

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

На правах рукописи

ДРУЖИНИН НИКИТА АЛЕКСАНДРОВИЧ

МЕТОД НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ОБВОДНЕННОСТИ
АВИАТОПЛИВА ПРИ ТОПЛИВООБЕСПЕЧЕНИИ ВОЗДУШНЫХ
СУДОВ

Специальность 2.9.6 – «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники»

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Самойленко В. М.

Москва 2022

Содержание

	Стр.
Введение	4
1 Эксплуатационные факторы, влияющие на обеспечение кондиционности авиатоплива при их заправке в воздушные суда	12
1.1 Анализ основных требований нормативной документации при обеспечении кондиционности авиатоплива пригодного к применению в воздушных судах	12
1.2 Методы и средства контроля обводненности авиатоплива на этапах подготовки и применения на воздушных судах	19
1.3 Влияние применения некондиционного авиатоплива на безопасность полетов воздушных судов	25
Выводы по главе 1	31
2 Механизм накопления воды в процессе авиатопливообеспечения воздушных судов	33
2.1 Кинетика накопления воды в авиатопливе при его подготовке и хранении	33
2.2 Влияние обводненности авиатоплива на ресурс применяемых в технологическом процессе фильтрующих элементов	39
2.3 Расчет возможных последствий при применении некондиционного авиатоплива	49
Выводы по главе 2	52
3 Теоретическое обоснования системы непрерывного контроля обводненности авиатоплива при авиатопливообеспечении воздушных судов	53
3.1 Разработка математической модели предотвращения заправки воздушного судна не кондиционным авиатопливом	53
3.2 Исследование течения авиатоплива в индикаторных пористых перегородках и подбор для них материалов	60

3.3	Обоснование выбора программного продукта для обработки данных мониторинга обводненности авиатоплива	66
	Выводы по главе 3	68
4	Разработка метода непрерывного контроля обводненности авиатоплива при топливообеспечении воздушных судов	69
4.1	Разработка метода непрерывного мониторинга обводненности авиатоплива при технологических процессах топливообеспечения воздушных судов	69
4.2	Расчет определения технологических потерь авиатоплива в процессе хранения	82
4.3	Дыхательная система предотвращения обводненности авиатоплива и его потерь при хранении	90
	Выводы по главе 4	96
	Заключение	98
	Список сокращений и условных обозначений	100
	Список литературы	101
	Приложение	113

Введение

Актуальность темы исследования. Российская Федерация в силу своего географического положения, неравномерности распределения населения нуждается в развитии и использовании гражданской авиации (ГА). Интенсивное использование ГА требует и обеспечения безопасности полетов, которое является важнейшей проблемой [1, 3, 62, 106]. На протяжении всего времени существования авиации, возникало немало различных происшествий, инцидентов, аварий и даже катастроф, по различным причинам. Основными из них являются: человеческий фактор, плохие метеоусловия, неисправность авиационной техники, применение некондиционных авиаГСМ, ошибки технического персонала при обслуживании ВС, и другие факторы [1, 3, 62, 106].

При решении проблемы безопасности полетов ВС особое внимание сегодня уделяется применению кондиционных авиаГСМ, как одной из составляющих безопасности полетов. От кондиционности применяемых авиаГСМ зависит безотказная работа функциональных системы (топливной, масляной и т.д.) ВС, а от кондиционности применяемого авиатоплива зависит работа топливорегулирующей аппаратуры газотурбинного двигателя [3, 107]. Наличие в авиатопливе различного рода загрязнений таких как, смолы, вода, микроорганизмы и бактерии, механические примеси, не благотворно влияют на работу топливной системы ВС, что снижает безопасность полетов в целом. Такие загрязнения, попав в топливорегулирующую аппаратуру могут приводить к забивке фильтроэлементов и залипанию жиклеров, что может приводить к прекращению подачи авиатоплива в газотурбинный двигатель, а значит и его отключению.

С момента производства на нефтеперерабатывающем заводе до применения на ВС авиатопливо перевозится различными видами транспорта и как следствие многократно перекачивается, а также может храниться в хранилищах, на базах хранения, складах топливозаправочных комплексов (ТЗК). При этом авиатопливо

контактирует с внешней средой, где в воздухе содержится влага, насосами, резервуарами и т.д. Это приводит к загрязнению авиатоплива механическими примесями и водой. Суточные колебания температуры приводят к тому, что при охлаждении авиатоплива в нем выделяется эмульсионная вода или нерастворенная [108]. Кроме этого, авиатопливо, прежде чем будет заправлено в баки ВС, доставляется или аэродромными топливозаправщиками (АТЗ) или транспортируется через систему гидрантов к пунктам централизованной заправки. Т.е. заправка ВС происходит с удаленного склада топливозаправочного комплекса (ТЗК), а следовательно, существует риск нарушения кондиционности авиатоплива на любом участке поставки его топливные баки ВС.

Согласно требованиям нормативно технической документации (НТД), в частности, ГОСТ 17210-2001 чистота авиатоплива, заправляемого в ВС, должна быть не более 8 класса. Для его обеспечения, согласно рекомендациям международной ассоциации воздушного транспорта (ИАТА), заправка ВС авиатопливом проводится через 1...3 микронные фильтры-мониторы или фильтры-водоотделители с очисткой от механических примесей 0,5 микрон, а отделение свободной воды до уровня не выше 0,0005%(масс).

Поэтому важнейшей задачей работы организаций авиатопливообеспечения (ОАТО) при осуществлении технологического процесса авиатопливообеспечения ВС является сохранение кондиционности авиатоплива, а при отклонении от требований НТД, исправление его кондиционности для достижения нормативного уровня кондиционности авиатоплива, заправляемого в ВС. Это требует от ТЗК соблюдения всех технологических процессов авиатопливообеспечения (транспортировки, слива, хранения, налива в топливозаправщики), а также применения современного оборудования фильтрации и водоотделения, принятию мер по предотвращению попадания влаги в авиатопливо, применения эффективных технологий [82], а также непрерывного мониторинга уровня чистоты и обводненности авиатоплива на всех этапах авиатопливообеспечения и особенно при заправке в ВС. Это связано с ролью и важностью топливной системы ВС, так она обеспечивает

подачу авиатоплива для обеспечения работоспособности газотурбинного двигателя (ГТД), а значит является одной из критических точек в обеспечении безопасности полетов. Согласно нормативным требованиям [20, 21, 25, 84, 85] для обеспечения бесперебойной работы ГТД требуется кондиционное авиатопливо, т.е. без механических примесей и воды. Можно сказать, что чем более чистое авиатопливо, тем более надежна топливная система ВС, и как следствие, больший ресурс ее функциональных агрегатов и топливорегулирующей аппаратуры ГТД.

При транспортировке, хранении и применении авиационных топлив ухудшаются их физические свойства, а следовательно, и кондиционность. Чтобы избежать появления осадка, смол, примесей, микробиологических загрязнений и воды, необходимо выполнить ряд очень важных мероприятий, так как от этого зависит безопасность полётов. Даже небольшое количество воды приводит к образованию кристаллов льда на высоте из-за отрицательных температур, а это в свою очередь приводит к засорению фильтров, в результате чего топливо не поступает в двигатель. Наличие в авиатопливах воды, особенно свободной, существенно снижает их свойства. Негативное влияние воды на свойства авиатоплив зависит от ее количества, состояния (свободная, эмульсионная, растворенная), в котором она находится, а также химического состава самого авиатоплива [40].

Согласно НТД [20, 21, 25, 84, 85] на различных стадиях технологического процесса авиатопливообеспечения ВС осуществляется контроль его качества (входной, складской, аэродромный и т.д.) где производится отбор проб из мест с наибольшей вероятностью присутствия в этих местах воды и механических примесей, а затем производится анализ взятой пробы. Отбор пробы производится дискретно по времени (ежедневно, ежемесячно, после прокачки определенного количества авиатоплива, перед заправкой в ВС и т.д.), т.е. с установленной определенной периодичностью. Можно говорить о том, что контроль проводится не всего объема авиатоплива, а контролируется только в местах и по времени определёнными нормативными требованиями [20, 21, 25, 84, 85]. В этом случае возникает риск не обнаружения (пропуска) наличия воды

или механических примесей в потоке авиатоплива по всему технологическому процессу авиатопливообеспечения ВС.

Таким образом, проблема контроля кондиционности авиатоплива по всему технологическому процессу от приема до его поставки в баки ВС является актуальной для ГА и имеет существенное влияние на обеспечение безопасности полетов ВС и экономику транспортной системы ГА.

Степень разработанности вопроса.

Вопросу обеспечения кондиционности авиатоплива и методов контроля его качества посвящены работы, выполненные сотрудниками научно-исследовательских организаций таких как ФГУП ГосНИИ ГА, ОАО «ВНИИ НП», ЦИАМ им. П.И. Баранова, ФАУ «25 ГНИИ Химмотологии МО РФ», НАУ (КИИГА), ФГБУ ВО «УИ ГА», МАТИ-РГТУ им. К. Э. Циолковского и др. Исследованиями ученых этих и других организаций были выявлены основные факторы, влияющие на кондиционность авиатоплива в процессе его хранения, транспортировки и заправки ВС. Большая часть этих работ была выполнена 90...00 – х годах и не учитывает сегодняшние технологии авиатопливообеспечения ВС, а также возможности применения автоматизации и цифровизации технологического процесса контроля кондиционности авиатоплива.

Вопросам определения воды в авиатопливе и процессам его обезвоживания, а также влияние наличия воды в авиатопливе на безопасность полетов посвящены работы Рыбакова К. В., Орешенкова В. А., Романцова С. В., Смирнова М. С., Сахно Г. И., Яновского Л. С., Галимова Ф. М., Харина А. А., Большакова Г. Ф. и др.

Вопросы контроля кондиционности авиатоплива и их нормирование изложены как в отечественных, так и зарубежных НТД [20, 21, 25, 27, 84, 83, 85].

Однако проблема обеспечения безопасности полетов ВС, связанная с необходимостью непрерывного контроля кондиционности авиатоплива и особенно наличия в нем воды и механических примесей не имеет законченного решения. Следовательно, решение научной задачи обеспечения непрерывного

контроля кондиционности авиатоплива при его подготовке к применению на ВС в аэропортах ГА имеет актуальное значение.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования – является реализуемый технологический процесс авиатопливообеспечения ВС в аэропортах ГА.

Предмет исследования – процесс контроля уровня свободной воды в авиатопливе при его подготовке к применению на ВС.

Цель исследования: разработка нового научно обоснованного технического и технологического решения контроля кондиционности авиатоплива и его сохранности при выполнении технологического процесса авиатопливообеспечения ВС с применением автоматизированной системы с целью обеспечения безопасности полетов.

Для достижения поставленной цели исследования были поставлены и решены следующие научные задачи:

- анализ процессов попадания воды в авиатопливо на всей технологической цепи системы авиатопливообеспечения от приема до топливных баков ВС;
- обобщение применяемых методов контроля наличия свободной воды в авиатопливе и технологий ее удаления;
- разработка теоретических основ непрерывного мониторинга обводненности авиатоплива в процессе авиатопливообеспечения ВС;
- выбор элементов и расчет узлов автоматизированной системы непрерывного контроля обводненности авиатоплива в процессе авиатопливообеспечения ВС;
- расчет потерь авиатоплива в процессе деятельности организации ОАТО;
- разработка дыхательной системы для снижения степени обводненности авиатоплива и его убыли в процессе деятельности организации ОАТО;
- разработка непрерывного контроля количества воды в авиатопливе с применением автоматизированной системы для выбора алгоритма и стратегии процессов авиатопливообеспечения в зависимости от степени его обводненности.

Методы исследования.

Методы исследования базируются на применении аналитических и экспериментальных методов исследования контроля воды в авиатопливе, способов обезвоживания авиатоплива, методов авиационной химмотологии, методов математической статистики, методов дисперсионного анализа и общенаучных методов познания.

Научная новизна работы.

1. Исследован механизм попадания свободной воды авиатопливо в процессе авиатопливообеспечения ВС в зависимости от времени года.
2. Установлено влияние параметров обводненности авиатоплива на ресурс фильтроэлементов.
3. Разработана математическая модель предотвращения при предперонной заправке ВС не кондиционным авиатопливом.
4. Впервые проведено теоретическое обоснование и рассчитаны элементы системы непрерывного мониторинга контроля воды в авиатопливе.
5. На основании разработанного устройства определения обводненности авиатоплива предложен способ непрерывного контроля количества воды в авиатопливе и в зависимости от степени его обводненности в автоматическом режиме выбрать алгоритм и стратегию процессов авиатопливообеспечения, использовать правильное сочетание времени отстаивания, тонкости и ступенчатости фильтрации, на который получен патент №2592069 РФ.

Практическая значимость исследования.

1. Проведен расчет экономических затрат при возникновении отказов элементов топливной системы ВС при наличии воды в авиатопливе.
2. Разработано устройство определения количества воды в авиатопливе, позволяющее с высокой степенью точности проводить контроль воды во всем объеме авиатоплива, на который получен патент №122491 РФ.
3. Разработана дыхательная система, позволяющая снизить степень обводненности авиатоплива, его убыль в процессе деятельности ТЗК, а также снизить количество вредных выбросов в окружающую среду.

4. Проведен расчет потерь авиатоплива в процессе деятельности организации ОАТО при «больших и малых дыханиях» резервуаров, что позволяет принимать решение по сокращению естественной убыли авиатоплива.

На защиту выносятся

1. Результаты анализа применяемых методов контроля наличия свободной воды в авиатопливе и технологий ее удаления при авиатопливообеспечении ВС.

2. Математическая модель предотвращения заправки ВС не кондиционным авиатопливом.

3. Результаты расчета потерь авиатоплива в процессе деятельности организации ОАТО при «больших и малых дыханиях» резервуаров.

4. Дыхательная система предотвращения обводненности авиатоплива и его потерь при хранении.

5. Устройство определения количества воды в авиатопливе.

6. Метод непрерывного контроля количества воды в авиатопливе в процессе авиатопливообеспечения ВС.

Достоверность и обоснованность.

Результаты диссертационного исследования получены с применением современных методов и методик, проведении экспериментов на аттестованном оборудовании. Достоверность результатов исследования обеспечивается их близостью с результатами исследования других авторов. Результаты работы прошли государственную экспертизу при получении патентов на способ и устройство определения количества воды в авиатопливе.

Теоретические положения диссертационного исследования базируются на известных достижениях в области авиационной химмотологии, теории вероятностей при обработке полученных экспериментальных данных, а также применением современного математического аппарата.

Апробация работы и публикации.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Международной конференции «Авиатопливо 2020», на 3-х научно-технических конференциях Ассоциации организаций авиатопливообеспечения в период 2012-

2018гг., при проведении Тренингов с IATA Fuel Quality Pool в 2018 и 2019 г.г., на научно-технических семинарах на кафедре «Авиатопливообеспечение и ремонт летательных аппаратов» МГТУ ГА.

По материалам работы опубликованы 6 научных статей (49 с), 3 из которых опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России (33 с) (по транспорту), а также в 4 патентах: патент №122491 опубликовано от 27.11.2012 г., патент №2502069 опубликовано от 20.12.2013 г., патент № 141654 опубликовано от 26.08.2015 г., патент № 2563813 опубликован от 29.05.2017.

Личный вклад автора.

Автор разработал методики всех экспериментальных исследований и непосредственно участвовал в их проведении в процессе всего цикла исследований, научно обосновал и разработал устройство определения содержания воды в авиатопливе и с его использованием разработал способ непрерывного мониторинга определения содержания воды в углеводородном авиатопливе от приема из видов транспорта до топливных баков ВС, спланировал и организовал сбор экспериментальной информации по влиянию наличия воды в авиатопливе на безопасность полетов ВС, по оценке ресурса ФЭ в зависимости от времени года, разработал математическую модель предотвращения при передеронной заправке ВС не кондиционным авиатопливом, разработал дыхательную система, позволяющая снизить степень обводненности авиатоплива, а также провел расчет потерь авиатоплива в процессе деятельности организации ОАТО при «больших и малых дыханиях» резервуаров.

Структура и объём диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы, перечня сокращений и приложения. Общий объём работы составляет 115 страниц текста. Диссертация содержит 7 таблиц, 38 рисунков, список используемых источников из 109 наименований.

1 Эксплуатационные факторы, влияющие на обеспечение кондиционности авиатоплива при их заправке в воздушные суда

кондиционности авиатоплива при заправке в воздушные суда

1.1 Анализ основных требований нормативной документации при обеспечении кондиционности авиатоплива пригодного к применению в воздушных судах

Успешная деятельность ГА сегодня оценивается показателем – обеспечение безопасности полетов, которое является основной задачей всех организаций, задействованных при обеспечении полетов ВС.

Рост числа воздушных перевозок, наблюдаемый в последнее время, в связи с этим открытие новых местных, так и международных авиалиний, требует четкого взаимодействия как подразделений аэропорта, так и обеспечивающих организаций. Особое место в этом взаимодействии занимают организации авиатопливообеспечения полетов воздушных судов.

Для обеспечения регулярности полетов ВС ГА расходуется миллионы тонн разных сортов горюче-смазочных материалов (ГСМ) [3, 43].

При транспортировке, хранении и применении авиационных топлив их физические свойства могут изменяться, а следовательно, и кондиционность (рис. 1.1) [29, 36, 50, 85, 108]. Чтобы избежать появления осадка, смол, примесей, микробиологических загрязнений и воды, необходимо соблюдение технологического процесса авиатопливообеспечения (рис. 1.1) и проведение ряда мероприятий, направленных на снижение возможного применения некондиционного авиатоплива, так как от этого зависит безопасность полётов.

Свободная (несвязанная) вода в авиатопливе является одним из опасных загрязнений. Ее количество в авиатопливе нормируется НТД, а максимально допустимое ее содержание составляет не более 5 мг/кг (т.е. 0,0005%) [21, 25, 84].

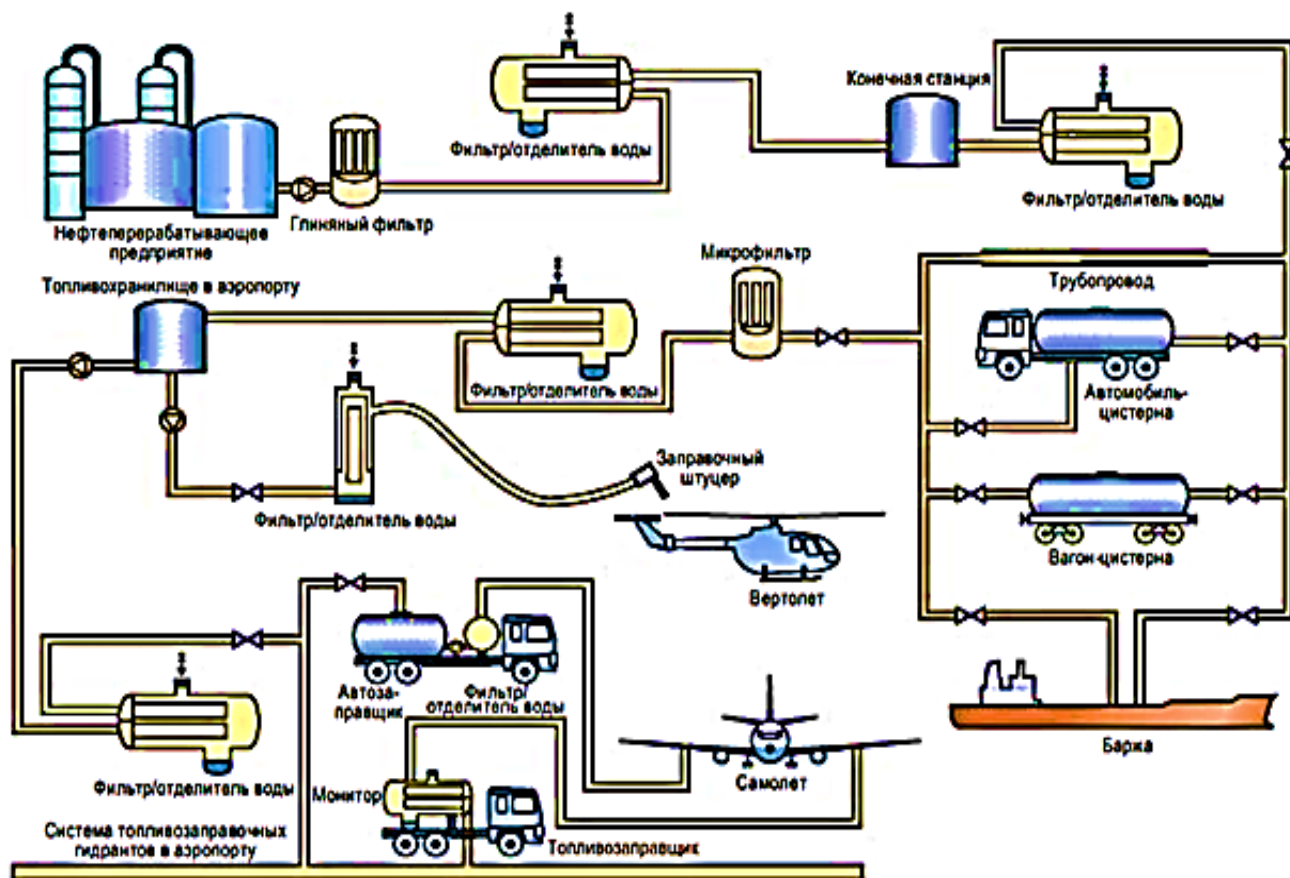


Рисунок 1.1 – Схема движения авиатоплива от нефтеперерабатывающего завода до крыла воздушного судна [85]

Даже небольшое количество воды приводит к образованию кристаллов льда на высоте из-за отрицательных температур, а это в свою очередь приводит к засорению фильтров, в результате чего топливо не поступает в двигатель. Вода в авиатопливе приводит к снижению их свойств. Влияние воды на свойства авиатоплива зависит от ее количества, в каком состоянии она находится (растворенная, в эмульсии или свободная), а также химического состава самого авиатоплива [109].

Одной из важнейших составляющих в структуре обеспечения безопасности полетов является кондиционность авиационных ГСМ, в том числе авиационного топлива. Применение воздушных судов установлены нормами

летной годности [39] и возможно в диапазоне ожидаемых условий эксплуатации с учетом ограничений. Для авиатоплив таким требованием является его кондиционность. Наличие в авиационном топливе воды в различном ее состоянии, механических загрязнений различного химического состава может привести к отказу топливной системы ВС [36, 107, 109]. В процессе эксплуатации ВС это может привести к забивке топливных фильтры механическими загрязнениями твердой фазы, или из-за замерзания в них свободной воды.

Требования к кондиционности авиатоплива устанавливаются НТД. На территории РФ, в зависимости от марки применяемого авиатоплива (ТС-1, РТ, ДЖЕТ А-1) эти требования изложены в: стандартах, регламентирующих требования к кондиционности авиатоплива в рамках Евразийского экономического союза (ЕАЭС) [20, 25]:

- технический регламент 013/2011 – «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту» (принят в 2011 г.);

- ГОСТ 10227-86 – «Топлива для реактивных двигателей. Технические условия» (межгосударственный стандарт, действующий в рамках СНГ; введен в 1986 г., последние изменения внесены в 2012 г.);

- ГОСТ 32595-2013 – «Топливо авиационное для газотурбинных двигателей Джет А-1 (JET А-1). Технические условия» (межгосударственный стандарт, действующий в рамках ЕАЭС; принят в 2013 г., введен в действие 01.01.2015 г.).

