5. Молчанов О.В., Старый С.В., Новиков М.В. Метод определения технологических потерь нефтепродуктов при приеме в резервуары // Научный Вестник МГТУ ГА. 2012. № 183. С. 88–91.

6. Браилко А.А. Дыхательная система резервуара для легкоиспаряющихся жидкостей / А.А. Браилко, Н.А. Дружинин, Л.А. Дружинин, А.В. Смольский. Патент RU № 2673004 С1, МПК В65D 90/28: опубл. 11.21.2018. Бюл № 33. 13 с.

7. Рыбаков К.В., Жулдыбин Е.Н., Коваленко В.П. Обезвоживание авиационных горюче-смазочных материалов. М.: Транспорт, 1979. 181 с.

8. Браилко А.А. Адаптивная информационно-управляющая система динамического

мониторинга фактической обводненности авиатоплива в технологических процессах авиатопливообеспечения / А.А. Браилко, В.М. Самойленко, Н.А. Дружинин, Л.А. Дружинин // Научный Вестник МГТУ ГА. 2022. Т. 25, № 2. С. 20–29. DOI: 10.26467/2079-0619-2022-25-2-20-29

9. Коваленко В.П., Ильинский А.А. Основы техники очистки жидкости от механических загрязнений. М.: Химия, 1982. 272 с.

10. Бахмат Г.В. Устройство для хранения и сокращения потерь нефти / Г.В. Бахмат, И.М. Ветров, С.Ю. Овчинников, М.Г. Речкалов, В.М. Смоленцев, А.Б. Шабаров. Патент RU № 2328430 C2, МПК B65D 88/34: опублик. 10.07.2008. Бюл № 19. 6 с.

11. Данченко Ю.В., Кулаков С.В. Дыхательная система резервуара для легкоиспаряющихся жидкостей. Патент RU 2181336 C2, МПК B65D90/30 B65D90/28: опублик. 20.04.2002. 4 с.

12. Матвеев Ю.А. Установка улавливания паров нефтепродуктов из автомобильных цистерн и резервуаров с применением охлаждающей смеси / Ю.А. Матвеев, В.А. Кузнецов, А.А. Бутузов, А.Ю. Мулгачев, Е.А. Варнакова. Патент RU № 122994 U1, МПК B65D 88/00: опублик. 20.12.2012. 8 с.

13. Матвеев Ю.А. Установка улавливания паров нефтепродуктов с дополнительным резервуаром сбора паров и системой их охлаждения для наземных вертикальных стальных резервуаров / Ю.А. Матвеев, В.А. Кузнецов, А.А. Бутузов, А.Ю. Мулгачев. Патент RU № 142402 U1, МПК B65D 88/00: опублик. 27.06.2014. 6 с.

14. Мартяшева В.А. Исследование испарения нефтей и нефтепродуктов из резервуаров в условиях интенсификации технологических процессов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Уфа: Уфимский нефтяной ин-т, 1978. 21 с.

15. Александров А.А., Архаров И.А., Емельянов В.Ю. Обзор действующих систем улавливания паров нефтепродуктов // Современная АЗС. 2005. № 10. С. 130–133.

References

1. Salnikov, A.V. (2012). [*Losses of oil and petroleum products: Tutorial*]. Ukhta: UGTU, 108 p. (in Russian)

2. Zemenkov, Yu.D., Pashkov, M.I., Bogatenko, Yu.V. et al. (2007). [*Liquid hydrocarbons storage and distribution facilities operation: Tutorial*]. St. Petersburg: Nedra, 534 p. (in Russian)

3. Korshak, An.A. & Korshak, A.A. (2018). *Method of forecasting losses of oil and petroleum products from "big breaths" over a long period*. Problems of gathering, treatment and transportation of oil and oil products, no. 5 (115), pp. 79–87. DOI: 10.17122/ntj-oil-2018-5-79-87