Авиатоплива ТС-1 и РТ используются на территории ЕАЭС, а также в Монголии и в большинстве стран бывших республик Советского Союза (Азербайджан, Армения, Грузия, Киргизия и др.)

На территории США, Канады, в странах Европы, а также в ряде других стран авиатопливо (Jet (Jet A, Jet A-1):

- ASTM2 D1655-15;
- DEF STAN3 91-91.

В стандартах РФ на реактивные авиатоплива содержание воды и механических примесей указывается: «отсутствие» (ГОСТ 10227- 86 на топлива Т-1, ТС-I и Т-2, ГОСТ 16564-71 на топливо РТ) или «не нормируется, определение обязательное» (ГОСТ 12308-89 на топлива Т-6 и Т-7, ТУ 38-1-257-69 Миннефтехимпрома на топливо Т-8). «Отсутствие» механических примесей определяется визуально. Оценка этого метода, приведенная в работе [34], показала, что метод не обладает требуемой чувствительностью и является сугубо субъективным. Для топлива РТ при необходимости уточнения загрязненности его механическими примесями предусматривается выполнение «арбитражного анализа», который проводится по ГОСТ 10577-78; при этом содержание механических примесей в пробе топлива не должно превышать 0,0003% (3 мг/кг).

Проведем анализ перечисленных и действующих в РФ ГОСТ и зарубежных спецификаций по требованиям наличия и содержания в топливе воды. Анализ показывает, что вода в авиатопливе должна отсутствовать при его отправке с нефтеперерабатывающего завода (таблица 1.1).

Таблица 1.1. Требования к содержанию свободной воды по массе в авиатопливе для реактивных двигателей, предъявляемые некоторым зарубежным компаниям и организациям

Компания и организация	Максимально допустимое содержание свободной воды по массе (г) на тонну
Международная организация гражданской авиации (ИКАО)	0,003
Международная ассоциация воздушного транспорта (ИАТА)	0,003
Британская нефтяная компания (BPC)	0,0015
Канадская компания воздушных сообщений (ICAL)	0,003

Совет международной организации гражданской авиации (ИКАО) с 1970 г установил контролируемое количество содержания воды в авиатопливе – это не более 0,003% по массе на тонну керосина. Указанная норма была принята ведущими авиационными и нефтяными компаниями и включена в соответствующие спецификации для гражданской и государственной авиации, однако некоторые компании считают необходимым обеспечивать еще более высокую степень обезвоживания топлив. В Российской Федерации для с целью обеспечения безопасности полётов ВС ГА введена норма предельно допустимого содержания воды – 0,003 % по массе на тонну керосина, которая определяется по ГОСТ19820-70 г с помощью приспособление ПОЗ-Т при заправке топливных баков самолётов и вертолетов.

Таким образом, можно сказать, что предельно допустимые нормы содержания воды в авиатопливе, а также методы ее определения строго регламентируются действующей в ГА нормативно-технической документацией (таблица 1.2).

Таблица 1.2. Требования к чистоте авиатоплива, заправляемого в ВС.

Требования к кондиционности авиатоплива при заправке в ВС				
Показатели	Требования НТД РФ		Международные требования	
	Руководство по приему, хранению, подготовке к выдаче на заправку и контролю качества авиаГСМ и специальных жидкостей в предприятиях ВТ РФ (прик. Минтранса №ДВ-126 от 17.10.1192г.		Руководство по контролю качества авиационного топлива и технологиям работ для совместных служб заправки (JIG), одобренное ИАТА	
	Метод испытания	Норма	Метод испытания	Норма
Содержание воды	Визуально индикатор качества топлива (ИКТ)	Отсутствие, не более 0,003 г/т	Визуально химический детектор (Shell Water Detector и т.п.)	Отсутствие не более 30ppm

Однако в процессе транспортировки и хранения авиационного топлива (рис. 1.1) его качество может отличаться от стандартного. В основном это связано с нарушениями условий транспортировки и хранения, а также обусловлено рядом естественных факторов:

- образованием конденсата из насыщенного водой авиатоплива (при колебаниях температуры и влажности окружающего воздуха) (точка росы и др.);
- переходом воды из растворенного состояния в эмульсию, а затем в свободную воду и обратно (при изменении температуры и влажности окружающего воздуха);
- большими и малыми дыханиями во время циклического опорожнения - наполнения резервуара в процессе хранения (перекачки и выдачи авиатоплива).

Количество попадания воды в авиатопливо в большинстве случаев зависит от влажности и температуры атмосферного воздуха, температуры самого авиатоплива, объема авиатоплива, конструкции резервуара или транспортного средства, а также оборудования дыхательной системы [6, 86].

Согласно стандартов РФ на реактивные топлива содержание механических примесей и воды указывается: «отсутствие» (ГОСТ 10227- 86 на топлива Т-1, ТС-I и Т-2, ГОСТ 16564-71 на топливо РТ) или «не нормируется, определение обязательное» (ГОСТ 12308-89 на топлива Т-6 и Т-7, ТУ 38-1-257-69 Миннефтехимпрома на топливо Т-8). «Отсутствие» механических примесей определяется визуально. Анализ эффективности применения этого метода, проведенный авторами работ [30, 51, 52.], показал, что метод является сугубо субъективным и не имеет требуемой чувствительностью. Согласно ГОСТ 10577-78 содержание механических примесей в пробе авиатоплива не должно превышать 0,0003% (3 мг/кг) [20, 21, 25, 26, 28].

Отраслевые стандарты отечественной авиационной промышленности определяют чистоту авиатоплива, заправляемого в баки ВС, которая должна быть не более 8 класса. Это требование обеспечивается применением пяти микронных фильтроэлементов в технологической цепи авиатопливообеспечения ВС. Согласно рекомендаций ИАТА заправка ВС должна осуществляться через 1-3 микронные

фильтры-водоотделители или фильтры-мониторы с тонкостью очистки от твердых частиц загрязнений 0,5 микрон и с отделением свободной воды до уровня не выше 0,0005% (масс).

Применяемая система контроля кондиционности авиатоплива содержит периодический отбор проб авиатоплива в подготовленную тару с дальнейшим их контролем по методу ГОСТ 10577-78, гранулометрическому методу ГОСТ 17216-2001, использование индикатора качества топлива (ИКТ) в виде приспособления для определения загрязненности авиационного топлива (ПОЗ-Т) и лабораторные анализы по другим нормируемым показателям качества. Чувствительность приспособления ПОЗ-Т к содержанию свободной воды и механическим загрязнениям в пробе авиатоплива не высокая. Это объясняется тем, что размеры частиц и капель воды, находящиеся в авиатопливе, ограничиваются размерами пор (не менее 5 мкм) индикаторной пористой перегородки, на которой они задерживаются. Т.е. размер задерживаемых механических частиц и диаметр капель свободной воды должен быть не менее 5 мкм. Если частицы и капли будут меньшего диаметра, то они будут проходить через пористую перегородку беспрепятственно и не будут вступать в реакцию с индикаторным веществом приспособления, следовательно, не будут определены.

Периодический отбор проб позволяет получить дискретные значения показателей концентрации загрязнений в авиатопливе. Как правило загрязнения в топливе распределены по всему объему, а время его прокачки неравномерно. Например, в начальный момент прокачки авиатоплива оно может поступать на фильтроэлемент с высокими концентрациями загрязнений. Таким образом не отображается истинная картина загрязненности авиатоплива.

Проведенный в работе анализ требований НТД по обеспечению кондиционности применяемого авиатоплива показывает, что авиатопливо перед заправкой в ВС требует его контроля на предмет загрязненности, а применяемая системы его контроля обладает низкой чувствительностью и не всегда представляет реальную картину состояния авиатоплива, что требует разработки и внедрения непрерывного мониторинга наличия воды в авиатопливе.

1.2 Методы и средства контроля обводненности авиатоплива на этапах подготовки и применения на воздушных судах

В процессе обеспечения полетов ВС значительная роль в безопасной их эксплуатации принадлежит правильной организации, применяемым методам и средствам контроля кондиционности авиаГСМ на протяжении их жизненного цикла от приемки на склад до заправки в крыло ВС. В работах авторов [17, 29, 100, 106, 108 – 110] достаточно аргументировано показана зависимость работоспособности ГТД от применения некондиционного авиатоплива и особенно от наличия в нем воды. Поэтому нормативными документами регламентируется содержание воды в топливе и контроль ее наличия.

В процессе применения авиационных ГСМ на всей технологической цепочке возникает проблема их очистки от механических примесей и воды. Это связано с их влиянием на эксплуатационные свойства авиаГСМ. Попадание воды в авиаГСМ в процессе его хранения и транспортировки является неизбежно. Особенно остро эта проблема касается авиационных ГСМ, где к кондиционности применяемых ГСМ предъявляются высокие требования. Вода в масла и авиатопливо попадает при их непосредственном контакте с воздухом в виде инея со стенок баков или конденсата, при протекании окислительных реакций, а также при больших и малых дыханиях резервуаров.

Задачу исключения обводненности авиатоплива можно разделить на два этапа: первый этап включает контроль содержания воды в авиатопливе, а второй – удаление воды из авиатоплива различными возможными методами.

Для решения задачи контроля воды в авиатопливе в авиапредприятиях применяют различные методы с использованием различных приборов, так и визуально. Очевидно, что к применяемым средствам контроля предъявляются требования по чувствительности к наличию воды, точности измерения и воспроизводимости результатов измерения. Выше рассмотрены требования

нормативных документов по допустимым нормам наличия воды в авиатопливе. Исходя из этого применяемые средства измерения должны иметь возможность производить замер содержания воды в авиатопливе до 0,001...0,003 % масс, а значит иметь чувствительность не менее 0,0001 %.

Наиболее простым методом является оптический, который проводится как визуально, так и с помощью приборов. При определении наличия воды в авиатопливе применяются приборы, в основе которых лежит измерение интенсивности поглощения или преломлении света при его прохождении через авиаГСМ. В этом случае применяют спектрофотометрию, инфракрасную спектроскопию, фотоколориметрию и другие. При измерении интенсивности поглощения света используют закон Бугера-Ламберта-Бера [95]:

$$D = \frac{J_0}{J} = \ln \frac{1}{T} = K_v l c \quad (1),$$

где, D – оптическая плотность;

J_0 и J – сила соответственно падающего и проходящего света, св;

T – коэффициент пропускания;

K_v – коэффициент поглощения, m^{-1} ;

l – толщина поглощающего слоя, м;

c – концентрация воды по массе, %.

Так работа английского прибора «Аквасан» основана на определении интенсивности света в видимом спектре волн при его прохождении через авиатопливо, содержащее нерастворенную воду. Замеренная таким образом интенсивность сравнивается с интенсивностью при прохождении света через эталонную пробу авиатоплива, т.е. без воды.

Для осуществления визуального контроля авиакеросин отбирают в чистую банку, после чего его раскручивают до образования воронки по спирали и проводят осмотр на просвет на предмет наличия осадка или пузырьков (рис. 1.2). Для лучшего распознавания воды в банке с авиатопливом могут добавляться несколько кристалликов марганцовокислого калия, который окрашивает капли воды в малиново-красный цвет.

Данный метод позволяет определить наличие или отсутствие свободной или эмульсионной воды при размерах капель воды более 15...20 мкм.



Рисунок 1.2 – Визуальный контроль наличия воды в авиатопливе

Применение физико-химических методов определения воды в авиаГСМ базируется на индивидуальных свойствах воды. В основе определения воды лежит метод Дина-Старка по ГОСТ 2477-2014 [19]. Суть данного метода состоит в перегонке пробы авиатоплива и растворителя, который не смешивается с водой и последующего измерении объема сконденсированной в ловушке Дина-Старка (аппарат Т-АКОВ-10) воды (рис. 1.3). Данным методом можно определить 0,03 % свободной воды. Это минимальное количество воды, что ограничивают применение данного метода и является пределом его чувствительности [19, 45, 47].



Рисунок 1.3 – Определение массовой доли воды в авиатопливе по ГОСТ 2477-2014 [19], метод Дина-Старка

Наиболее широкое применение определения воды в авиатопливе получили химические методы, в основу которых положены химические реакции, протекающие с участием воды. Данные методы подразделяются на количественные и качественные. Так при качественном методе определения воды в авиатопливе применяют приспособление Титова (ПОЗ-Т) (рис. 1.4), где в качестве индикатора используют соли. В основу принципа определения воды с помощью приспособления ПОЗ-Т положено изменение цвета специального ИКТ в результате химической реакции после пропускания через него авиакеросина в течении 8-10 секунд. Если в авиакеросине содержится вода появляются три синих пятна. Индикатор определяет наличие эмульсионной воды от 0,001 до 0,003 масс.



Рисунок 1.4 – Контроль наличия воды в авиатопливе с помощью ПОЗ-Т

На основе протекания химических реакций работает портативный прибор «Гидроскан» (США). Суть определения воды в авиатопливе состоит в изменении цвета водочувствительного флуоресцирующего в ультрафиолетовом цвете красителя, нанесенного на рабочий диск, после прохождения через него определенной дозы авиатоплива. Затем результат изменения цвета сравнивают с эталонным диском, имеющие калибровку на 0,0005 и 0,002 % воды.

Для определения наличия воды могут применяться и другие индикаторы – бумажные, порошковые, пастообразные, которые изменяют свой цвет при взаимодействии с водой. Так в индикаторе свободной воды ИСВ-РШ в качестве красителя, наносимого на фильтровальную бумагу «Красная лента»,

используются $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ или $\text{FeNH}_4(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Их степень окрашивания зависит от концентрации воды в авиатопливе [5].

Наличие воды в авиатопливах также осуществляется методом Карла Фишера по ГОСТ Р 54281-2010 [23]. Суть метода состоит в отборе топлива, например, ТС-1 (ГОСТ 10227-86) [20] в количестве 1000 г, его подготовке в соответствии с ГОСТ 2517-2012 [27] и последующем титровании раствором Фишера (сернистый ангидрид SO_2 , йод I_2 , пиридин $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ и метанол CH_3OH) на титраторе Фишера кулонометрическом (рис. 1.5). Концентрацию воды определяют по объему реактива, израсходованного на титрование отобранного объема авиатоплива. Данный метод имеет высокую точность и с его помощью можно определить содержание воды в широких пределах. Однако достаточно чувствителен к правильному процессу подготовки раствора и проведении самого процесса титрования [49]. Кроме того, раствор Фишера является токсичен и малоустойчив, имеет высокую гигроскопичность.



Рисунок 1.5 – Прибор титратор Фишера кулонометрический

Эмульсионную воду в авиаГСМ могут определять диэлькометрическим методом с применением различных влагомеров (ИВН-2002, ИВН-2003, ИВН-95, ИВН-95С, СИМ-4, ВАД-40М). Однако их применение эффективно при наличии высоких концентраций воды (до 20 % от объема) [32].

Таким образом, проведенный анализ методов контроля содержания воды в авиатопливе показывает, что в гражданской авиации предъявляются специфические требования к применяемым средствам контроля с точки зрения чувствительности, точности и воспроизводимости результатов. Наиболее приемлемыми методами является метод Фишера и с применением гидроксида кальция. Однако они могут применяться только в лабораторных условиях.

Другие методы также имеют свои недостатки. С помощью средств измерения по диэлектрическому методу можно определить содержание воды в пределах 0,5...20,0 % объема влагосодержания, что не соответствует нормативным требованиям по чувствительности. С помощью хроматографического метода можно определить только растворенную воду, а фотометрические приборы определяют только метрическую воду. Метод определения воды, применяемый в ГА, с помощью ПОЗ-Т является полуколичественный.

Таким образом, анализ применения возможных методов контроля обводненности авиатоплива выявил их следующие:

- рассмотренные методы контроля обводненности авиатоплива не позволяют проводить непрерывный мониторинг наличия воды, так как анализ проводится только по пробе, отобранной из определенной точки (дискретно) топливопровода, резервуара, топливозаправщика и т.д., т.е. на предмет обводненности контролируется не весь объем авиатоплива;

- применяемые методы являются в основном визуальными и ручными, что требует значительных трудозатрат, не имеют требуемой чувствительностью и сугубо субъективны, их точность и достоверность зависит от негативного влияния человеческого фактора, с высокой вероятностью ошибок, сбоя и сопутствующих им рисков;

- большинство методов не позволяют определения количественного содержания воды в авиатопливе, а только информируют о ее наличии;

- существующие методы контроля обводнения и экспресс-анализа наличия воды в авиатопливе не позволяют в современных условиях развития ГА решить

задачу автоматизированного мониторинга кондиционности авиатоплива, так как трудно поддаются автоматизации.

Определение количественного анализа воды в лабораторных условиях приводит к увеличению времени получения результата, а значит невозможность принятия своевременного решения, увеличения продолжительности технологического процесса авиатопливообеспечения ВС и как следствие – экономическим затратам связанных с завышением цен на услуги по заправке ВС и самого авиатоплива, а также возникновению рисков своевременного выполнения полета.

Как видно, согласно действующих в Российской Федерации нормативных документов [20, 21, 25, 27, 84, 83, 85], а также зарубежным спецификациям [93], в авиатопливе, заправляемом в ВС, вода должна отсутствовать. Проведенный в работе анализ возможных методов определения содержания воды, а также методов, рекомендуемых действующими нормативными документами, показывает, что они не в полной мере удовлетворяют специфическим требованиям контроля воды в авиатопливе в ГА. Минимальное содержание воды (0,03 %) позволяет определить метод Дина-Старка (ГОСТ 2477-2014) и является его пределом чувствительности. Следовательно, задача разработки метода контроля обводненности авиатоплива является актуальной.

1.3 Влияние применения некондиционного авиатоплива на безопасность полетов воздушных судов

Обеспечение безопасности и регулярности полетов ВС является важнейшей задачей ГА. Составной частью безопасной эксплуатации ВС является безотказная работа функциональных систем ВС, в которых

применяются авиаГСМ. Поэтому совершенствование технологии подготовки авиаГСМ к применению на ВС, а также контроль их кондиционности является актуальной задачей топливозаправочных компаний и служб ГСМ.

Анализ причин отказов деталей и агрегатов ВС в процессе эксплуатации связано с работоспособностью топливной системы ВС. Надежная работа топливной системы ВС зависит от качества применяемого авиатоплива, его чистоты, содержания в его составе противоводокристаллизационной жидкости и соблюдения всех технологических операций при его подготовке, хранению и выдаче на заправку ВС [1, 3, 62, 100, 106].

Отрицательное влияние некондиционности авиатоплива на характерные его свойства и работу топливной системы в значительной степени зависит от их количества, состояния, в котором они находятся, а также от химического состава (марки топлива).

Присутствие воды в авиатопливе может оказать отрицательное влияние на работоспособность топливо-регулирующей аппаратуры газотурбинного двигателя как при запуске и вылете, так и в течении эксплуатации. Вода ухудшает низкотемпературные свойства топлив (прокачиваемость, температуру начала кристаллизации и т.д.), их термоокислительную стабильность. Длительное применение обводненного авиатоплива в процессе эксплуатации может привести к коррозии деталей топливной системы, а в самом авиатопливе появятся механические примеси в виде оксидной пленки. Наличие воды в авиатопливе приводит к снижению его противоизносных характеристики. Наиболее вероятными отказами деталей топливной системы является отказ плунжерного насоса, забивка фильтроэлементов, отказ клапана автомата запуска, золотники и дросселя топливорегулирующей аппаратуры могут забиваться капельной водой и др.

Если рассматривать технологическую цепочку авиатопливообеспечения от приема топлива из средств поставки до заправки в крыло ВС, то обводнение авиатоплива может произойти на каждом из технологических этапов – транспортировке, хранении, заправке и, собственно, в процессе использования на ВС [18, 40, 85].

Как известно [17, 29, 62, 82, 102], вода в топливе может находиться в нескольких состояниях – растворенном (связанном), эмульсионном и свободном состояниях. Наиболее опасной, с точки зрения обеспечения безопасности полетов является растворенная вода, которая в зависимости от температуры, давления и влажности окружающего авиатопливо воздуха может содержаться в количестве от 0,003 до 0,12 %. Между растворенной в топливе водой и атмосферной влагой устанавливается динамическое равновесие (рис. 1.5). В процессе набора высоты, когда температура и давление снижаются, часть растворенной воды не успевает перейти в атмосферу, что приводит к ее выделению в виде эмульсии. При увеличении количества эмульсии (микрокапель) происходит увеличение их размеров, слияние капель с последующим осаждением на дно топливного бака (резервуара) в виде отстойной (свободной) воды. Образование свободной воды может происходить и в результате конденсации атмосферной влаги (в виде капель или инея) на стенках резервуаров (цистерн топливозаправщиков и топливных баках), а также в их надтопливном пространстве (рис. 1.6).

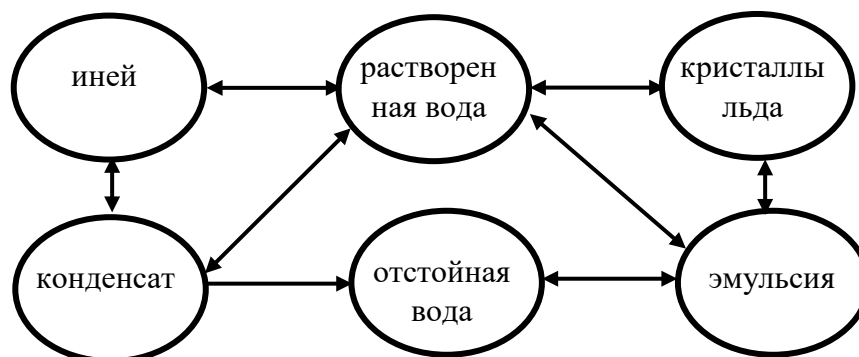


Рисунок 1.6 – Схема возможных фазовых переходов воды в авиатопливе

Образования инея может происходить как при медленном, так и при быстром охлаждении авиатоплива. Так при быстром охлаждении резервуара (бака, цистерны) или когда происходит их наполнение авиатопливом, имеющего положительную температуру, то иней образуется за счет сублимации паров воды на стенках резервуара. Такой иней имеет рыхлую структуру, малую адгезию на стенках резервуара, что может приводить к его осыпанию в резервуар, а также может смываться авиатопливом. Если происходит медленное охлаждение резервуара с

авиатопливом, то вначале влага в виде капель размером до 0,5 мкм оседает на стенках резервуара (бака, цистерны), после чего происходит процесс ее кристаллизации. Такой иней имеет зернистую структуру и хорошую адгезию со стенкой резервуара, в результате он в ограниченном количестве попадает в авиатопливо.

Свободная вода в авиатопливо может попадать так же в результате нарушения герметичности средств транспортировки и хранения, а также при проведении некачественной зачистки трубопроводной сети, резервуарного парка или цистерн ТЗ.

Как отмечалось ранее, важнейшей задачей ГА было, есть и будет – это обеспечение безопасности полетов ВС, а в ней как составляющей – кондиционности применяемых авиаГСМ. Если в заправляемом авиатопливе будут присутствовать загрязнения в виде свободной воды, микроорганизмов и бактерий вода, Наличие в топливе воды, механических примесей, смол, микроорганизмов, различных смол и примесей, может не благоприятно сказаться на работоспособность топливной системы ВС, а следовательно, привести к снижению безопасности полетов в целом.

Проведем анализ инцидентов, связанных с применением не кондиционных авиаГСМ (рис. 1.7) За период с 2011 по 2019 года проведен анализ 43 события, которые учтены по коду «028 топливная система» (ГОСТ 18675) в базе данных Автоматизированной системы обеспечения «Безопасность полетов» (АСО БП) [10].

Проведем анализ статистики инцидентов, связанных с обеспечением кондиционности авиатоплива (наличие воды и механических примесей). Как видно из рисунка 1.6 количество инцидентов по наличию воды и механических примесей составляет около 45 % (21 событие). Из этих событий из дальнейшего анализа исключили события, связанные с авиационными смазками и повреждения ВС на земле от столкновения с топливозаправщиком.

Проведенный в работе анализ статистики за 2011 – 2019 гг. инцидентов лётных происшествий с ВС, связанных с применением авиаГСМ, подтверждает актуальность проблемы влияния отказов топливной системы ВС на безотказность полетов. По результатам исследования причин отказов топливорегулирующей аппаратуры, проведенных в ГосНИИ ГА, ФАУ "25 ГосНИИ химмотологии

Минобороны России", ЦНИИ ВВС МО РФ (г. Люберцы), [17, 18, 54, 82, 89] установлены как конструкционные, так и эксплуатационные факторы отрицательного влияния наличия воды, водной эмульсии или кристаллов льда на работоспособность топливной системы ВС (рис. 1.8).

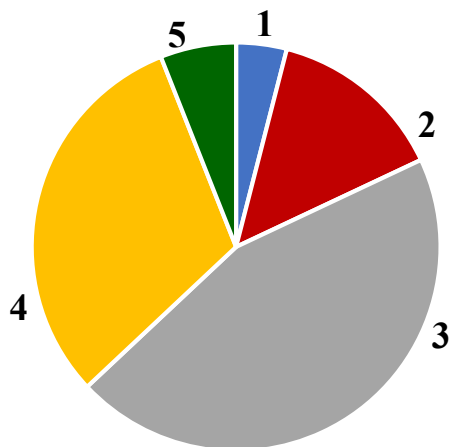


Рисунок 1.7 – Статистика инцидентов, связанных с применением не кондиционных авиаГСМ с 2011 по 2019 годы: 1) - с авиационными смазками; 2) - заправка некондиционным топливом; 3) наличие в топливе механических примесей и воды; 4) - засорение топливных фильтров; 5) - повреждения ВС на земле ТЗ

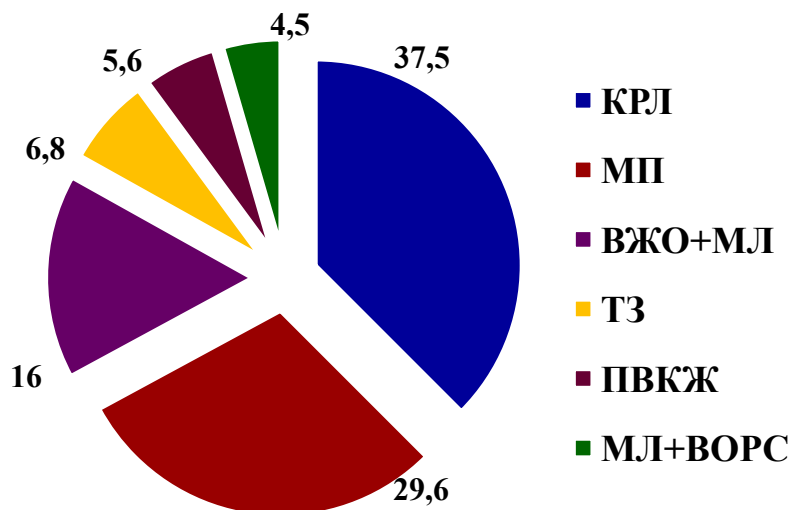


Рисунок 1.8 – Основные факторы некондиционности авиатоплива в эксплуатации: КРЛ - кристаллы льда; МП - механические примеси; ВЖО + МП – водные жидкофазные осадки и механические примеси; ТЗ – неисправности топливозаправщиков; ПВКЖ – недостаточное количество жидкости «И» в топливе; МП+ ВОРС– механические примеси и ворс

Как видно из диаграммы, доля отказов топливных систем ВС по причине наличия воды в топливе составляет 53,5% (11 событий) (КРЛ + ВЖО + МП) от всех отказов. результаты проведенного анализа сведены в таблицу 1.3.

Таблица 1.3. События, обусловленные воздействием наличия воды в авиатопливе

Обстоятельства событий	Количество событий
Срабатывание сигнализации о засорении топливных фильтров на рулении, разбеге, взлете, наборе высоты	5
Механические примеси и вода в отстое авиатоплива, слитом из топливных баков ВС после заправки	3
Срабатывание сигнализации ВС о наличии воды в заправляемом авиатопливе	2
Вода в топливных баках ВС, обнаруженная при сливе отстоя авиатоплива при послеполетном техническом обслуживании	1
Всего событий	11

Вторым показателем, влияющим на безотказность топливной системы ВС, является применение противодокристаллизационной жидкости (ПВКЖ) в авиатопливе. Ее применение в первую очередь связано с предотвращением забивки топливных фильтров кристаллами льда (рис. 1.9) Наличие воды в авиатопливе и отсутствие ПВКЖ привело к катастрофе вертолетов Ми-2 по причине обмерзания топливных фильтров и прекращение подачи авиатоплива в двигатель. Летные происшествия произошли с самолетами Ил-62М компании «Россия» и также связаны с появлением в авиатопливе кристаллов льда. Наличие воды привело к аварии самолета Боинг 777 в Лондоне.

Анализ статистически инцидентов показывает, что недостаточный уровень контроля наличия свободной воды в авиатопливе и ее удаление является одной

из причин произошедших событий [18, 54, 62, 82, 89, 91, 98]. Из анализа статистических данных видно, что половина всех рассмотренных событий, связанных с работоспособностью топливной системой ВС связана с наличием свободной воды и образовавшихся в результате этого кристаллов льда в авиатопливе, а также нахождении воды в виде эмульсии.

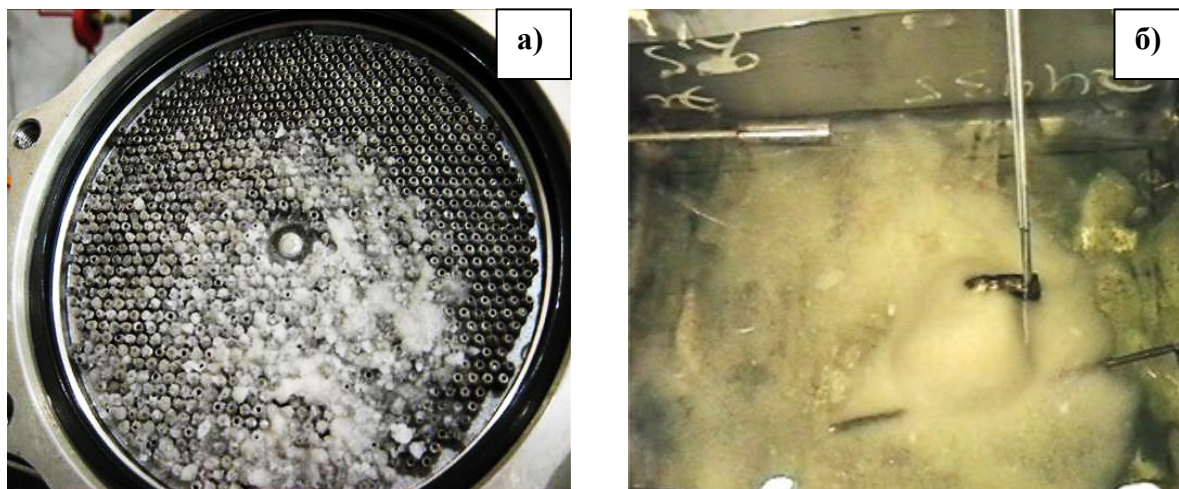


Рисунок 1.9 – Забивка фильтроэлемента кристаллами льда (а) и наличие льдообразования на дне топливного бака (б)

Таким образом, основываясь на анализе статистических данных и всего процесса топливообеспечения ВС можно сделать вывод, что для повышения безопасности полетов и обеспечения непрерывного мониторинга обводненности авиатоплива необходима разработка и внедрение автоматизированного непрерывного контроля наличия воды в авиатопливе.

Выводы по главе 1

1. На основе анализа процесса авиатопливообеспечения ВС установлено, что применяемые методы контроля наличия свободной воды в авиатопливе, а

также действующая технологическая система ее удаления из авиатоплива не исключают возможность ее попадания в топливные баки ВС при его заправке больше установленных норм.

2. Статистика инцидентов и происшествий с ВС коммерческой ГА РФ за период с 2011 по 2019 годы в результате отказов топливной системы показывает, что наличие свободной воды в авиатопливе является одной из причин этих событий, что составляет порядка 53 %.

3. Установлена зависимость технологических нормативов (времени отстаивания и тонкости фильтрации) от уровня загрязненности авиатоплива и характера механических примесей.

4. С целью увеличения эффективности контроля наличия свободной воды в авиатопливе в процессе авиатопливообеспечения ВС необходимо применение системы непрерывного автоматического мониторинга воды в авиатопливе, а также ее очистки.

2 Механизм накопления воды в процессе авиатопливообеспечения воздушных судов

2.1 Кинетика накопления воды в авиатопливе при его подготовке и хранении

Проблема кондиционности применяемого на ВС авиатоплива сегодня является одной из актуальных, так как от этого зависит надежность работы топливорегулирующей аппаратуры ГТД и топливной системы ВС. В идеальном случае в авиатопливе не должны содержаться вода и механические примеси. Однако, исследования специалистов ГосНИИ ГА [18, 59, 98, 105] показывают, что в процессе эксплуатации ВС становится все больше инцидентов и происшествий, связанных с применением некондиционных авиаГСМ.

Наличие свободной (несвязанной) воды в авиатопливе является одним из опасных его загрязнений. С целью уменьшения попадания воды в авиатопливо и ее влияния на его качество проведем анализ возможных путей попадания воды в авиатопливо в процессе авиатопливообеспечения ВС.

В процессе технологического цикла топливообеспечения (см. рис. 1.1) авиатопливо контактирует с воздухом, в котором всегда содержится влага. В результате такого контакта происходит обводнение авиатоплива, что приводит к снижению его кондиционности.

Как известно [62, 107, 110] вода в авиатопливе может находиться в различных состояниях: растворенном, в виде эмульсии, отстоя (кристаллы льда при отрицательных температурах), а также в химически связанном виде, при условии, что вода с авиатопливом образует гидраты.

Растворимость воды в авиатопливе зависит от температуры и влажности окружающего воздуха и может составлять от 0,003 до 0,12 % при температуре 0...40 °С. Ее растворимость увеличивается с увеличением температуры и влажности окружающего воздуха (рис. 2.1) [31].

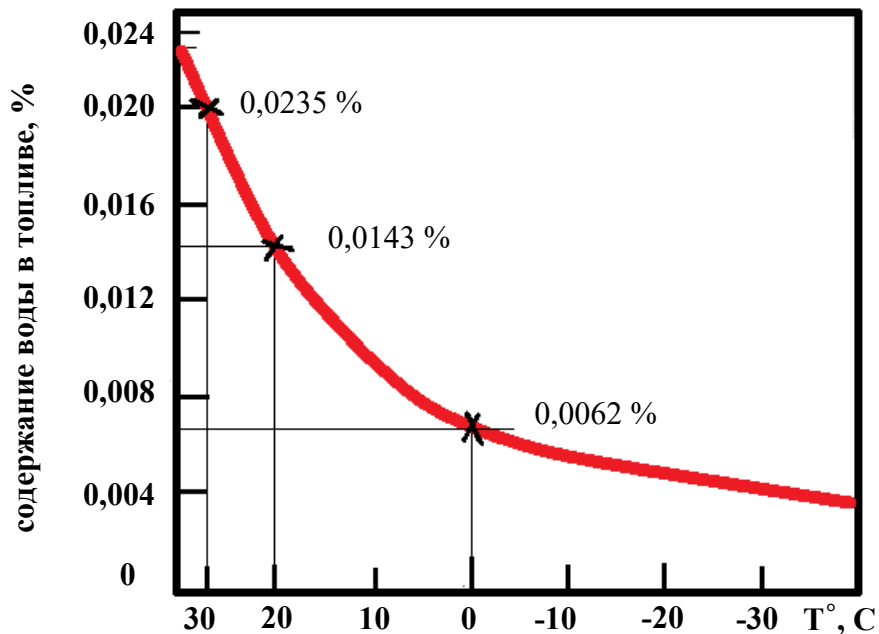


Рисунок 2.1 – Изменение растворимости воды в топливе ТС-1 от температуры [31]

Рассмотрим процесс обводнения авиатоплива. Как видно, увеличение температуры воздуха приводит к увеличению растворимости воды в авиатопливах. Количество растворенной воды в авиатопливе тем больше, чем больше его температура и температура окружающего воздуха и увеличивается с увеличением разницы температур между окружающим воздухом и авиатопливом. При охлаждении авиатоплива влага, испарившаяся в замкнутом объеме резервуара в атмосферу, обратно попадет в авиатопливо. Однако, если эту влагу, находящуюся в надтопливном пространстве удалить, то в этом случае в замкнутом объеме резервуара при охлаждении авиатоплива его обводнение происходить не будет. При одновременном понижении температуры авиатоплива и воздуха, при условии постоянной относительной влажности или при ее увеличении, количество растворенной воды в авиатопливе уменьшается. Такой процесс объясняется

физическим процессом переходом воды из топлив в атмосферу, так как снижение температуры приводит к уменьшению растворимости воды в авиатопливе. Однако этот процесс осуществляется только при медленном понижении температуры, так как при быстром снижении температуры вода не успевает перейти в атмосферу, а в виде мелких капель выпадает. Например, если быстро охлаждать авиатопливо в диапазоне температур от 24 до -23 °С, то количество воды в авиатопливе уменьшится 0,009 % с до 0,004 %. В тоже время при медленном охлаждении авиатоплива в том же диапазоне температур, количество воды снизится до 0,002 %. Нужно учитывать, что если данный процесс идет при отрицательных температурах, то образовавшиеся капли свободной воды замерзают и происходит образование кристаллов льда.

Наличие кристаллов льда приводит к забивке фильтроэлементов и снижению или прекращению подачи авиатоплива в ГТД. Наличие свободной воды в авиатопливе может привести и к другим отрицательным явлениям, связанным с нарушением работоспособности топливных систем ВС. Например, наличие инея и конденсата в надтопливном пространстве топливного бака ВС может привести к нарушению показаний топливомеров, так как физическая суть работы топливомеров основана на емкостном принципе, а наличие инея и воды могут привести к замыканию датчиков в результате их накопления между электродами датчика.

Видно, что при быстром увеличении авиатоплива и окружающего воздуха создаются наиболее благоприятные условия, когда наибольшее количество свободной воды попадает в авиатопливо. Кроме того, скорость нагрева окружающего воздуха гораздо больше скорости нагрева авиатоплива. Однако довольно сложно установить зависимость между количеством воды, попавшей в авиатопливо и температурой нагрева авиакеросина, так как количество воды в авиатопливе зависит не от одной температуры, а определяется и другими факторами, которые надо учитывать совокупно.

Таким образом, количество воды в авиатопливе в процессе изменения температуры находится в балансе с влажностью окружающей среды, следовательно,

самопроизвольное удаление воды из авиатоплива или ее насыщение будет происходить в короткий срок. Т.е. если авиатопливо имеет контакт с открытой атмосферой, то нет целесообразности удалять из него растворенную воду.

Рассмотрим функциональную деятельность ТЗК на примере аэропорта Внуково. Представим схему проведения контроля качества авиатоплива при осуществлении технологического процесса авиатопливообеспечения ВС (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Схема контроля качества авиатоплива в топливозаправочном комплексе: НПЗ – нефтеперерабатывающий завод, ЖД – железнодорожный транспорт, ТЗ – топливозаправщик, ЦЗС – централизованная система заправки

Концентрация воды в авиатопливе зависит от периода года, о чем свидетельствуют результаты многолетних наблюдений в ТЗК. На их анализе составим таблицу наличия воды в резервуарах и топливозаправщиках в зависимости от периода года (таблица 2.1).

Таблица 2.1. Содержание воды в авиатопливе ТС-1 в зависимости от периода года.

№ п/п	Период	В резервуарах, %	В топливозаправщике, %
1	Зима	0,001...0,007	0,001...0,0074
2	Весна	0,0013...0,0071	0,001...0,0053
3	Лето	0,0021...0,017	0,0018...0,0089
4	Осень	0,001...0,0059	0,001...0,0091

Как видно, наибольшее количество воды в авиатопливе попадает при увеличении температуры и влажности окружающей среды в короткий срок. В этом случае авиатопливо не успевает прогреваться. Кроме того, в данный период обводненность авиатоплива превышает нормируемые показатели, а значит возникает риск безопасности полетов.

Физическую суть зависимости концентрации растворенной воды от влажности окружающей среды можно объяснить тем, что при одинаковой температуре авиатоплива и окружающей среды, растворенная в авиатопливе вода находится в равновесии с парами воды, находящимися в окружающей среде. Количество растворенной воды в авиатопливе имеет линейную зависимость от влажности окружающей среды и описывается законом Генри [8, 29, 37, 86, 108]:

$$g_{H_2O} = g_0 \psi_0 \frac{P}{P_0} \left(\frac{T}{T_0}\right)^n, \quad (2.1)$$

где g_0 — растворимость воды в авиатопливе при $T_0=293$ К и $p_0=760$ мм рт. ст., %;

ψ_0 — относительная влажность воздуха;

n — показатель степени для авиатоплив, равный 11,5.

Таким образом, количество воды в авиатопливе имеет прямо пропорциональную зависимость от относительной влажности окружающей среды. Влажность окружающей среды зависит от многих факторов и она в действительности меняется в течении суток, следовательно и количество растворенной воды в авиатопливе будет меняться [86, 88].

Исходя из этого видно, что после заправки ВС в топливных баках может возникнуть вероятность образования эмульсионной воды, что в свою очередь может привести к предпосылкам к летным происшествиям, а при попадании капель воды на фильтроэлементы в процессе полета может привести к обмерзанию фильтроэлемента и снижению или прекращению подачи топлива в камеру сгорания ГТД.

Как видим, необходимо иметь результаты контроля на содержание воды в авиатопливе не только в процессе хранения и подготовки авиатоплива к заправке, но и после заправки ВС авиатопливом перед вылетом. Обоснованность такого

контроля излагают авторы работ [6, 60, 92, 109]. При техническом обслуживании ВС на промежуточном аэродроме время его нахождения на стоянке состоит:

- стоянка ВС – 50...70 минут;
- высадка пассажиров – 15...25 минут;
- заправка ВС – 10...15 минут;
- посадка пассажиров – 15...20 минут.

Время для проведения анализа составляет около 20...25 минут, так как он должен быть выполнен до посадки пассажиров в ВС. Если анализ проводить с применением лабораторного оборудования (например, методом Фишера), то для проведения такого анализа необходимо время:

- отбор пробы – 5...7 минут;
- доставка пробы в лабораторию – 10...15 минут;
- проведение анализа – 30...50 минут
- передача результатов анализа экипажу ВС (начальнику смены ТЗК) – 10...15 минут.

Время для проведения анализа составляет от 55 до 85 минут, что превышает располагаемое время.

Имеющиеся методы контроля с их чувствительностью, точностью и продолжительностью проведения анализа требуют применения автоматизации процесса или разработки нового метода контроля наличия воды в авиатопливе.

Наличие механических примесей в авиатопливе может приводить к отказам топливо-регулирующей аппаратуры ГТД, засорению топливных форсунок и фильтроэлементам, то наличие воды приводит к ухудшению эксплуатационных свойств авиатоплива [29, 91, 99, 108]. Влияние воды в авиатопливе на изменение его свойств зависит от ее количества в авиатопливе, в каком состоянии она находится (растворенная, эмульсия и т.д.) и химического состава самого авиатоплива. Наличие воды в авиатопливе приводит к появлению продуктов окисления (присутствие в авиатопливе неорганических и органических соединений), росту микробиологических загрязнений, так как вода необходима для производства и роста микроорганизмов, снижению

термоокислительной стабильности и противокоррозионных свойств авиатоплива, а также снижает прокачиваемость авиатоплива и температуру начала кристаллизации [14, 94, 111]. Кроме того, побочный продукт коррозии, такой как ржавчина, способствует загрязнению твердыми частицами.

Чтобы исключить влияние воды на свойства авиатоплива или минимизировать ее влияние требуется проводить непрерывный контроль наличия воды в авиатопливе на всей технологической цепочке авиатопливообеспечения ВС.

2.2 Влияние обводненности авиатоплива на ресурс применяемых в технологическом процессе фильтрующих элементов

Для восстановления качества авиатоплива наиболее доступным и эффективным средством является его фильтрация, которая позволяет удалить механические загрязнения и воду. Процессы фильтрации авиатоплива широко применяют в процессе его движения: нефтебаза – склад (транспортное средство) – аэропорт (ТЗК) – топливная система воздушного судна.

В настоящее время на складах авиаГСМ в ТЗК предусматривается двух-трехкратная очистка, которая осуществляется при приеме авиатоплива из цистерн железнодорожного или других видов транспорта в резервуары ТЗК, при наливке в цистерны ТЗ, а также при заправке ВС как из топливозаправщика, так и из централизованной системы заправки. Процесс фильтрации осуществляется с применением фильтроэлементов и фильтров-водоотделителей (сепараторах) [12, 22, 28, 49, 84, 85, 87, 93, 96, 99, 101].

На рисунке 2.3 представлена применяемая схема фильтрации авиатоплива в ТЗК аэропорта Внуково.