4. Tsegelsky, I.G., Ermakov, P.N. & Spiridonov, V.S. (2004). [*Protection of the atmosphere from hydrocarbon emissions from reservoirs for storage and transportation of oil and petroleum products*]. km.ru. Available at: <https://www.km.ru/referats/231E364D59744A1F86233F71CF565DA1> (accessed: 10.05.2022). (in Russian)

5. Molchanov, O.V., Starii, S.V. & Novikov, M.V. (2012). *Method for determining the loss of petroleum process for admission to the tanks*. Nauchnyy Vestnik MGTU GA, no. 183, pp. 88–91. (in Russian)

6. Brailko, A.A., Druzhinin, N.A., Druzhinin, L.A. & Smulsky, A.V. (2018). *Breather system reservoir for easy-fluid liquid*. Patent RU no. 2673004 C1, IPC B65D 90/28: publ. November 21. 13 p. (in Russian)

7. Rybakov, K.V., Zhuldybin, E.N. & Kovalenko, V.P. (1979). [*Aviation fuels and lubricants dehydration*]. Moscow: Transport, 181 p. (in Russian)

8. Brailko, A.A., Samoylenko, V.M., Druzhinin, N.A. & Druzhinin L.A. (2022). *Adaptive information management system of dynamic monitoring of actual water content in jet fuel in technological processes of aviation fuel supply*. Civil Aviation High Technologies, vol. 25, no. 2, pp. 20–29. DOI: 10.26467/2079-0619-2022-25-2-20-29

9. Kovalenko, V.P. & Ilyinsky, A.A. (1982). [*Fundamentals of fluid purification technique from mechanical impurities*]. Moscow: Khimiya, 272 p. (in Russian)

10. Bakhmat, G.V., Vetrov, I.M., Ovchinnikov, S.J., Rechkalov, M.G., Smolentsev, V.M. & Shabarov, A.B. (2008). *Device for storing and reducing oil losses*. Patent RU no. 2328430 C2, IPC B65D 88/34: publ. July 10, 6 p. (in Russian)

11. Danchenko, Ju.V. & Kulakov, S.V. (2002). *Breathing system of reservoir for highly volatile liquids*. Patent RU no. 2181336 C2, IPC B65D90/30 B65D90/28: publ. April 20, 4 p. (in Russian)

12. Matveev, Yu.A., Kuznetsov, V.A., Butuzov, A.A., Mulgachev, A.Yu. & Varnakov, E.A. (2012). [*A unit for trapping vapors of petroleum products from automobile tanks and reservoirs using a cooling mixture*]. Patent RU

no. 122994 U1, IPC, B65D 88/00: publ. December 20, 8 p. (in Russian)

13. Matveev, Yu.A., Kuznetsov, V.A., Butuzov, A.A. & Mulgachev, A.Yu. (2014). [*A unit for trapping vapors of petroleum products with an additional vapor collection tank and their cooling system for ground vertical steel tanks*]. Patent RU no. 142402 U1, IPC B65D 88/00: publ. June 27, 6 p. (in Russian)

14. Martyasheva, V.A. (1978). [*Research of oils and oil products evaporation from reservoirs under conditions of technological processes intensification: Abstract of Candidate of Tech. Sc. Dissertation*]. Ufa: Ufimskiy neftyanoy institute, 21 p. (in Russian)

15. Alexandrov, A.A., Arkharov, I.A. & Emelyanov, V.Yu. (2005). [*Overview of existing oil vapor recovery systems*]. Sovremennaya AZS, no. 10, pp. 130–133. (in Russian)

Сведения об авторе

Браилко Анатолий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры авиатопливообеспечения и ремонта летательных аппаратов МГТУ ГА, A.brailko@mstuca.aero.

Information about the author

Anatoly A. Brailko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Aviation Fuel Supply and Aircraft Repair Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, A.brailko@mstuca.aero.

Поступила в редакцию 30.06.2022
Принята в печать 26.01.2023

Received 30.06.2022
Accepted for publication 26.01.2023