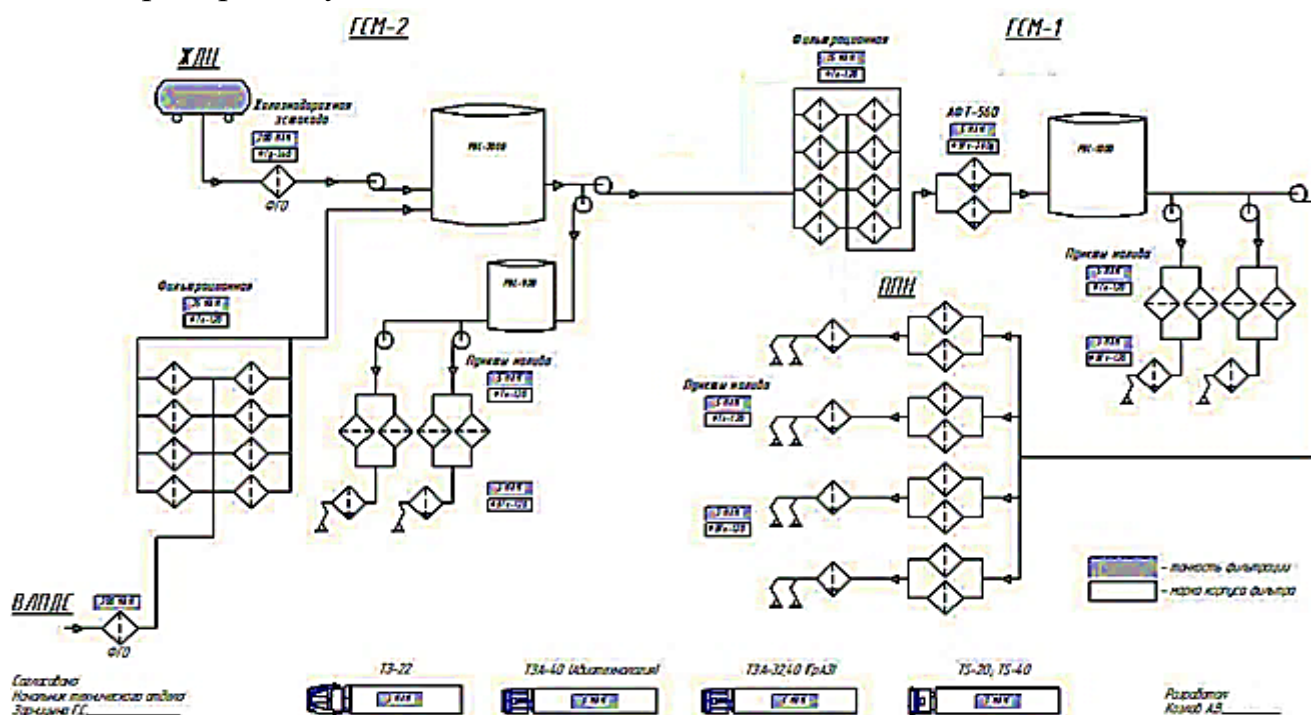


Рисунок 2.3 – Принципиальная технологическая схема фильтрации авиатоплива в ТЗК аэропорта Внуково

Свободная (несвязанная) вода в авиатопливе является опасным загрязнением (рис. 2.4). Свободная вода химически не связанная с топливом вода, осаждается в течение короткого периода времени, в то время как эмульгированная химически связана с топливом и ее намного тяжелее сепарировать. Вода оказывает большое влияние на фильтруемость топлив и их коррозионные свойства. В главе 1 были изложены нормативные требования по содержанию воды в авиатопливе.



Рисунок 2.4 – Формы воды в резервуарах с топливом

Если рассматривать жизненный цикл авиатоплива, то на нефтеперерабатывающих заводах для удаления воды в основном используют циклонные фильтры. В топливоприемных системах зарубежных нефтебаз применяются диатомитовые фильтры-очистители для адсорбции и поглощения поверхностно-активных веществ и присадок, содержащихся в авиатопливе. Фильтрующие элементы этих очистительных устройств могут быть выполнены в виде точных фильтров или "канистр". В качестве рабочего материала используется так называемый аттапульгит, который обладает свойствами захватывать молекулы поверхностно-активных веществ ковалентным или ионным соединением и поглощать их. Эффективность диатомитовых фильтров регулируется пропускной способностью элементов, собранных в корпусе очистителя.

Для тонкой очистки авиатоплив в аэродромных системах авиатопливообеспечения используются микрофильтры. Как правило, микрофильтры встраиваются в системы подачи авиатоплива для разгрузки фильтров-водоотделителей, когда высокое содержание твердых частиц в авиатопливе может привести к быстрой забивке фильтров-водоотделителей (рис. 2.5). Аналогичный прием защиты фильтров-сепараторов использован в отечественной практике.



Рисунок 2.5 – Забивка фильтров-водоотделителей

Кроме того, смесь воды и авиатоплива является питательной средой для микроорганизмов, что может привести к засорению фильтра. Микроорганизмы

живут между слоями авиатоплива и воды, питаются топливом, что приводит к ухудшению свойств авиатоплива и могут попадать в топливорегулирующую аппаратуру ГТД, а значит возникновению рисков с безопасностью полетов.

В качестве фильтровального материала обычно используют как гибкие, так и не гибкие пористые материалы. Известно [9, 12, 22, 24, 101, 112, 114] использование сложных гранулированных композиций, пористых полимерных материалов, металлокерамик, так называемых объемных фильтроматериалов, поверхностных гибких материалов, тканых или нетканых материалов, в том числе синтетических.

Изготовители фильтроэлементов определяют значения предельно допустимых загрязнений в виде воды и механических примесей в авиатопливе на входе в фильтроэлемент. Эти значения указываются в ТУ на фильтроэлементы в соответствии с ГОСТ Р 52906-2008 [24], тем самым вводят ограничения по их применению. Так, при концентрации свободной воды более 0,05 % масс и загрязнений более 0,05 г/дм³ применение фильтроэлементов не допускается. При таких концентрациях загрязнений целесообразней применять такой вид очистки как отстаивание. Элементы фильтрующие коагулирующие (ЭФК) ограничиваются и временем, в течение которого поступают загрязнения (при номинальной подаче авиатоплива). Так при концентрации свободной воды не более 0,05% масс время работы ограничивается 30 минутами, а при концентрации воды 0,01% масс – не более 60 минут.

Предельное содержание загрязнений в авиатопливе на входе в ФЭ и ЭФК в зарубежных странах также регламентируется и указано в документе API/IP 1581 [93]. Например, при прокачке авиатоплива содержанием воды 0,015% (по объему) элементы фильтров водоотделителей (типа «S-LD») должны сохранять свою работоспособность до 150 минут, и сохранять свою работоспособность после этого при увеличении количества воды в авиатопливе до % в течении 30 минут. Если сравнить с нормативными требованиями по обводненности авиатоплива с требованиями API/IP 1581, то они в разы выше. Это не допускает использовать целлюлозную бумагу для производства фильтроэлементов. Причина этого – низкая

влагостойкость бумажных фильтроэлементов. Так при намокании фильтрующей перегородки, выполненной из бумаги, прочность порового канала уменьшается. Как отмечают авторы работ [9, 12] косвенным показателем прочности бумаги фильтроэлемента является его жесткость, которая уменьшается в 4...5 раз если бумага становится влажной. Так при исследовании снятых ФЭ после выработки ресурса установлено, что размер прямолинейного участка гофры больше волнообразной (извилистой) ее конфигурации. Это является результатом впитывания воды, находящейся в авиатопливе, фильтрующей целлюлозной бумаги, что приводит к увеличению ее линейного размера.

Ресурс ФЭ и его качество определяют эффективность очистки им авиатоплив. Поэтому в процессе авиатопливообеспечения ВС необходимо правильно определять ресурс ФЭ. Ресурс ФЭ — это срок его службы по очистке авиатоплива. Контроль технического состояния ФЭ и параметры, по которым производится его оценка, рекомендованы НТД [22, 24, 28, 93, 101]. Однако, рекомендованные в них для контроля состояния ФЭ параметры такие как, максимально допустимый объем прокаченного авиатоплива или предельно допустимый перепад давления на номинальном режиме работы, являются косвенными параметрами и не всегда отражают реальное техническое состояние ФЭ в эксплуатации.

В работах авторов [9, 12, 48] отмечается, что большим недостатком целлюлозных фильтровальных бумаг, используемых в ФЭ, является их низкая прочность. Это приводит к тому, что под действием потока авиатоплива происходит процесс вымываемости волокон бумаги (рис. 2.6). Допустимый параметр вымываемости волокон указан в ГОСТ 28912 [22] и составляет до 15 шт./л., превышение которого свидетельствует о разрушении ФЭ. В условиях работы ТЗК проводится прокачка авиатоплива больших объемов и количество вымываемых волокон из ФЭ может достигать больших величин. Исследование состояния ФЭ с наработкой показывает, что волокна бумаги вымываются локально и как правило в местах, где находятся поры максимальных размеров.

Если в процессе фильтрации авиатоплива происходит частичная закупорка ФЭ, то это ведет к увеличению гидросопротивления в других поровых каналах.

Это приводит к более интенсивному разрушению пор и увеличению их диаметров в 5...8 раз. С увеличением перепада давления на ФЭ более $1,1 \text{ кг/см}^2$ (максимально допустимый перепад $1,5 \text{ кг/см}^2$) процесс разрушения пор происходит более интенсивнее. Такому разрушению в основном подвержены пор имеющие максимальные диаметры. В этом случае через них проходит больший объем авиатоплива, и они имеют меньшую прочность. При увеличении диаметра поровых каналов ФЭ снижается показатель герметичности, что приводит к снижению и показателя номинальной тонкости фильтрации.

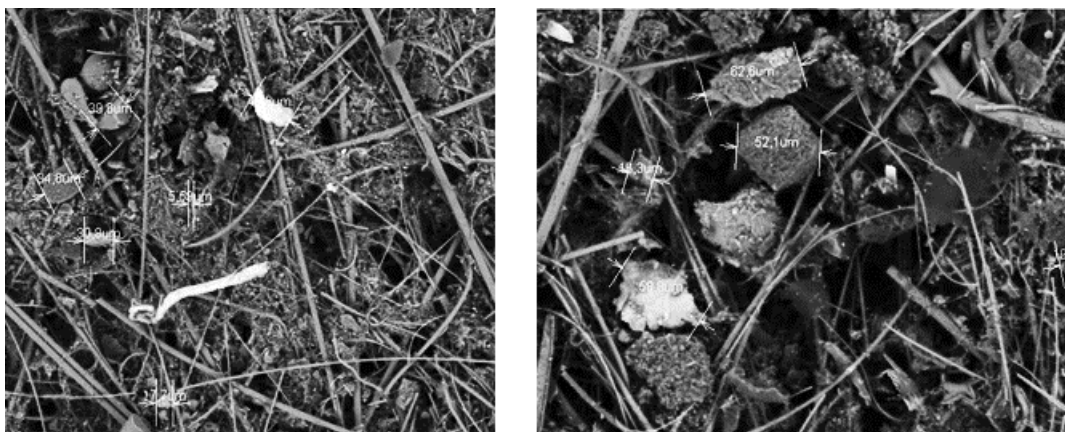


Рисунок 2.6 – Отработанные элементы ЭФК с фрагментами вымытых волокон

Такому же процессу разрушения подвержены и элементы ЭФК в составе фильтров-сепараторов и фильтров водоотделителей, так как имеют аналогично ФЭ бумажную фильтрующую штору, где фильтрующий слой установлен перед коагулирующим. В результате разрушения фильтрующей шторы влечет за собой и разрушение волокнистого коагулирующего слоя. Как видно на рисунке 2.5 волокна от коагулирующего слоя ЭФК задержаны водоотталкивающей сеткой сепарирующего элемента (ЭС), который расположен перед ЭС.

Объем используемого авиатоплива, а значит и прокачки через фильтроэлементы зависит от интенсивности полетов, которая изменяется в разные периоды времени года. Это приводит к тому, что в процессе авиатопливообеспечения ВС через фильтроэлементы в разное время года будет прокачано разное количество авиатоплива. Кроме того, этот показатель

прокачиваемости авиатоплива будет меняться с учетом изменения температуры и влажности окружающего воздуха от величины 1700 м³ до 9000 м³ (разница в несколько раз). Как отмечают авторы работ [9, 18, 54, 59] статистические показатели загрязненности авиатоплива за последние годы находится примерно на одном и том же уровне и составляет 0,5...0,8 г/т. Можно сказать, что при проведении фильтрации авиатоплива и определении работоспособности фильтроэлементов не учитывается фактическое содержание воды в авиатопливе, которая попадает в резервуары с авиатопливом при их опорожнении [9, 82, 86, 91, 98, 104, 107]. Так вместе с поступлением влажного воздуха в незаполненный резервуар объемом 5000 м³ может поступить до 50 литров воды, которая конденсируется на стенках резервуара, впитывается поверхностью и переходит в состав загрязнений авиатоплива.

Одним из технологических процессов ТЗК является выполнение перекачки авиатоплива по трубопроводам от пункта приема из транспорта до приемного резервуара, далее в резервуар хранения, далее в резервуар выдачи или ЦСЗ. Как правило трубопроводная сеть в ТЗК находится на открытом воздухе (рис 2.7).



Рисунок 2.7 – Трубопроводная сеть ТЗК

В процессе перекачки авиатоплива происходит процесс его охлаждения, так как скорость его движения составляет 1,5...2,0 м/с, а время прохождения составляет 25...35 минут. В процессе охлаждения из растворенной воды происходит выделение капель в эмульгированное состояние с последующей коагуляцией капель и их осаждением в нижней части трубопровода. Необходимо учитывать, что

трубопроводная сеть ТЗК имеет достаточное количество различных поворотов как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях. Если трубопровод имеет вертикальный поворот, то в его нижней точке создается так называемый «карман», где происходит накопление загрязнений как механического характера, так и свободной воды. Совместное наличие механических загрязнений и воды в одной точке способствует слипанию механических частиц, т.е. их размерному увеличению, например, частицы от 5 мкм образуют более крупные процессом слипания до 30...50 мкм. Так как прокачка авиатоплива по трубопроводу, согласно технологическому процессу, происходит периодически, то отсутствие прокачки в заполненном авиатопливом трубопроводе приводит к более интенсивному процессу оседания и скопления загрязнений.

Как было отмечено выше, на количество воды в авиатопливе оказывает существенное влияние влажность окружающего воздуха. Наблюдения, проведенные в работе, показывают, что при высокой влажности воздуха увеличивается количество прокачиваемого авиатоплива через фильтроэлементы. По всей видимости увеличение воды в авиатопливе приводит к намоканию целлюлозной бумаги фильтрующего элемента, что приводит к увеличению пор. При прокачке авиатоплива в этом случае происходит интенсивное вымывание волокон фильтроэлемента. Намокание бумаги приводит к увеличению пор в фильтрующем элементе, снижению его прочности и эрозийному износу фильтрующей шторки, а значит, снижению качества фильтрации авиатоплива.

Как отмечалось выше (см. раздел 2.1), степень растворимости воды в авиатопливе зависит от температуры. Статистика растворенной воды в авиатопливе, в зависимости от влажности и температуры окружающей среды, представлена на рисунке 2.8. Ресурс фильтроэлементов устанавливается ГОСТ 28912-91 [22] и имеет значение не менее 1100 м³, при перепаде давления на ФЭ 1,5 кг/см². Анализ статистики наблюдения показал, что прокачка составляет порядка 2000...2050 м³, но при этом перепад давления на ФЭ составляет 0,6 кг/см².

В ТЗК ГА основными и обязательными методами удаления механических примесей и свободной воды являются технологические операции: отстаивание,

фильтрация, сепарация и отстаивание, которые обеспечивают и в известной степени гарантируют достижение уровня чистоты, регламентируемого нормативно-технической документацией отечественного и международного законодательства в области ГА.

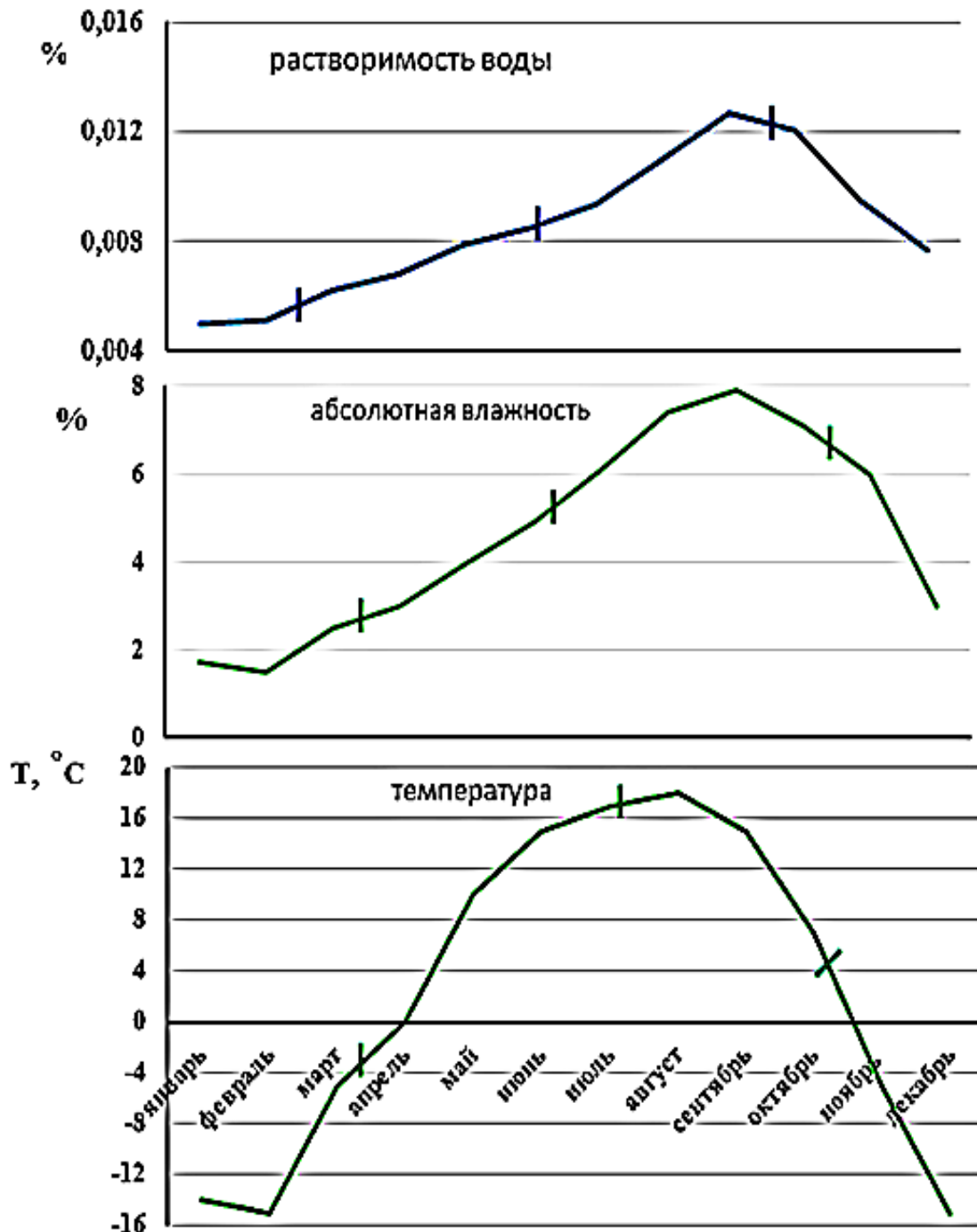


Рисунок 2.8 – Изменение растворенности воды в керосине ТС-1 в зависимости от изменения температуры и влажности воздуха

Отстаивание – как технологическая операция – для своего осуществления, требует следующие ресурсы:

- резервуарная емкость (в том числе выполнения обслуживания, зачистки, дренаж и т.д.);
- время для проведения отстаивания.

Опыт работы ТЗК, в условиях роста потребления авиатоплива (выше проектных), показывает на взаимовлияние этих факторов. При наличии достаточного объема резервуарных емкостей условие нормативно-технической документации – 4 часа на м влива, соблюдается.

При недостаточности объема резервуарных емкостей, возникает необходимость сокращения времени отстаивания, обоснованность которого необходимо подтвердить мероприятиями, при этом мех примеси, не удаленные при отстаивании, будут задерживаться при фильтрации, соответственно снижая ресурс фильтроэлементов на определенных ступенях фильтрации (в зависимости от размеров частиц мех примесей). Меньше отстаиваем – больше фильтруем этот эффект определяется степенью уменьшения времени отстаивания (вплоть до его отсутствия), а также степенью загрязненности (вплоть до его отсутствия).

В случае отсутствия загрязнений, отпадает необходимость очистки, а именно отстаивание, фильтрация и сепарация – носят контрольный характер – процесса очистки не происходит (ввиду отсутствия частиц мех примесей) предпосылка к сокращению отстаивания (вплоть до его отмены), тоже самое к применению фильтрации и сепарации.

В случаях повышения уровня загрязнений, напротив, нормативными требованиями сохранять уровень чистоты не удастся – а именно необходимо увеличивать время отстаивания, а применительно к фильтрации, создавать дополнительные ступени фильтрации (многоступенчатость фильтрации).

Как видно, наличие свободной воды в авиатопливе приводит к уменьшению прочности применяемой в ФЭ целлюлозной бумаги, ее разрушение в процессе фильтрации авиатоплива, что требует применения более эффективных устройств контроля ее наличия и удаления в технологической

цепочке до ФЭ. В качестве таких устройств могут применяться гидроциклоны, устройства контроля содержания воды в авиатопливе и дегидраторы топлива.

Необходимость принятия решений по организации мероприятий по очистке, основывается на контроле и анализе уровня (мониторинге) чистоты поступающего топлива сводится к автоматическому изменению алгоритма технологии и регулированию компонентов процесса очистки.

Таким образом, при наличии устройства, производящего достоверный и непрерывный анализ, можно в автоматическом режиме регулировать длительность отстаивания, тонкость фильтрации тем самым и другие операции, обеспечивая высокий уровень безопасности полетов, и экономические параметры ТЗК.

2.3 Расчет возможных последствий при применении некондиционного авиатоплива

Свойства применяемого авиационного топлива, как и применение других горюче-смазочных материалов, должны полностью соответствовать требованиям нормативно-технической документации, что обеспечивает бесперебойную работу элементов функциональных систем ВС (топливо-регулирующей аппаратуры, насосов, форсунок в камере сгорания, фильтроэлементов и т.д. Применение на ВС некондиционных авиаГСМ может привести к возникновению в полете нештатных ситуаций. Как показывает статистика (рис. 1.6 и 1.7) применение некондиционных авиаГСМ по разным причинам возникает.

На качество применяемых авиаГСМ оказывают влияние и условия эксплуатации – изменение температуры и давления воздуха. Так, например, понижение температуры может привести к изменению вязкости, а

следовательно, прокачиваемости и распыла авиатоплива. Уменьшение давления может привести к кавитации авиатоплива, а значит нарушению режимов работы насосов [17, 29, 37, 50]. Такие изменения свойств авиатоплива приводят к нарушению работы топливной системы ВС.

Как было отмечено в главе 1, наличие воды в авиатопливе приводит к забивке фильтроэлементов кристаллами льда, уменьшение подачи топлива в форсунки камеры сгорания, а длительное присутствие воды в топливных баках ВС приводит к возникновению коррозионных повреждений и вызывает старение резины.

При заправке ВС кондиционным авиатопливом, согласно НТД, в нем содержится до 0,01 % воды [20, 21, 25, 27, 84, 83, 85]. С увеличением высоты полета и понижении давления и температуры, растворимость воды в авиатопливе резко снижается – до 0,001 % при 0 °С. Таким образом, из одной тонны авиатоплива может выделиться 50...60 грамм воды, и при сбое обогрева фильтроэлементов или противоводокристаллизационной жидкости, т.е. возникновения нештатной ситуации, этого будет достаточно, чтобы засорить фильтроэлементы [8, 60, 81].

Причины наличия воды в авиатопливе и возможные последствия ее наличия в авиатопливе представлены на рисунке 2.9.

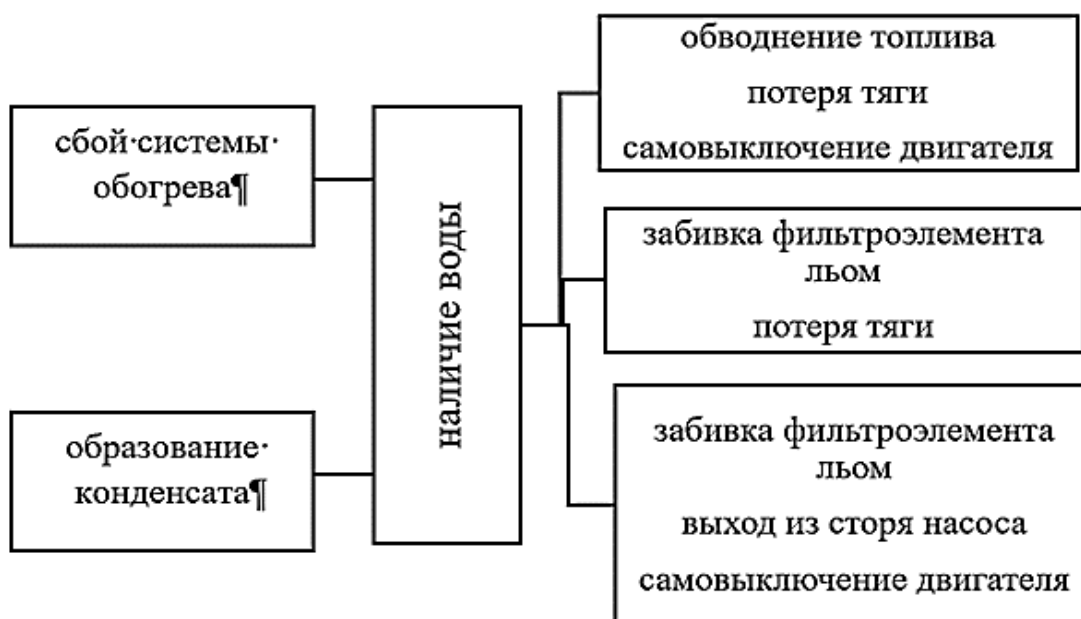


Рисунок 2.9 – Возникновение возможных неисправностей на ВС из-за наличия воды в авиатопливе

С целью определения возможного ущерба от применения некондиционного авиатоплива проведем усредненный расчет. Для проведения расчета в работе был проведен анализ возникающих в эксплуатации возможных отказов агрегатов ВС по причине наличия воды в авиатопливе. Расчет проводили с учетом стоимости самого агрегата и стоимости работы при выполнении замены агрегата. Сводные данные стоимости приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2. Примерная стоимость агрегатов и работ по их замене

Неисправность	Причина	Стоимость, руб.
Заклинивание обратного клапана	Коррозия	69 000
Забивка топливного фильтра (Tu-154)	Лед	35 000
Забивка топливных фильтров (2 шт) (ATR 42–500)	Лед	78 000
Выход из строя топливомера (Boeing 737)	Вода	920 000
Топливный насос (Boeing 737)	Вода	238 000

Расчет проводили также из условия, что засорение топливных фильтроэлементов кристаллами льда может привести к потере тяги двигателя и в этом случае необходимо заменить топливный элемент при его повреждении. Забивка фильтроэлементов кристаллами льда может также привести и к выходу из строя перекачивающего насоса, а в последствии и к выключению двигателя. То в этом случае необходимо заменить как топливный фильтр, так и насос, что увеличивает затраты.

В любом случае, возникновение нештатных ситуаций приводит к снижению безопасности полетов, а следовательно, необходимости разработки мероприятий по контролю наличия воды в авиатопливе.

Выводы по главе 2

1. Установлен баланс накопления воды в резервуарных парках ТЗК и топливозаправщиках в зависимости от периода времени года.
2. Установлена и обоснована необходимость проведения постоянного контроля наличия воды в авиатопливе не только в процессе авиатопливообеспечения ВС, но и в период его заправки.
3. Установлено влияние параметров обводненности авиатоплива на ресурс фильтроэлементов.
4. Проведен расчет экономических затрат при возникновении отказов элементов топливной системы ВС при наличии воды в авиатопливе.

3 Теоретическое обоснования системы непрерывного контроля обводненности авиатоплива при авиатопливообеспечении воздушных судов

3.1 Разработка математической модели предотвращения заправки воздушного судна не кондиционным авиатопливом

Применяемое в ГА авиатопливо является продуктом нефтепереработки и состоит из различных групп углеводородов, которые являются летучими веществами [29, 90, 107, 109, 110]. В процессе хранения в резервуарах в результате летучести авиатоплива, в основном легких фракций, происходят потери авиатоплива, приносящие деятельности ТЗК значительный экономический ущерб, а выбросы паровоздушной смеси (ПВС) приводят к загрязнению атмосферного воздуха и увеличивают риск пожароопасности объектов ТЗК [7, 78, 90, 104]. Особенно существенные потери возникают при больших расходах авиатоплива, например, в ТЗК московского авиационного узла (МАУ), где расход составляет порядка 1500...3000 т/сутки.

Как было отмечено в главе 2, в результате «малых и больших дыханий резервуаров» происходит обводненность авиатоплива. Рассмотрим систему фильтрации на складе ГСМ в ТЗК и сему предперонного пункта налива авиатоплива (рис. 3.1 и 3.2). Как видно в системе очистки авиатоплива от воды в ТЗК применяются фильтры водоотделители – ФВГк.

На складе ГСМ авиатопливо проходит фильтрацию от механических примесей и поступает в корпус фильтра водоотделителя ФВГк – 120, в котором установлены пять коагулирующих фильтроэлементов ЭФК – 5/30М и два

сепарирующих элемента СЭ – 60Г. Отфильтрованное топливо, подается через раздаточный рукав АТЗ.

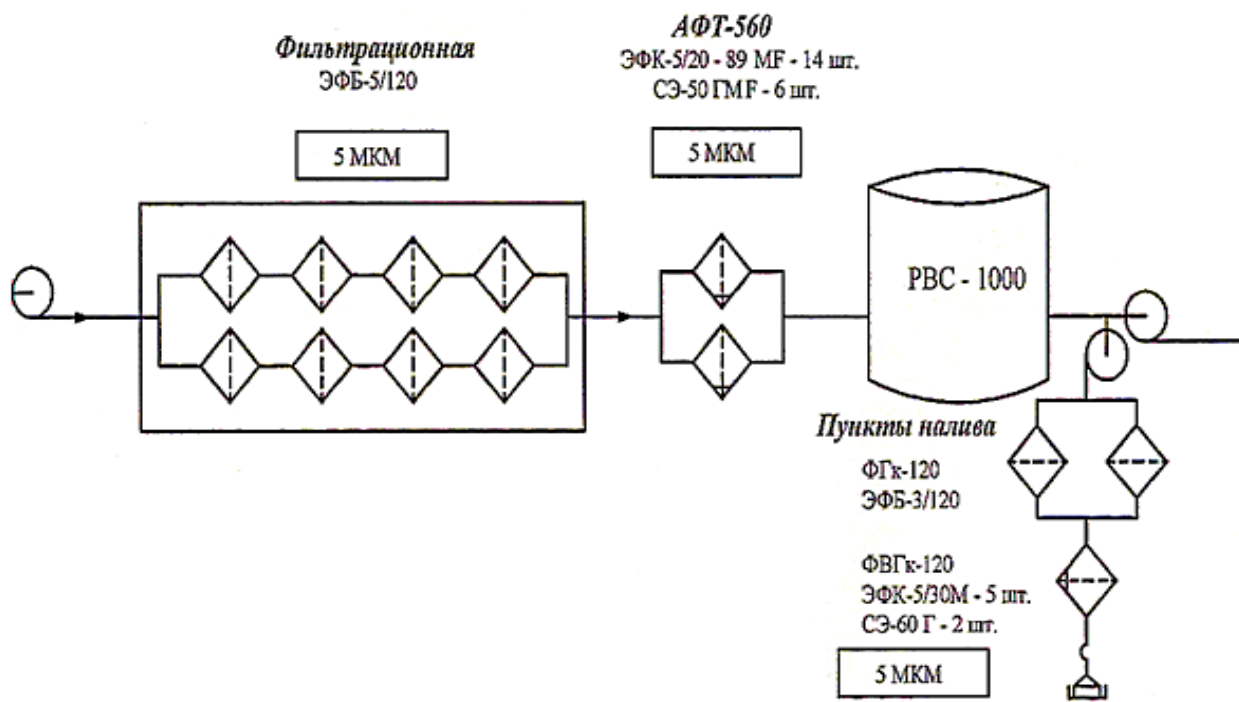


Рисунок 3.1 – Схема фильтрации авиатоплива на складе ГСМ

На предпреронном пункте налива также имеются фильтры водоотделители. Анализ системы очистки авиатоплива показывает, что данные фильтры водоотделители являются техническими средствами конечной очистки авиатоплива от воды перед заправкой ВС. Таким образом, их состояние можно взять как показатель кондиционности заправляемого авиатоплива по содержанию воды в нем. Техническое состояние фильтров водоотделителей можно охарактеризовать двумя параметрами – расход топлива Q и изменение перепада давления ΔP в процессе эксплуатации. Данные характеристики указываются в документации завода-изготовителя на фильтры водоотделители. Следовательно, предположив допущение, что в процессе очистки авиатоплива от воды может возникнуть вероятность разности данных параметров между полем допуска параметров, находящимся в зоне нормативной документации и полем значений параметров, выходящим за ее пределы. Выход данных за поле

допуска будет свидетельствовать о показателе качества заправляемого авиатоплива, а значит принять решение о заправке ВС.

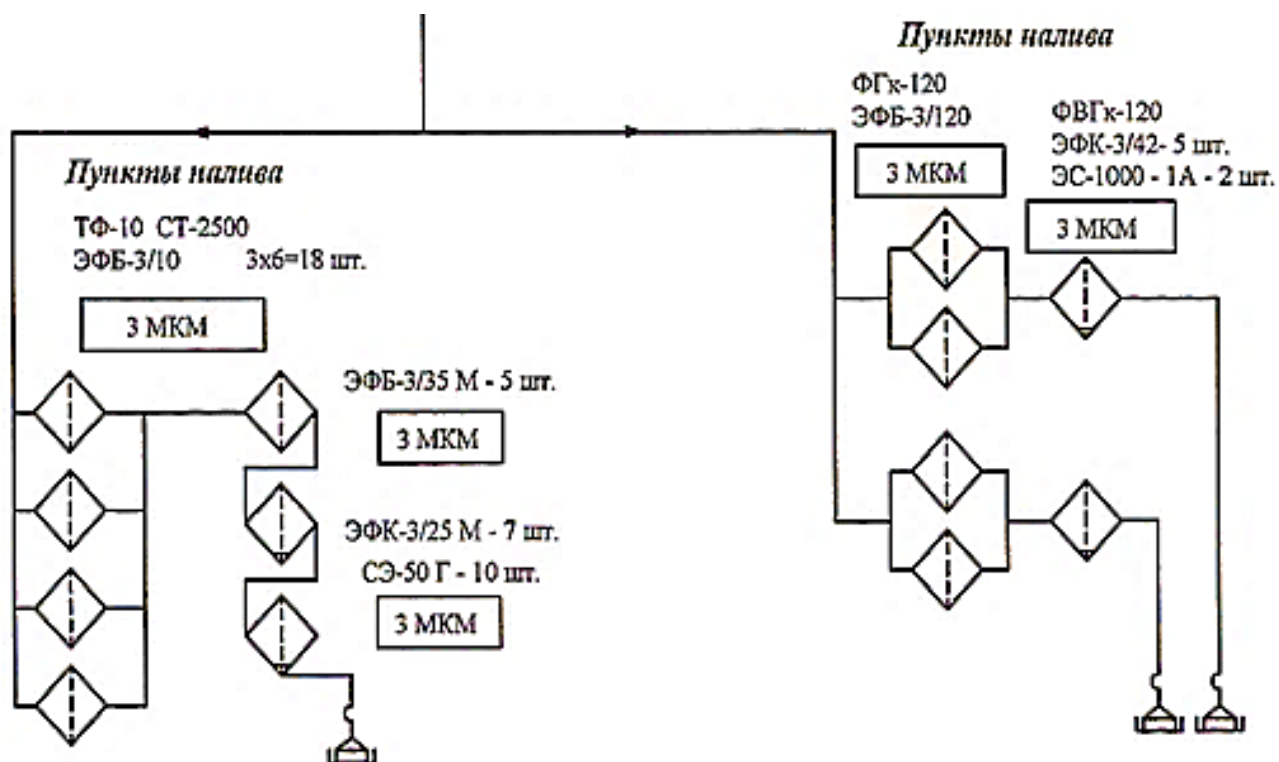


Рисунок 3.2 – Схема фильтрации предперонного пункта налива авиатоплива

Состояние фильтров водоотделителей можно описать с помощью математических зависимостей, внесенных в цифровой контролер с функцией выработки алгоритмов и команд на прекращение выдачи авиатоплива в АТЗ или остановки заправки ВС. Изменение полей допусков параметров фильтра водоотделителя можно представить в виде детерминированного процесса его работы в поле допусков и недетерминированного случайного процесса при выходе за пределы с назначением границы для прекращения выдачи или заправки авиатоплива.

При разработке математического описания процесса очистки авиатоплива от воды в качестве входной функции используем параметры фильтра водоотделителя из технической документации, а в качестве выходной – сигнал на прекращение выдачи или заправки авиатоплива с отображением данной

информации как на мониторе пункта налива или АТЗ и изменения этой информации в базе данных.

Используя статические данные по работе фильтра водоотделителя, представим зависимость изменения перепада давления ΔP от расхода топлива Q , взятом их технической документации завода-изготовителя [10, 28, 87, 101] для математического анализа. Поле допуска представляется множеством кривых, а процессы очистки авиатоплива от воды, находящимися в поле допуска, можно отнести к детерминированным процессам, которые можно описать с помощью математических зависимостей. Для этого применим метод линейной аппроксимации [2, 33, 55, 77], с помощью которой можно исследовать числовые характеристики и качественные свойства исследуемого объекта (рис. 3.3).

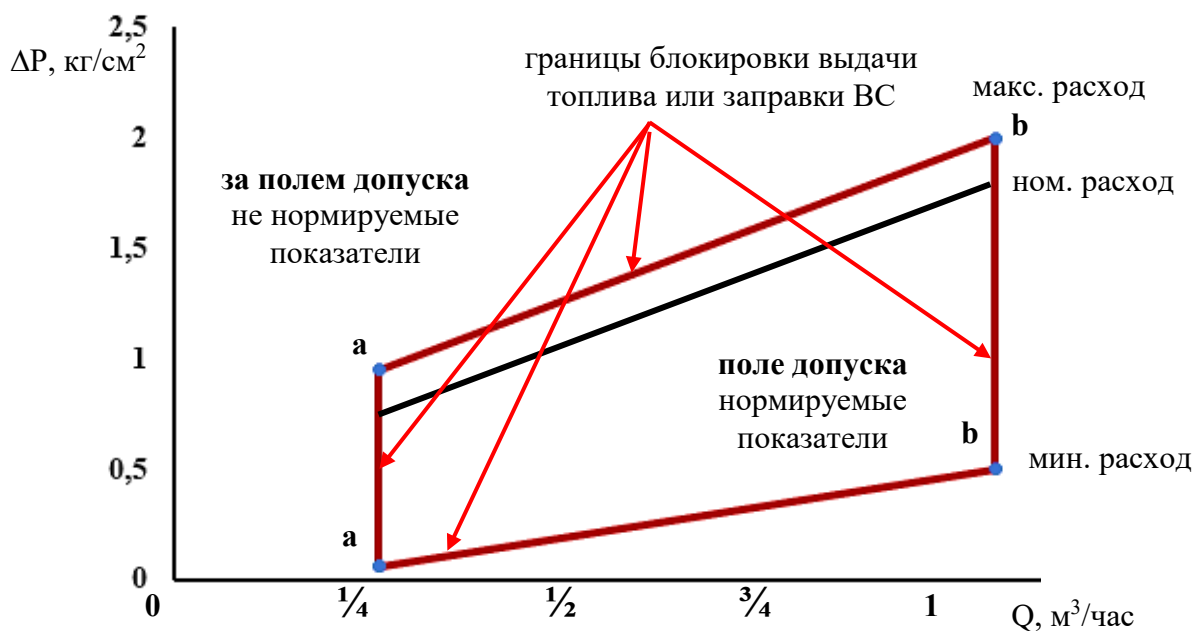


Рисунок 3.3 – Зависимость предельно допустимого перепада давления ΔP от расхода авиатоплива Q

На основании данных технической документации поле допуска нормальной работы фильтра водоотделителя будет лежать в области предельных значений, обозначенных точками a и b (рис. 3.3), которые описываются линейным уравнением. Верхнее значение поля допуска будет составлять $0,95 \dots 2,0$, а нижнее – $0,06 \dots 0,3$ кг/см².

Так как в процессе эксплуатации эти значения могут принимать любые значения в поле допуска, то для программирования контроллера пункта налива или склада ГСМ применим уравнения линейной функции [41, 56] и представим в виде:

$$\gamma = \alpha \cdot x + b \quad (3.1),$$

Исходя из этого, решение данного уравнения будет состоять в нахождении коэффициентов уравнения – a и b , значения которых приближали определяемые значения точек поля допуска наиболее близко к аппроксимирующей прямой.

Для отыскания указанных коэффициентов применим метод наименьших квадратов [58, 76], суть которого состоит в том, что сумма квадратов отклонений искомого значения точки от аппроксимирующей линии будет иметь минимальное значение, тогда:

$$F(\alpha, b) = \sum_{i=1}^n (\gamma_i - (\alpha \cdot x + b))^2 \rightarrow \min \quad (3.2).$$

В этом случае решение задачи состоит в поиске экстремума данной функции двух переменных.

Из рисунка 3.3 видно, что искомые точки a и b находятся в поле допуска, следовательно, решение интегральной функции 3.1 и 3.2 можно свести к выражению:

$$\int_{\alpha}^{\beta} f(x) dx \quad (3.3),$$

где: α и β пределы интегрирования.

Полученный таким образом массив данных положен в основу программного обеспечения по ограничению перепада давления в поле допуска, а результат расчета эксплуатационных характеристик фильтра водоотделителя представлен на рисунке 3.4 и как только значение перепада давления и расхода превысят предельное значение, то поступит сигнал на блокировку выдачи авиатоплива или заправку ВС.

Представленный расчет характеристик фильтра водоотделителя позволяет произвести оптимизацию режима его ресурса (замены) до 20...25 % от максимального значения расхода фильтроэлемента.

При проведении технологического процесса авиатопливообеспечения ВС в силу изменения различных факторов, как субъективных, так и объективных,

показатели характеристик фильтра водоотделителя могут выходить за поле допуска этих значений. Можно сказать, что фильтроэлемент в этом случае будет работать в недетерминированных или стохастических (случайных) условиях. Этот режим работы можно описать с помощью стохастической матрицы и введем в программу для выполнения расчета (рис. 3.5).

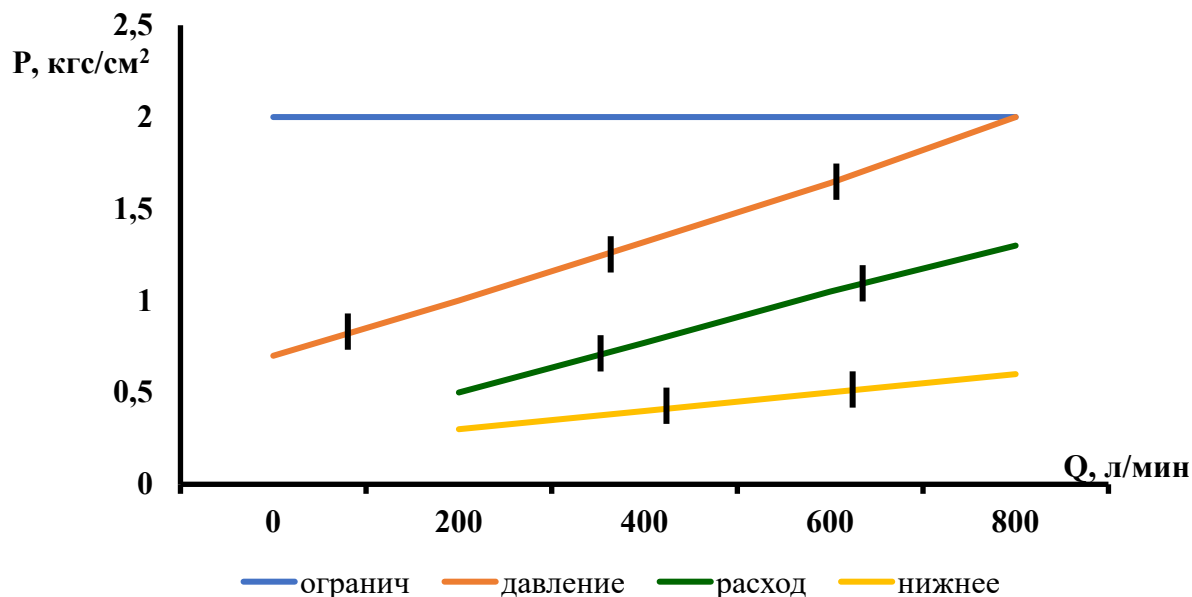


Рисунок 3.4 – Расчет эксплуатационных характеристик фильтроэлементов фильтра водоотделителя

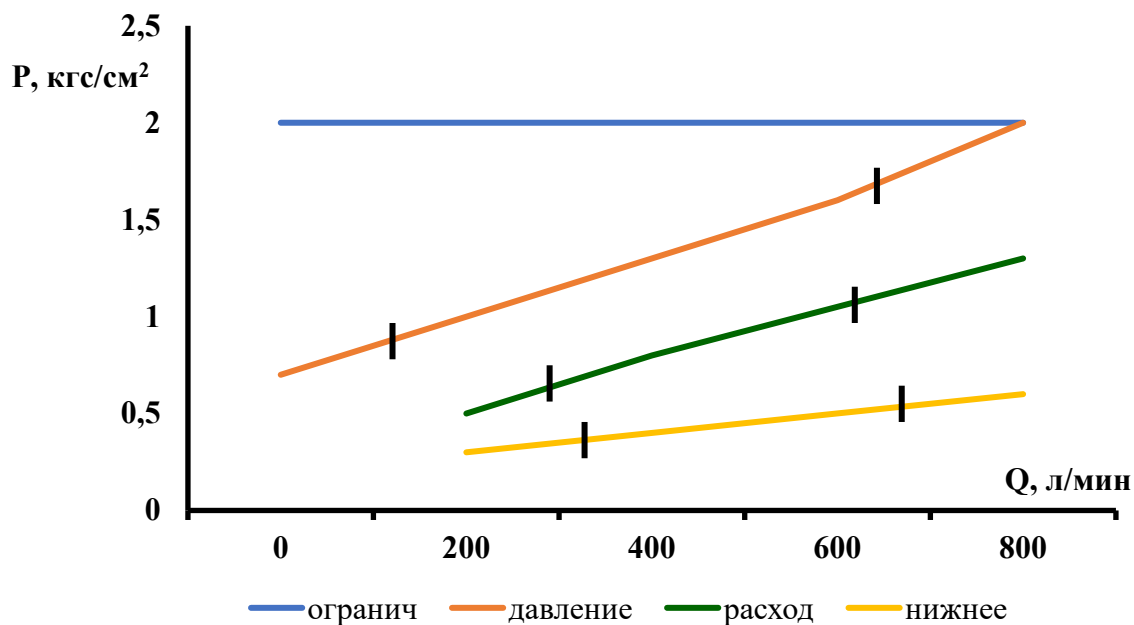


Рисунок 3.5 – Расчет эксплуатационных характеристик фильтроэлементов фильтра водоотделителя в условиях работы за полем допуска

Для расчета используем Марковские цепи [13, 57], где стохастическая матрица представляется матрицей переходных вероятностей как отправная точка теории случайных процессов [46]. Тогда матрица $P = (P_{ij})$, где i и $j = 1, 2 \dots$ является стохастической и ее можно задать:

$$P_{ij} \geq 0, \quad \forall i, j = 1, 2 \dots \quad \text{и} \quad \sum_{j=1}^{\infty} P_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (3.4),$$

где: \forall - математический знак For All (рус. для всех).

Из данного выражения можно найти дискриминант алгебраического числового поля [4, 113] допуска и его числовое значение, свойство которого является изменять размер алгебраического числового поля. Это свойство применим для формирования управляющего сигнала фильтроэлементом с обратным знаком.

Исходя из проведенных исследований можно сделать вывод, что полученный дискриминант числовых значений вне поля допуска пропорционален квадрату целых чисел характеристик, находящихся в поле допуска, и определяет разветвление простых чисел. При дальнейших инвариантных преобразованиях [38] было определено, что если корни уравнений, лежащих в поле допуска, находятся в основе стохастической матрицы, то все остальные величины будут составлять отличные по величине и знаку значения.

Полученные данные математического обеспечения загружаются цифровой контролер с целью контроля за состоянием фильтроэлементов. В случае смены фильтроэлемента необходимо произвести сравнение эксплуатационных характеристик из технической документации и данных в программном обеспечении и при наличии расхождения провести корректировку данных. Если данные в программном обеспечении будут введены не корректно, то и система блокировки от выдачи некондиционного авиатоплива будет работать не корректно. Такую корректировку данных в цифровом контролере можно проводить с помощью современных USB-технологий.

Таким образом, при выходе показателей кондиционности авиатоплива за поле допуска фильтров водоотделителей в момент выдачи из склада ГСМ в АТЗ или в момент предперонной заправки ВС являются критичным фактором, то применение предлагаемой математической модели процесса работы фильтроэлемента в поле допусков, позволяет сформировать цифровым котроллером «барьерный» сигнал на прекращение выдачи авиатоплива или заправки им ВС, что позволит повысить вероятность не попадания воды вместе с авиатопливом в топливные баки ВС.

3.2 Исследование течения авиатоплива в индикаторных пористых перегородках и подбор для них материалов

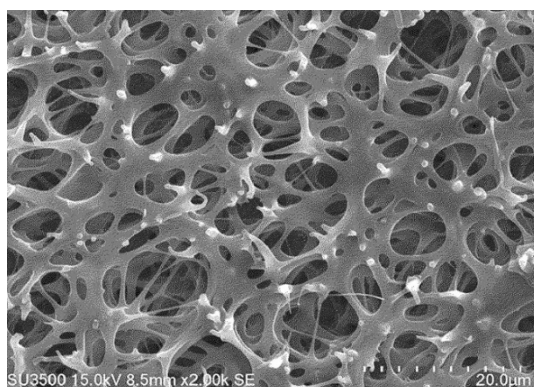
Важнейшей задачей обеспечения заправки ВС кондиционным авиатопливом является проведение постоянного контроля авиатоплива на наличие механических примесей и воды. Как было ранее отмечено, проведение контроля наличия воды в авиатопливе с помощью ПОЗ-Т является не вполне объективно (см. главы 1 и 2). Требуется применение устройств, позволяющих проводить контроль не только наличия воды в авиатопливе, но и его количество в реальном режиме времени.

Предлагаемое устройство определения воды в авиатопливе может быть выполнено с применением уже известной системы каскадной фильтрации (рис 1.1 и 2.3).

Однако, протекание жидкости (авиатоплива) через систему каскадной фильтрации во многом зависит от конструкции фильтроэлемента, т.е. от размера ячеек сетки, скорости протекания, создаваемого давления, а также материалов, применяемых в пакете фильтроэлемента [15, 48].

В качестве основного метода обезвоживания авиатоплива применяют фильтры – водоотделители. Как правило конструктивно они выполнены из коалирующей перегородки, на которой происходит коалесценция микрокапель воды. Для коагуляции капель воды надевают чехол из хлопчатобумажной ткани на наружную поверхность коагулирующей перегородки. Вторая ступень такого фильтра – водоотделители является гидрофобной (водоотталкивающая), на которой происходит отделение от топлива и вывод в дренажную ступень фильтра - водоотделителя укрупнившихся капель эмульсионной воды. В качестве материалов применяют: латунную сетку как корпус, которую покрывают тефлоном (фторопластом), полиацеталь, полиформальдегид и гофрированную бумагу. Такая конструкция фильтроэлемента является объемной и имеет множество пороговых каналов, размеры которых достаточно произвольны. Применение таких материалов в конструкции фильтра – водоотделителя ограничивает его ресурс и эффективность обезвоживания авиатоплива (см. глава 1 и 2).

Для повышения эффективности обезвоживания авиатоплива в работе был проведен анализ выбора материала с высокой гидрофобностью для использования в конструкции монитора определения воды в авиатопливе. В качестве такого материала выбран поливинилформаль - полимерный материал, обладающий трехмерной ячеистой структурой (рис. 3.6) и высокой гидрофильностью полимерной основы.



20.0 мкм

Рисунок 3.6 – Структура поливинилформалия

Поливинилформаль имеет пористую структуру и гидрофильность полимера, что позволяет ему иметь высокую водопоглощающую способность (вплоть до 98% об и более 700% масс). Также он имеет уникальные физические свойства, состоящие в том, что во влажном состоянии он становится мягким и эластичным, а при освобождении от воды восстанавливает исходную – жесткую форму. Т.е. при поглощении воды поливинилформаль увеличивает свои размеры. Для ограничения размеров поливинилформалья предлагается использовать опорную сетку, которая может быть выполнена из плотняного плетения или латунная сетка. Для повышения эффективности обезвоживания авиатоплива целесообразно в каскад фильтрации установить коагулятор.

Пористая ячеистая структура поливинилформалья позволяет создать объемный режим фильтрации авиатоплива, что усиливает эффективность очистки, так как при любом направлении потока авиатоплива проходит через фильтрующий материал. Однако при увеличении сопротивления в такой конструкции могут возникать завихрения потока авиатоплива. Применение ячеек различных размеров в конструкции опорных сеток позволяет осуществлять очистку авиатоплива и от механических загрязнений. Схематическая конструкция предлагаемой ступени фильтрации для обезвоживания авиатоплива приставлена на рисунке 3.7.

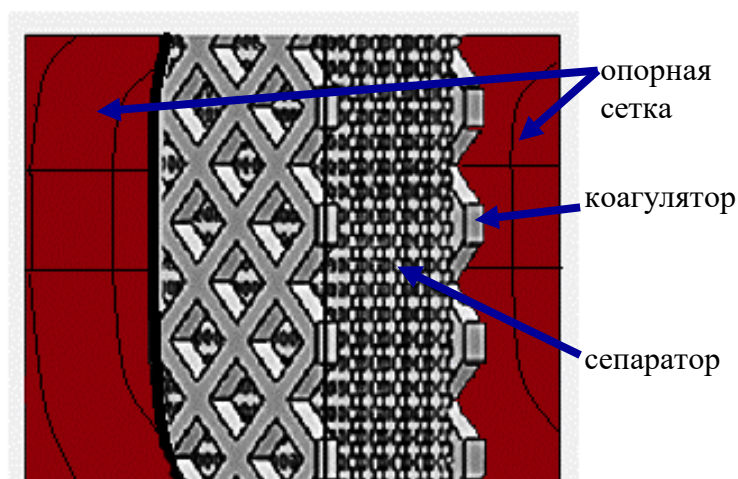


Рисунок 3.7 – Схема конструкции ступени водоотделителя

В работе на стенде было проведено испытание такой конструкции ступени водоотделителя для определения гидравлического сопротивления такого пакета

фильтрации. Было установлено, что гидравлическое сопротивление предлагаемой конструкции находится на уровне гидравлического сопротивления применяемых в авиатопливообеспечении сетчатых фильтроэлементов [16].

Для проведения численного моделирования конструкции ступени водоотделения была использована программа МастерSCADA - программный продукт компании ИнСАТ.

Как было отмечено, поливинилформаль имеет сложную структуру. Поэтому для расчета при построении модели конструкции ступени было принято допущение, что его ячейка имеет форму шестигранника (рис. 3.8). Объемная ее модель также была создана в программе МастерSCADA. Вся ступень состоит из 5 слоев, которые смещены друг относительно друга. Таким образом, слои ступени состоят из двух опорных сеток, двух коагуляторов и основного слоя для обезвоживания авиатоплива, состоящего из поливинилформалья.

Проведенное в работе численное моделирование ступени разрабатываемого мониторинга обводненности авиатоплива позволило визуализировать течение авиатоплива в объемной структуре поливинилформалья (рис. 3.9, а) и иметь представление о распределении давления авиатоплива при протекании через предлагаемую конструкцию ступени фильтрации (рис. 3.9, б).

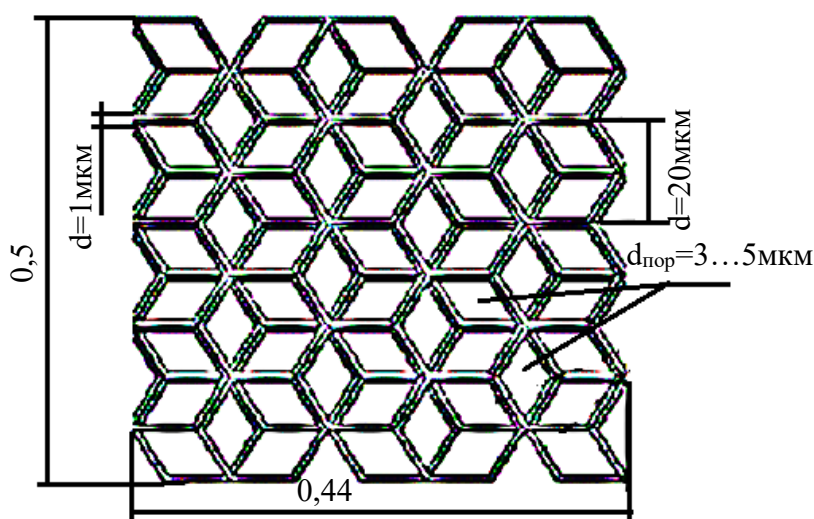


Рисунок 3.8 – Структура одного слоя ступени фильтрации

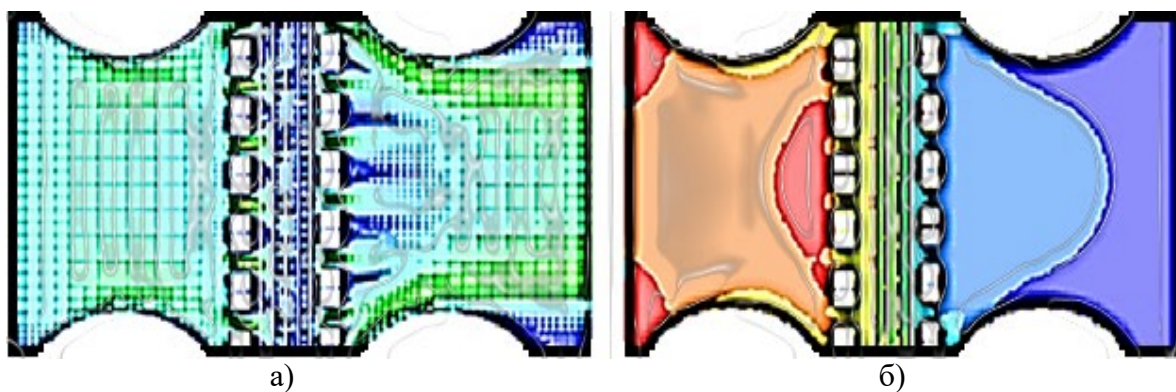


Рисунок 3.9 - Результаты компьютерного моделирования при прохождении авиатоплива через ступень фильтрации: а) - распределение скорости; б) - распределение давления

Из результатов расчета ступени фильтрации видно, что при прохождении авиатопливом каждого слоя его давления уменьшается. Незначительное увеличение давления видно вначале перед защитной сеткой, которое за ней падает, затем падает несколько больше, так как уменьшается проходное сечение. Основное падение давления наблюдается при прохождении авиатоплива через поливинилформаль, так как он имеет трехмерную ячеистую структуру. Кроме того, при насыщении вагой имеет свойства увеличиваться. Т.е. чем больше будет через поливинилформаль проходить авиатоплива, тем больше будет возрастать перепад давления на нем.

Результаты анализа изменения скорости потока авиатоплива показывает, что в результате уменьшения площади проходного сечения максимальная скорость потока авиатоплива достигает своего значения при прохождении через поливинилформаль. Можно сказать, что происходит дросселирование авиатоплива. Уменьшение скорости потока авиатоплива происходит после опорной сетки, так как наблюдается некоторый отрыв потока авиатоплива с поверхности сетки.

С целью оценки адекватности компьютерной модели расчета характеристики ступени фильтрации разрабатываемого мониторинга обводненности авиатоплива на график экспериментальных значений

характеристики ступени фильтроэлемента, были нанесены точки, полученные расчетным путем (рис. 3.10). Как видно, относительная погрешность проведенных в работе расчетных значений составляет не больше 13 % от полученных экспериментальных. Это можно объяснить тем, что в расчетной модели сделано допущение и рассматривается конструкция ступени фильтрации в упрощенном виде – в виде шестигранника.

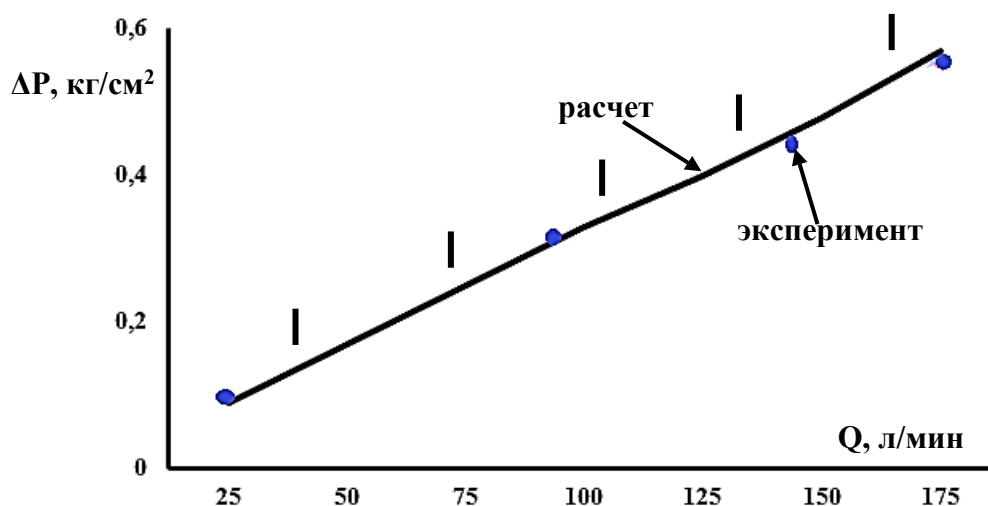


Рисунок 3.10 – Гидравлическая характеристика ступени фильтрации, полученная экспериментальным и расчетным путем

Из проведенного в работе исследования численного моделирования ступени разрабатываемого мониторинга обводненности авиатоплива можно сказать, что расчетная модель достаточно точно отображает процессы, которые происходят при протекании авиатоплива через объемный элемент предлагаемой конструкции с применением поливинилформалия, имеющего трехмерную ячеистую структуру.

3.3 Обоснование выбора программного продукта для обработки данных мониторинга обводненности авиатоплива

Технологические процессы авиатопливообеспечения ВС сегодня интенсивно развиваются с внедрением в них автоматизированных систем (АСУТП) и цифровых технологий. Для проведения мониторинга текущих показаний качества авиатоплива (содержание воды, механических примесей), функционирования оборудования ОАТО (перепада давления на фильтроэлементах, работы насосов и т.д.) необходимо устанавливать специальное программное обеспечение. Сегодня рынок IT-технологий предлагает различные программные продукты [10, 34, 35].

В сфере авиатопливообеспечения, и в ТЗК в частности появился запрос и наметился тренд - переход от косвенных статических, дискретных и неавтоматизированных (ручных) средств и методов измерений параметров количества и качества авиатоплива, к прямым динамическим, поточным и автоматизированным, как более прогрессивным, экономически целесообразным, (а в случае измерения параметров качества авиатоплива, и безопасным). На сегодняшний день их преимущества неоспоримы.

В разрабатываемом мониторинге контроля количества воды в авиатопливе одним из основных элементов является ступень фильтрации, содержащая поливинилформаль, а ее важным параметром является изменение перепада давления на ней. Предполагается иметь не одну такую ступень, а несколько. Как было отмечено выше (гл.1 и 2) вода в авиатопливе может попасть на любом этапе технологического процесса авиатопливообеспечения, следовательно, для достижения гарантированной достоверности и полноты информации об обводнении авиатоплива на всем протяжении цикла движения авиатоплива монитор обводненности авиатоплива необходимо устанавливать на каждом этапе технологического процесса. Таким образом необходимо проводить сбор

информации с различных физических датчиков в реальном времени с дальнейшей их обработкой, диспетчерское управление, архивации параметров и отображения данных на экране монитора.

Для решения этих задач в мониторинге обводненности авиатоплива предлагается использовать продукт компании ИнСАТ – MasterSKADA.

Принцип работы системы состоит в обработке сигналов от первичных преобразователей в составе системы, измеряющих перепады давлений, преобразовании результатов измерений в значения физических величин и их регистрации программируемыми логическими контроллерами (programmable logic controller, сокращенно PLC).

Таким образом, система при измерении параметра обводнения реализует прямой метод динамических измерений.

Система проводит опрос каждой ступени фильтрации и извлекает данные из регистров, в которые были введены исходные данные нормальной работы ступени. Затем происходит обработка данных и их сравнение, что позволяет образовать массив математических отношений. Обработка этого массива данных позволяет вычислить текущее значение количества воды в проходящем через ступень потоке авиатоплива. Таким образом система позволяет регистрировать параметры обводнения (объем, массу), в потоке авиатоплива. Система может выдавать управляющие и аварийные сигналы, визуализировать их на экране панели оператора АРМ, формировать отчеты и выдавать их на печать.

Измеренная и вычисленная информация может храниться в контроллере в течение длительного времени и может быть передана по любым сетевым интерфейсам.

Программный пакет MasterSKADA может обеспечивать обработку других данных в единой платформе разработки, а также имеет много функциональных блоков и библиотек. Это позволяет проявлять модульность и объективный подход к разрабатываемому мониторингу обводненности авиатоплива.

Выводы по главе 3

1. Разработана математическая модель предотвращения при предперонной заправке воздушного судна не кондиционным авиатопливом. Применение предлагаемой математической модели процесса работы фильтроэлемента в поле допусков, позволяет сформировать цифровым контроллером «барьерный» сигнал на прекращение выдачи авиатоплива или заправки им ВС, что позволит повысить вероятность непопадания воды вместе с авиатопливом в топливные баки ВС.

2. Проведены теоретические и расчетные исследования ступени разрабатываемого устройства контроля количества воды в авиатопливе.

3. Теоретически обоснован выбор материалов для ступени устройства контроля воды в авиатопливе.

3. Подобран программный пакет для диспетчерского управления и сбора данных перепада давления в ступени устройства контроля воды в авиатопливе – MasterSCADA, позволяющий одновременно обрабатывать результаты с одного или нескольких узлов мониторов.

4 Разработка метода непрерывного контроля обводненности авиатоплива при топливообеспечении воздушных судов

4.1 Разработка метода непрерывного мониторинга обводненности авиатоплива при технологических процессах топливообеспечения воздушных судов

Задачей работы организаций авиатопливообеспечения при выполнении технологических процессов топливообеспечения ВС является сохранение кондиционности авиатоплива, доведения до кондиций согласно требованиям нормативной документации и обеспечения качества заправки ВС [83, 84]. Такие требования связаны с влиянием качества авиатоплива на безопасность полетов (см. глава 1). Выполнение этих требований связано с обеспечением соблюдения всех технологических требований при наливе и сливе авиатоплива, его хранения, перекачки и заправки ВС. Не маловажным фактом в этом процессе оказывает применяемое оборудование – средства фильтрации, водоотделения, предотвращения попадания влаги и мех примесей в авиатопливо [82, 86, 88, 91, 98], а также необходимостью непрерывного контроля обводненности и чистоты всего потока авиатоплива, особенно выдаваемого на заправку ВС [11, 34, 35]. Как показывают наблюдения выполнения процессов авиатопливообеспечения ВС, концентрации механических примесей и наличия воды в авиатопливе, продолжительность их воздействия в период эксплуатации, практически не поддаются контролю с помощью устаревших технологий контроля, в основе которых лежат ручные, визуальные и совсем не автоматизированные методы. Так как в процессе хранения и подготовки авиатоплива к заправке ВС, протекают неконтролируемые процессы осаждения, коагуляции, и образования донных

осадков, как в трубопроводах, так и в резервуарах, то неизбежно снижается уровень чистоты авиатоплива, создающий угрозу эксплуатационной безопасности ВС, а значит необходимо осуществлять контроль кондиционности авиатоплива.

В главе 1 были рассмотрены факторы попадания воды в авиатопливо в процессе авиатопливообеспечения ВС и возможные последствия ее наличия в авиатопливе на работу топливо-регулирующей аппаратуры ГТД, фильтроэлементов и т.д. Процесс удаления воды из авиатоплива является достаточно трудозатратным и не дешевый, так как требует увеличения времени отстаивания авиатоплива, повышенного расхода фильтров водоотделителей, а также фильтрующих элементов в технологической цепочке авиатопливообеспечения ВС. Кроме того, наличие воды в авиатопливе является угрозой безопасности полетов. Исходя из этого становится важным вопрос контроля наличия воды в авиатопливе. Рассмотренные в главе 1 возможные методы контроля наличия воды свидетельствует о их низкой чувствительности и субъективности их показаний.

В процессе жизненного цикла авиатоплива наиболее жесткий контроль его качества проводится в процессе производства. Согласно нормативной документации, производитель гарантирует его качество и на дальнейших этапах жизненного цикла авиатоплива проводится только точечный контроль качества авиатоплива по отобраным пробам и не все характеристики проверяются. Опыт применения авиатоплива (см. глава 1) свидетельствует, что в процессе транспортировки и хранения происходит его загрязнение. Т.е. требуется постоянный контроль качества авиатоплива в процессе его непосредственного применения и хранения.

В работе предлагается техническое решение для осуществления непрерывного контроля обводненности авиатоплива.

Для поиска технологического решения, поставленного в работе, был проведен анализ применяемых устройств и методов обнаружения и удаления воды из авиатоплива. Основным средством для удаления воды являются фильтры-сепараторы [63, 64, 65, 66, 96, 97]. Конструктивно они выполнены несколькими

слоями, выполняющих различные функции – фильтрующие, коагулирующие, дренажные и водоотталкивающие слои. Волокнистые стеклопакеты применяются в качестве материала коагулирующих слоев (рис. 4.1). Применяемые в настоящее время фильтры – водоотделители, сепараторы, конструктивно состоят из корпуса, где коаксиально расположены три элемента – фильтрующий, коагулирующий и сепарирующий. Как правило за водоотделяющая перегородка размещают после фильтрующей. В стекловолокнистых пакетах, 3...5 слоев которых расположены друг за другом с целью постепенного увеличения размера пор перегородки и их плотности, происходит коагуляции (укрупнение) капель воды. Микрокапли воды из авиатоплива скапливаются на поверхности стекловолокон пакета, в результате чего на нем образуется водяная пленка. Под действием течения авиатоплива толщина пленки и ее объем увеличивается, и она перетекает с одного пакета на другой. На последнем пакете водная пленка образует крупные капли свободной воды и на сепарирующих слоях они задерживаются. Так как сетка (сепаратор) покрыта фторопластом, то крупные капли воды под действием силы тяжести стекают в нижнюю зону (отстойную) водоотделителя. Такое устройство хорошо удаляет воду из авиатоплива, но не определяет ее содержание в нем.

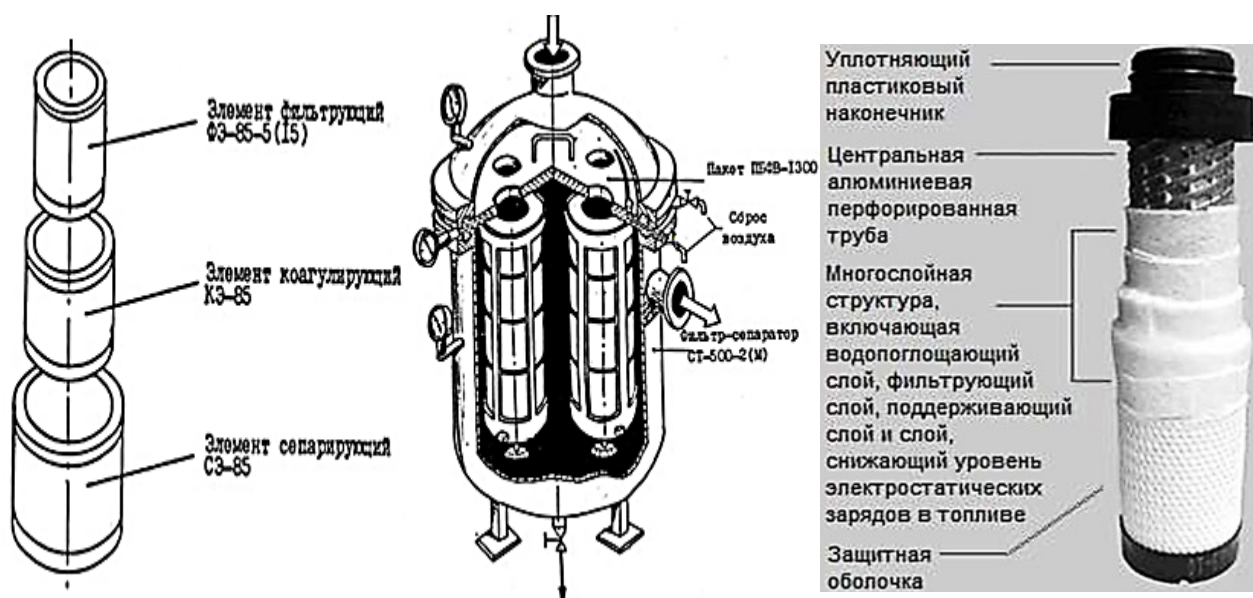


Рисунок 4.1 – Схема фильтра водоотделителя

Для определения количества воды в авиатопливе существует работы [66 – 69], где авторы предлагают применить химические реагенты, определять пробивное напряжение или использовать полимерные оптические волокна.

В качестве материала волокон таких устройств предлагается применять водонепроницаемый пластик. При впитывании воды такими волокнами они изменяют свою геометрию или меняют степень преломления света в зависимости от количества воды, тем самым происходит изменение показателей преломления или отражения света, которые будут фиксироваться детектором.

При пропускании авиатоплива через фильтроэлемент, когда накопившаяся вода достигает предельного количества, она попадает на химический реагент, что приводит к протеканию химической реакции с выделением водорода, который фиксируется фотодиодом и подает сигнал о достижении предельного количества свободной воды.

Как известно вода проводит электрический ток. При определенном количестве воды находят пробивное напряжение и стоят данную зависимость. На этой основе применяют экспресс метод контроля воды с помощью электродов и сравнивают замеренное напряжение с полученной ранее зависимостью.

Видно, что предлагаемые методы контроля количества воды в авиатопливе достаточно сложны и требуют в системе фильтрации устанавливать дополнительно фильтры – сепараторы для удаления воды. Рекомендуемая ИАТА система фильтрации представлена на рисунке 4.2.

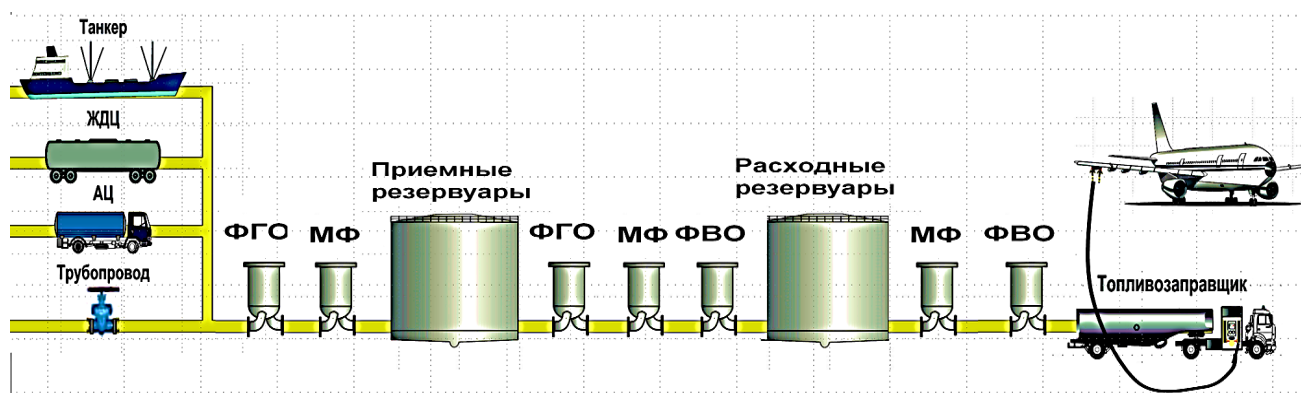


Рисунок 4.2 – Рекомендуемая ИАТА схема фильтрации авиатоплива при его выдаче в топливозаправщик

Как показывает анализ литературных источников [63 – 69, 96, 97], отечественный и зарубежный опыт контроля воды в авиатопливе, проблему контроля кондиционности авиатоплива необходимо решать путем применения автоматизированных средств измерения, информационных измерительных систем (ИИС) и информационно-управляющих систем (ИУС), которые могут стать основой (или компонентами) единой автоматизированной системы управления технологическими процессами ТЗК аэропорта.

Автором предлагается решать задачу контроля количества воды в авиатопливе с совмещением задачи по ее удалению из авиатоплива и мониторинга состояния водоотделителя.

Для решения проблемы определения количества воды необходимо выбрать материал, который бы не взаимодействовал с углеродным авиатопливом и хорошо бы поглощал влагу, находящуюся в авиатопливе. Исходя из физико-химических свойств [42, 53, 61] пригодных для поглощения воды в нефтепродуктах в качестве такого материала был выбран поливинилформаль (рис. 4.3).

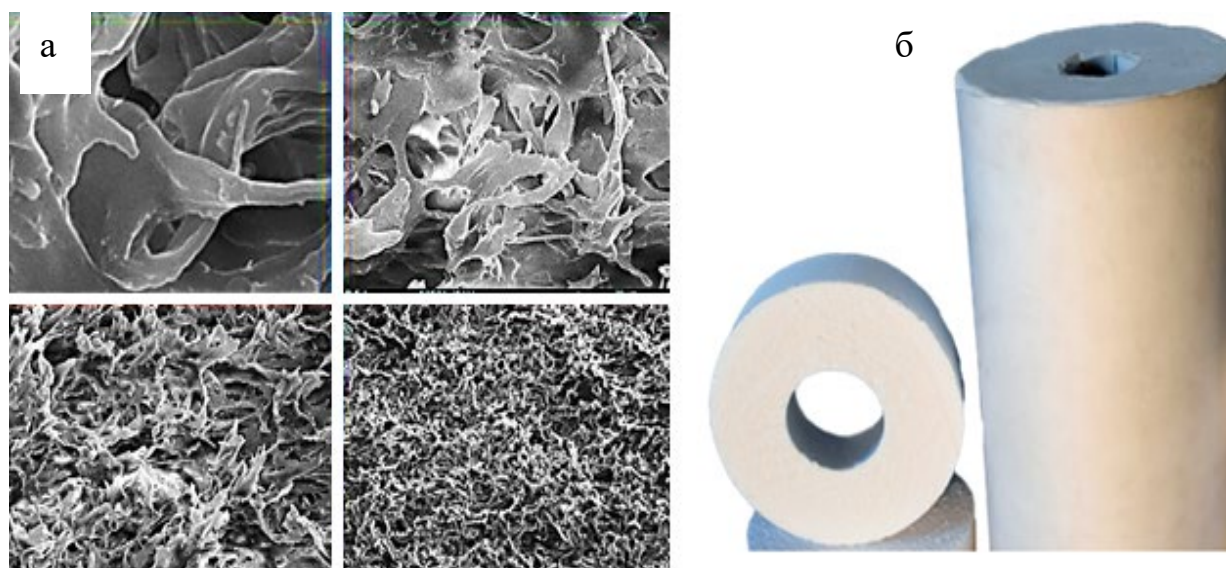


Рисунок 4.3 – Структура (а) при различном увеличении и внешний вид (б) пористого поливинилформаль

Пористый поливинилформаль – это полимерный материал. Как видно на рисунке 4.3 он имеет ячеистую структуру и обладает высокой влагопоглощающей способностью. Пористая структура позволяет ему поглощать влагу до 98% об. За

счет таких свойств поливинилформаль в полостях пористой трехмерной структуры накапливает влагу и коагулирует (укрупняет) капли воды. До взаимодействия с водой поливинилформаль имеет стекловидную, жесткую структуру, а при поглощении воды переходит в эластичное состояние. После высыхания приобретает исходную стеклообразную структуру.

Количество поглощенной воды можно определить как отношение масс до поглощения воды и с поглощенной водой:

$$K = n / m \quad (4.1),$$

где, n – масса поглощенной воды образцом, в граммах;

m – масса образца, в граммах;

K – коэффициент поглощающей способности.

Изменение свойств поливинилформалья при поглощении воды, и как следствие размеров, приводит к изменению гидравлического сопротивления, в зависимости от количества поглощённой воды. На этой основе построен принцип предлагаемого устройства (рис. 4.4).

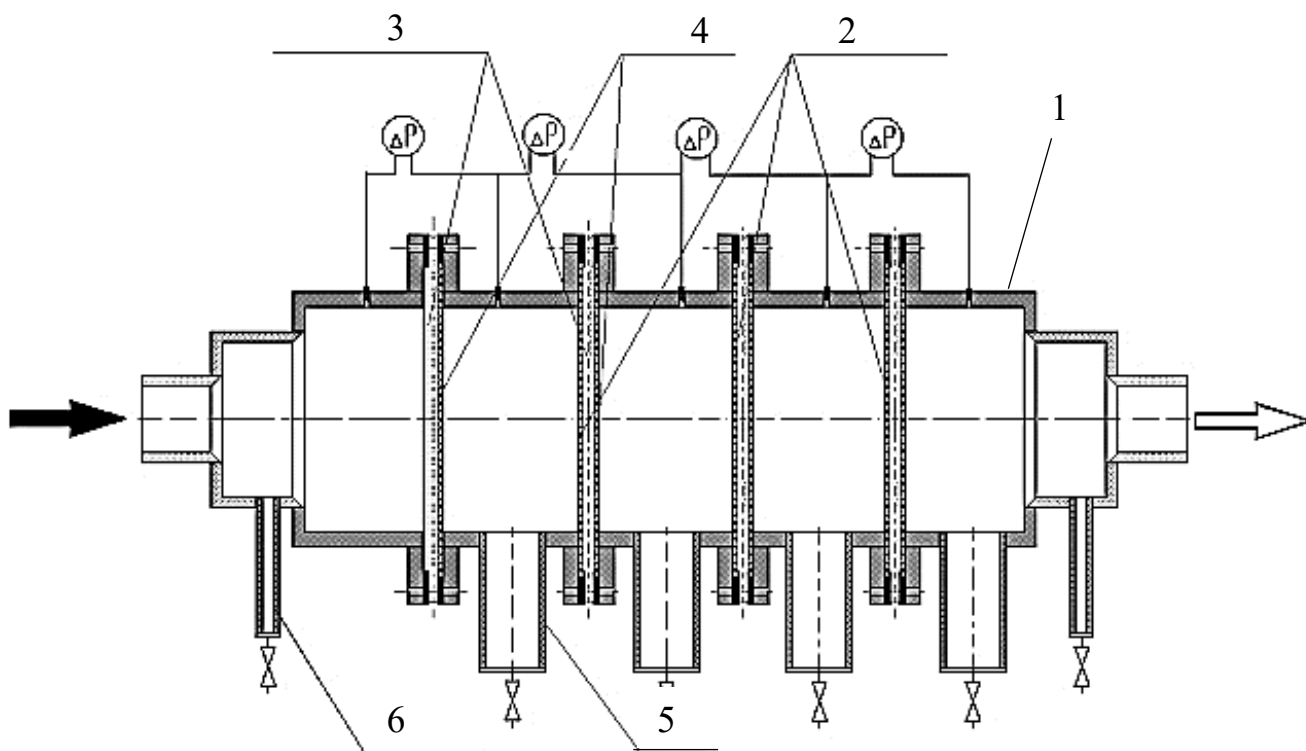


Рисунок 4.4 - Схема устройства определения и контроля количества воды в авиатопливе: 1 – корпус; 2 – сепаратор; 3 – коагулятор; 4 – опорная сетка; 5 – сливные отводы воды; 6 – отвод пробоотборника

Предлагаемое устройство определения количества воды в авиатопливе состоит из корпуса (1), выполненного из нержавеющей стали. В корпусе размещаются фильтры – сепараторы, состоящие из сепарирующей (2) и опорной (4) сеток и коагулятора (3) из пористого поливинилформала (рис. 4.4). Сепарирующая и опорная сетки соединяются между собой, а между ними зажимается коагулятор. В корпусе выполнены сливные отводы (5), а также предусмотрен пробоотборник (6). Пористые перегородки на корпусе устанавливаются с помощью узлов крепления, что позволяет производить их замену. Сетки могут быть выполнены из полимерных или металлических материалов плотностью 40...1300 г/м² и толщиной 1...80 мм, или полимерного нетканого материала.

Поток топлива проходит через несколько поочередно установленных водоотделяющих ячеек из поливинилформала, который задерживает капли воды, а авиатопливо проходит дальше. Как видно из рисунка 4.4 каждая такая ячейка является как-бы самостоятельным фильтром – сепаратором. Задержанные пористой перегородкой поливинилформала мелкие капли эмульгированной воды коагулируют, становятся крупными и под действием силы тяжести стекают вниз. Впитанную воду на таком сепарирующем фильтре отводят в водоотстойник. Так как после насыщения водой поливинилформаль увеличивается в размерах, то для ограничения пределов увеличения диаметров пористых каналов его помещают в каркас, выполненный из нетканого полотна. В результате насыщения водой происходит сужение пористых каналов поливинилформала, и как результат – повышению гидросопротивления потоку авиатоплива. Изменение давления потока авиатоплива фиксируется датчиками давления. Для замера перепада давления на ступени устройства датчики устанавливаются по обе ее стороны с фильтрами – сепараторами. Замеренный таким образом перепад давления передается в блок управления (рис. 4.5), где происходит определение гидравлического сопротивления, меняющегося с течением времени от количества поглощенной воды.

Таким образом, зная гидравлическое сопротивление установленных в устройство перегородок из поливинилформала от количества поглощенной ими

водой, можно с помощью математической зависимости определить количество воды в каждой перегородке, а значит и общее количество воды в авиатопливе за установленный промежуток времени.

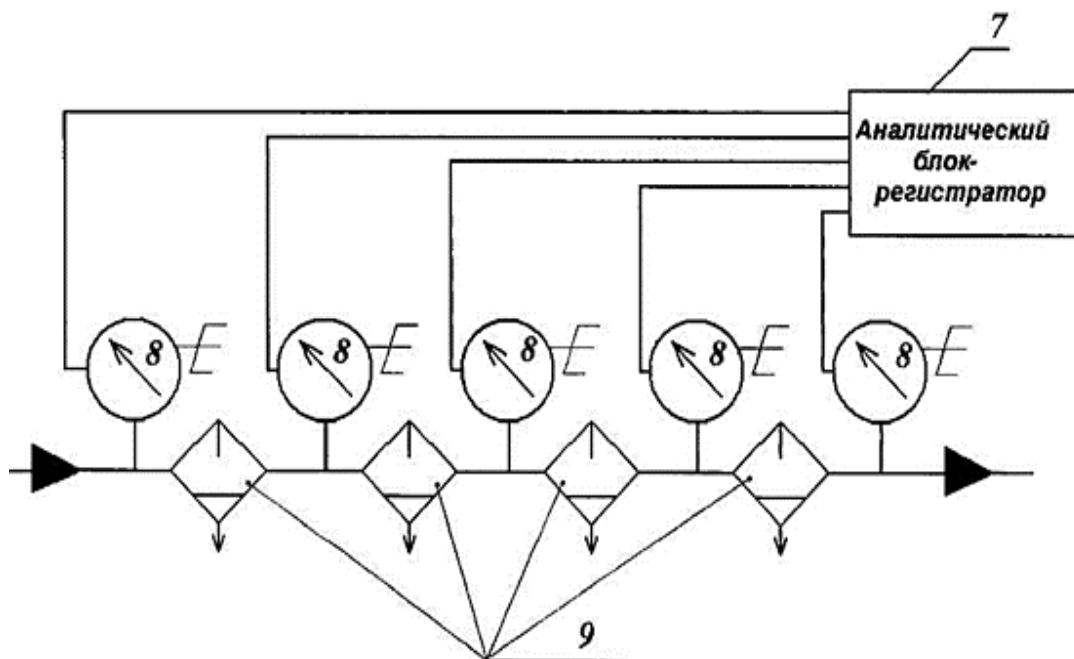


Рисунок 4.5 – Схема блока управления для вычисления гидравлического сопротивления

С целью определения процентного количества свободной воды в авиатопливе необходимо провести тарировку установленных датчиков давления. Для проведения тарировки датчиков подготавливают водотопливную эмульсию с установленным объемом воды в авиатопливе и ее процентным содержанием. Водотопливную эмульсию прокачивают через пары датчиков, установленных по обе стороны перегородок с фильтрами – сепараторами и определяют давления на этих датчиках. Таким образом, проведя измерение перепада давления на перегородке на текущий момент можно составить математический массив данных соотношения перепада давления от количества воды. После чего данный массив заносится в аналитический блок (рис.4.5) регистрации и уже в реальном времени сопоставляется с регистрируемым перепадом давления потока авиатоплива. Это с высокой точностью позволяет определять количество воды в непрерывном промежутке времени технологического процесса авиатопливообеспечения ВС.

Такой подход к определению количества воды в авиатопливе позволяет данным устройством определить и общее количество воды за установленный промежуток времени. Устройство позволяет определить общее количество воды в авиатопливе двумя способами. Первый – произвести суммирование всей воды, слитой в отстойниках и учесть воду, которая находится еще и в перегородке из поливинилформалия. Второй – после замера текущего перепада давления на каждой ступени за определенный промежуток времени сопоставить его с показаниями, полученными после тарировки датчиков.

Последовательно установленные перегородки (рис. 4.4) свидетельствуют о том, что большинства воды и механических загрязнений будут собираться на первой и с уменьшением на последующих перегородках, а значит на ней будет первым достигать предельное значение перепада давления. В этом случае аналитический блок – регистратор будет регистрировать сигнал, что перегородка работает в режиме коагуляции частиц воды. При достижении предельного перепада давления поток авиатоплива переключается на дублирующий фильтр водоотделитель. Заполненную водой перегородку можно заменить или произвести регенерацию. Регенерация свойств пористой перегородки происходит путем пропускания через нее потока авиатоплива, в котором нет эмульгированной воды. В этом случае имеющаяся в ступени устройства вода переходит в авиатопливо в молекулярном (растворенном) состоянии (ниже 0,001 % по массе). В результате будет происходить так называемая «осушка» перегородки. Такой процесс позволяет привести перегородку в исходное состояние для дальнейшего использования.

Использование предлагаемого устройства позволяет решать сразу несколько задач: определить количественный уровень обводненности потока авиатоплива в данный момент времени за счет измерения гидросопротивления установленных перегородок; выполнить очистку авиатоплива от воды; производить оценку состояния перегородок в каждый момент времени. Имея одно устройство позволяет упростить его техническое обслуживание.

Представленная на рисунке 4.5 схема аналитического блока управления может быть подсоединена к компьютеру с вводом в него математического массива данных перепада давления на пористых перегородках, что позволяет реализовать программный алгоритм и реализовать, таким образом, систему непрерывного мониторинга определения количества воды в авиатопливе (рис. 4.6).

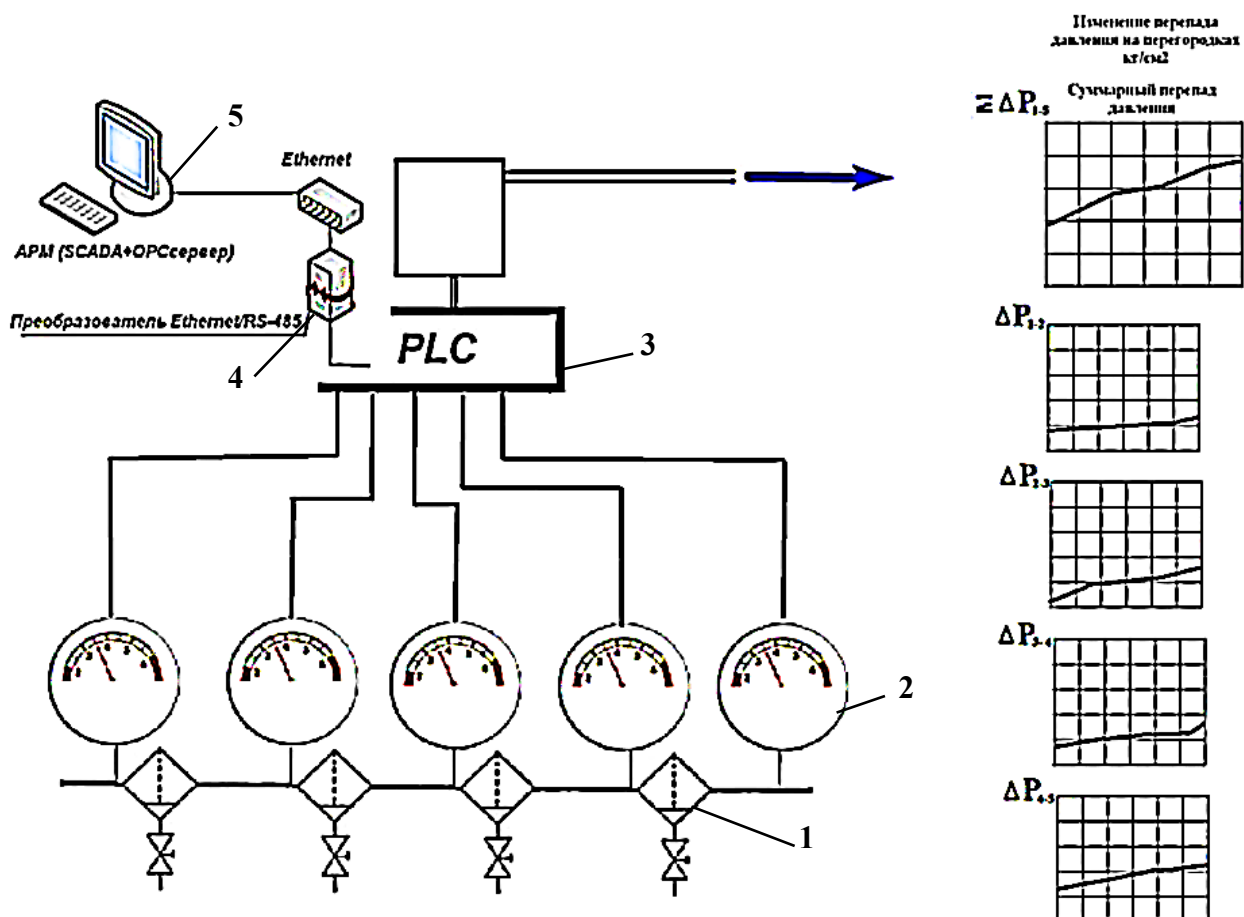


Рисунок 4.6 – Схема мониторинга определения количества воды в авиатопливе: 1 – водоотделитель; 2 – датчики давления; 3 – программный логистический контролер (PLC); 4 – преобразователь; 5 – компьютер

Функциональной задачей ТЗК при проведении процессов авиатопливообеспечения ВС является прием, хранение и заправка ВС. На этапах технологического процесса авиатопливообеспечения (рис. 2.3) и жизненного цикла авиатоплива (рис. 1.1) производится отбор проб для контроля наличия воды и механических примесей в авиатопливе. В работе проведен анализ возможной установки предлагаемого устройства в технологическую цепочку выполнения задач ТЗК (рис. 4.7)

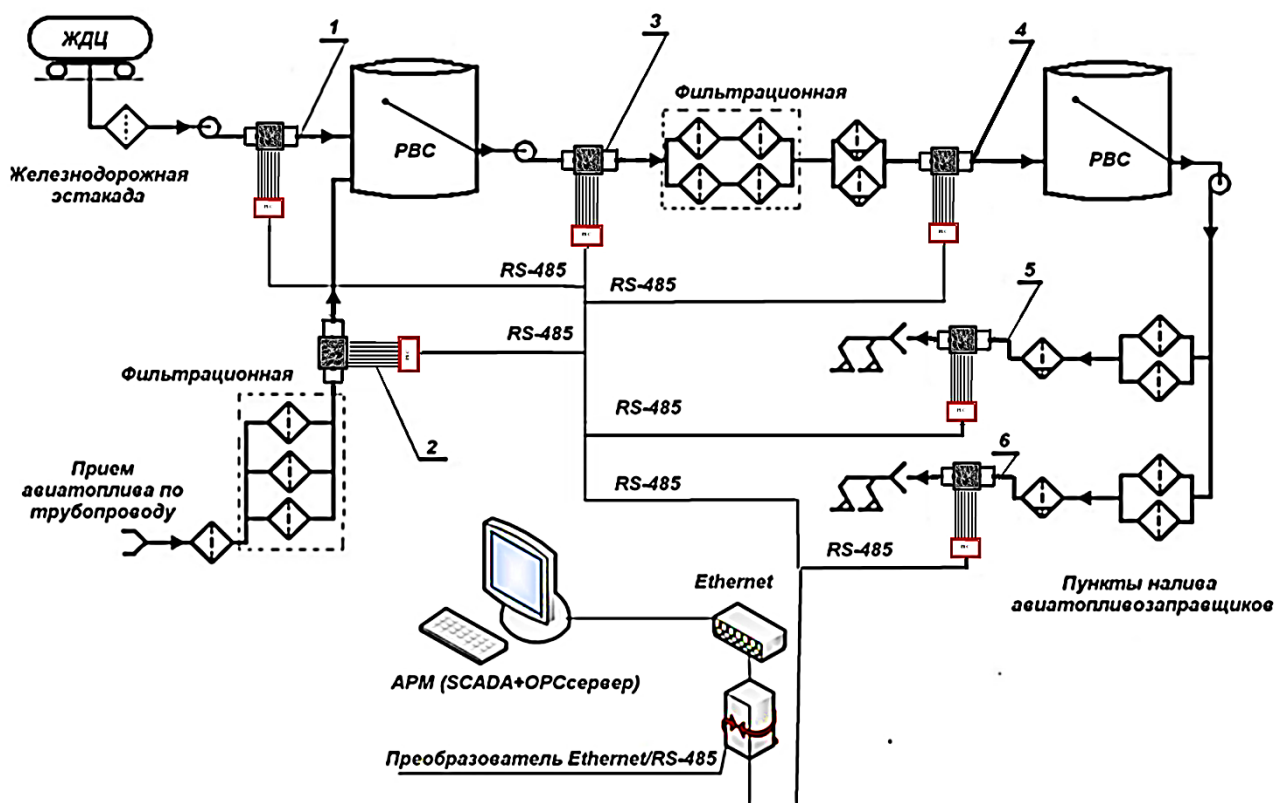


Рисунок 4.7 – Структурная схема установки системы контроля обводненности авиатоплива в технологической цепочке ТЗК: при приеме авиатоплива из ЖДЦ (1) и по трубопроводу (2); при внутри складских перекачках (3 и 4); при выдаче авиатоплива в средства заправки (5 и 6)

Включение предлагаемой системы контроля обводненности авиатоплива дает возможность принимать решение о допуске авиатоплива к заправке ВС, на основе сведения о его кондиционности в режиме реального времени. Кроме определения обводненности авиатоплива в реальном режиме времени на других этапах технологического процесса, система позволяет определять эффективность применяемого оборудования и системы фильтрации авиатоплива, за счет сочетания с математической моделью состояния фильтроэлементов (глава 3). Применение информационно-управляющей системы в ТЗК дает возможность в онлайн режиме иметь объективные данные о кондиционности авиатоплива на всех этапах авиатопливообеспечения ВС.

Применение автоматизации и информативности в предлагаемой схеме дает возможность интегрировать данную систему в применяемые системы и серверы

в передовых аэропортах такие, как например: GroundStar (GS) – комплекс программных продуктов, автоматизирующих операционную деятельность аэропорта; RMS – Resource Management System - система управления ресурсами; AFMS-Aircraft Fueling Information System -информационная система для управления заправочными операциями ВС; CoTAS-Computer Terminal Automation System- для управления производственными процессами ТЗК.

Применение предлагаемой системы в работе ТЗК позволяет повысить степень применяемых технологических процессов авиатопливообеспечения ВС, снизить влияние на них человеческого фактора, сократить экономические потери ТЗК за счет снижения трудозатрат, повысить уровень как регулярности выполнения полетов, так и безопасности полетов за счет своевременного определения количества воды в авиатопливе.

Таким образом, разработанная в работе система мониторинга кондиционности авиатоплива позволяет осуществлять контроль наличия воды во всем потоке авиатоплива, в отличие от применяемых дискретных (ежесуточные, ежемесячные и т.д.) и точечных методов (отстойных зон, нижних точек), что не в полной мере обеспечивает заправку ВС кондиционным авиатопливом. Кроме того, система позволяет определять количество воды по двум показателям – весу и процентному содержанию. Применяемые же методы (глава 1) являются в основном визуальными и не имеют требуемой чувствительности, что является сугубо субъективным фактором при определении воды в авиатопливе.

Внедрение разработанной системы в ТЗК позволяет, в зависимости от определенного уровня обводненности авиатоплива, автоматически выбрать наиболее рациональный режим выполнения технологического процесса авиатопливообеспечения (сочетание времени отстаивания, обеспечения тонкости и ступенчатости фильтрации потока авиатоплива). Это обеспечивает экономическую эффективность и гибкость от рационального использования имеющегося оборудования.

Применение автоматизации в системе непрерывного мониторинга обводненности авиатоплива позволяет осуществлять функции диспетчеризации

и журналирования, что обеспечивает параметрическую регистрацию данных о контроле авиатоплива (самописец – аналог «черного ящика» на ВС). Такая информация может быть использована при расследовании инцидентов и происшествий, а также при решении возникающих коммерческих споров, причем за любой промежуток времени деятельности организации авиатопливообеспечения.

Использование в программном обеспечении системы дружественного интерфейса позволяет обеспечить ее интегрирование в применяемую платформу автоматизации деятельности ТЗК,

Таким образом, разработанная автоматизированная система контроля обводненности авиатоплива позволяет:

- обеспечить в реальном режиме времени количественный контроль обводненности всего потока авиатоплива;

- использовать как систему раннего предупреждения предельного обводнения авиатоплива и состояния фильтроэлементов;

- в автоматическом режиме выбрать рациональный алгоритм выполнения технологического процесса авиатопливообеспечения и снизить влияние на них человеческого фактора;

- реализовать функцию параметрического регистратора (самописца) и обеспечивает интеграцию в применяемую платформу автоматизации организации авиатопливообеспечения.

Разработанная система мониторинга обводненности авиатоплива защищена патентами [70, 71] и наиболее актуальна и эффективна при применении в условиях ТЗК с большим расходом авиатоплива и степенью автоматизации.

Применение автоматизированной системы контроля обводнения авиатоплива, обеспечит повышение качества управления процессами авиатопливообеспечения ВС, а интеграция и обмен данными в режиме реального времени со всеми системами АСУ ТП ТЗК, позволят принять своевременное

решение о допуске авиатоплива к заправке в ВС, на основе реальных данных о его кондиционности.

4.2 Расчет определения технологических потерь авиатоплива в процессе хранения

В процессе функциональной деятельности ТЗК при осуществлении технологического процесса авиатопливообеспечения ВС имеет место движение авиатоплива, связанное с опорожнением и заполнением резервуаров при приеме и выдаче авиатоплива на заправку ВС. В результате авиатопливо соприкасается с паровоздушной смесью (ПВС) и происходит два процесса: 1 – испарение авиатоплива и его унос, что приводит к его убыли, а значит экономическому ущербу организации; 2 – при соприкосновении с воздухом происходит его обводнение. Процесс обводненности авиатоплива рассмотрен выше. Более подробно остановимся на испарении и уносе авиатоплива в результате так называемых «малых и больших дыханий резервуаров».

Выброс паров авиатоплива во время таких дыханий приводит не только к потерям авиатоплива и связанное с этим экономические потери, но при этом происходит унос ценных легких фракций, что ухудшает качество авиатоплива. Кроме того, выброс авиатоплива увеличивает пожаровзрывоопасность резервуарного парка ТЗК.

На процесс испарения и уноса оказывают влияние и неоднократные перекачки авиатоплива из резервуара в резервуар. При заполнении резервуара авиатопливом происходит вытеснение ПВС, что приводит к выносу авиатоплива вместе с ней. При выдаче авиатоплива, например, заправку ВС происходит понижение давления в резервуаре и резервуар делает «вдох», что приводит к

заполнению над топливного пространства атмосферным воздухом, содержащим влагу. В дальнейшем поступившая в резервуар вместе с воздухом влага конденсируется на стенках резервуара, накапливается и попадает в авиатопливо, ухудшая его свойства.

В работе проведен анализ статистических данных потерь авиатоплива в ТЗК в результате «малых и больших дыханий резервуаров» (рис 4.8).

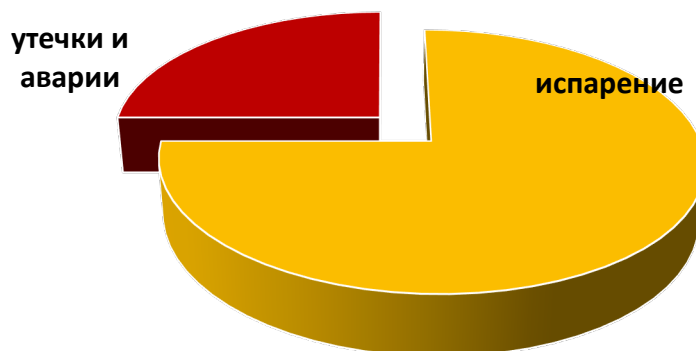


Рисунок 4.8 – Статистика потерь авиатоплива в ТЗК в результате «малых и больших дыханий резервуаров»

При «больших дыханиях» резервуара происходит сжатие ПВС в над топливном пространстве поступающим авиатопливом. При достижении предельного значения давления происходит срабатывание «дыхательного клапана» и ПВС выбрасывается в атмосферу. Данные потери зависят от: объема, заполненного авиатопливом; температуры окружающей среды и закачиваемого авиатоплива; концентрации паров авиатоплива в ПВС; давления в над топливном пространстве. Основная масса паров авиатоплива в над топливном пространстве образуется в процессе хранения и повышается по мере заполнения резервуара. По оценкам исследователей [7, 89, 103, 104] годовые потери могут составлять до 0,14 % от объема хранимого авиатоплива.

Потери авиатоплива возникают в процессе выполнения операций приема, хранения, отпуска авиатоплива на заправку ВС, выполнения работ на объектах ОАТО. Факт существования потерь авиатоплива является объективным в силу современного уровня технического оснащения объектов ОАТО, специфики

реализуемых на них технологических процессов и физико-химических свойств авиатоплива.

В государственных документах утверждены нормы естественной убыли авиатоплива при хранении [79] и перевозке [80]. В этих документах указано, что потери от «малых и больших дыханий» резервуаров относятся к естественной убыли.

Однако, нормативные технологические потери в ОАТО подлежат периодическому пересмотру, при регулярном их превышении, по результатам постоянного мониторинга, а также должны быть документально подтверждены адекватными методиками определения количественных значений этих потерь.

С целью разработки мероприятий по уменьшению потерь в процессе эксплуатации необходимо произвести их расчет.

Потери авиатоплива от испарения происходят при «малых и больших дыханиях» резервуаров. Величина потерь авиатоплива при «большом дыхании» резервуаров зависит от объема поступающего авиатоплива в резервуар и вытесненной тем самым ПВС, а также температуры ПВС и окружающей среды. При «малом дыхании» резервуара, когда авиатопливо находится в резервуаре без движения, потери зависят от колебания среднесуточной температуры воздуха. В обоих случаях потери зависят от физико-химических свойств авиатоплива [7, 89, 103, 104].

Проведем расчет потерь при «большом дыхании» резервуара. Сущность метода расчета состоит в определении объема авиатоплива, поступающего в резервуар, за мере температуры и объема концентрации ПВС, находящейся надтопливном пространстве и в определении выбросов из резервуара и расчета массы этих выбросов.

Проведем расчет потерь авиатоплива на примере ЗАО «Топливо-заправочный сервис «Внуково» в период наиболее интенсивного выполнения полетов, а значит наибольшего движения авиатоплива, август месяц 2018 года.

Суммарные потери авиатоплива определяем по выражению:

$$P_{БД} = V_{БД} \times C_{МСП} \times 10^{-3} \quad (4.1),$$

где: $V_{\text{БД}}$ – объем потерь паров углеводородов в резервуаре от «большого дыхания» за отчетный период, м^3 ;

$C_{\text{МСП}}$ – средняя массовая концентрация паров углеводородов в выбросах ПВС за отчетный период, $\text{кг}/\text{м}^3$ (определяется по периодическим результатам измерения за отчетный период).

Величина объема потерь паров углеводородов $V_{\text{БД}}$ при «большом дыхании» определяется:

$$V_{\text{БД}} = (V_2 - V_1) \frac{T_2 + T_1}{2T_1} \quad (4.2),$$

где: V_1 – объем авиатоплива в приемном резервуаре до выполнения технологической операции его заполнения, м^3 ;

V_2 – объем авиатоплива в приемном резервуаре после выполнения технологической операции его заполнения, м^3 ;

T_2, T_1 – среднее арифметическое значение температуры газа пространства резервуара до и после выдоха большого дыхания, К.

Температуру переводим в К по выражению: $T(\text{К}) = (t(^{\circ}\text{C}) + 273,15)$, К.

Средняя массовая концентрация $C_{\text{МСП}}$ паров в выбросах ПВС определяется по выражению:

$$C_{\text{МСП}} = \frac{\sum C_{\text{М}}}{N} \quad (4.3),$$

где: $C_{\text{М}}$ – массовая концентрация паров углеводородов в выходящей из резервуара ПВС, $\text{кг}/\text{м}^3$;

N – число определений массовой концентрации паров углеводородов $C_{\text{М}}$ в выбросах ПВС из резервуара за отчетный период.

Массовая концентрация $C_{\text{М}}$ выходящей из резервуара ПВС определяется:

$$C_{\text{М}} = \frac{C_{\text{ОБ}} P_{\text{а}} M_{\text{ПАР}}}{R_0 T} \times 10^{-3} \quad (4.4),$$

где: $C_{\text{ОБ}}$ – объемная концентрация паров углеводородов в выходящей ПВС, об. доли;

R_0 – универсальная газовая постоянная, $R_0 = 8,3145 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} \text{К}$;

P_a – атмосферное давление, Па;

T – температура выходящей ПВС, К.

Объемная концентрация паров углеводородов $C_{\text{ОБ}}$ в выходящей ПВС определяется до и после дыхания и в трех точках измерения концентрации в выходящей ПВС,

Измерение концентрации паров осуществляется косвенным методом по концентрации кислорода в ПВС газоанализатором кислорода с последующим переводом объемной концентрации кислорода в объемную концентрацию паров углеводородов по формуле:

$$C_{\text{СН}} = (20,9 - C_{\text{O}_2})/0,209 \quad (4.5),$$

где: $C_{\text{СН}}$ – объемная концентрация паров углеводородов, % об;

C_{O_2} – концентрации кислорода в ПВС, % об;

Температура ПВС T определяется в середине дыхания под кровлей резервуара или в патрубке замерного люка.

Атмосферное давление P_a принимается по результатам измерения или по данным метеосводки.

Молекулярная масса паров углеводородов $M_{\text{ПАР}}$ определяется по результатам хроматографического анализа паров или косвенным методом по температуре начала кипения углеводородов:

$$M_{\text{ПАР}} = 60 + 0,3(t_{\text{НК}} - 30) + 0,001(t_{\text{НК}} - 30)^2 \quad (4.6),$$

где: $t_{\text{НК}}$ – температура начала кипения углеводородов (для авиатоплива – 150 °С), °С.

Расчет потерь авиатоплива от «малых дыханий» резервуара также основан на расчетно-экспериментальном методе. Сущность его состоит в определении

объема газового объема пространства в резервуаре, изменении объема концентрации паров углеводородов в выбросах ПВС, измерении температуры в начале и конце дыхания и расчете массы выбросов паров авиатоплива с учетом их физических свойств.

Исходя из температуры авиатоплива и климатических условий для данного периода времени года, суммарные потери $\Pi_{\text{МД}}$ при простое резервуара можно определить по выражению:

$$\Pi_{\text{МД}} = T_{\text{ОПД}}(V_{\text{МД СР}} \times C_{\text{МСР}})10^{-3} \quad (4.7),$$

где: $V_{\text{МД СР}}$ – среднесуточное значение объема выброса ПВС от «малого дыхания» из резервуара за отчетный период, м³/сут.;

$T_{\text{ОПД}}$ – количество дней простоя в течении отчетного периода, сут.

Среднесуточное значение объема выброса ПВС от «малого дыхания» из резервуара ($V_{\text{МД СР}}$) за отчетный период определяется по формуле:

$$V_{\text{МД СР}} = \frac{V_{\text{ГП СР}}T_2}{T_1} - V_{\text{ГП СР}} \quad (4.8),$$

где: $V_{\text{ГП СР}}$ – средний объем газового пространства резервуара (рассчитывается до целых значений исходя из среднего значения объема газового пространства резервуара в течение отчетного периода во время простоя резервуара), м²;

T_2, T_1 – температура газового пространства резервуара до и после «малого» дыхания (определяется исходя из среднестатистических данных по результатам периодических измерений за отчетный период), К.

Объем газового пространства резервуара $V_{\text{ГП}}$ вычисляется как разница его геометрического объема (паспортные данные на резервуар) и его объема, заполненного авиатопливом по результатам измерения уровня (по градуировочной таблице на резервуар).

Среднее значение объемной концентрации C_{OB} паров авиатоплива в газовом пространстве резервуара определяется по результатам измерений объема концентрации паров углеводородов по высоте газового пространства в резервуаре.

Количественные значения фактических потерь авиакеросина по предложенной методике от испарения при «малых и больших дыханиях» резервуара с учетом периода времени представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Результаты расчетов потерь от испарения авиатоплива

№ п-п	Наименование потерь	январь 2018 года	март 2018 года	август 2018 года
1	Потери от испарений из резервуаров хранения, тонн	3,353	5,539	9,857
2	Потери от испарений из расходных резервуаров при «больших дыханиях», тонн	0,957	1,280	2,718
ИТОГО, тонн		4,31	6,819	12,575

Исходными данными при расчетах послужили проводимые замеры на предприятии (таб. 4.2). С использованием полученных замеров была проведена качественная оценка потерь авиатоплива за указанный период (месяц).

Проведенные расчеты показывают, что потери авиатоплива являются достаточно существенными и требуется проведение мероприятий или конструктивных решений, направленных на уменьшение потерь авиатоплива от испарения в процессе осуществления деятельности ТЗК.

Таблица 4.2. Исходные данные для расчета потерь при «дыхании» резервуаров

Период	Тип резервуара	Продукт	Атм. давление, Па	Температура окр. среду (утро)	Температура окр. среду (день)	Температура паров при БД, (утро)	Температура паров при БД, (день)	С _{об} , % (утро)	С _{об} , % (день)	Диаметр, мм	Вместимость, м ³	Высота резервуара, мм
15.08.18	PBC-1000	ТС-1	99323	18	25	22	24	0,81	0,93	38815	1080,5	9660
30.03.18	PBC-1000	ТС-1	98657	5	7	11,1	12,4	0,68	0,71	38841	1080,5	9050
30.01.18	PBC-1000	ТС-1	98258	-2	2	0,5	1	0,45	0,57	38841	1080,5	9050

4.3 Дыхательная система предотвращения обводненности авиатоплива и его потерь при хранении

При осуществлении процессов авиатопливообеспечения ВС таких как прием авиатоплива и его отстаивание, перекачка авиатоплива в процессе хранения, выдача на заправку, имеет место опорожнение и заполнение резервуарного парка ТЗК. Авиатопливо в процессе нахождения в резервуаре испаряется (особенно легкие фракции) и смешивается с паровоздушной смесью, а при заполнении резервуара вместе с паровоздушной смесью (ПВС) происходит его унос в атмосферу. Удельные потери от испарения легких фракций авиатоплива в процессе хранения и их выбросов в окружающую среду оценивается примерно 1,1...1,5 кг на тонну продукта [89, 103, 104]. При неоднократном заполнении или опорожнении резервуарного парка вместе с ПВС уносится большое количество авиатоплива, что приводит к экономическому ущербу в деятельности ТЗК. Загрязнение окружающей среды парами авиатоплива происходит как правило при опорожнении или заполнении резервуарных парков при так называемых "дыханиях" резервуаров. В процессе транспортировки авиатоплива от нефтезавода до непосредственного применения в ВС авиатопливо подвергаются нескольким перевалкам. В этот период происходит его потеря. При этом, как отмечают авторы работ [103, 104], 75 % потерь происходит от испарений и только 25 % — от аварий и утечек. Такой вывод подтверждается и проведенными расчетами на конкретном предприятии ОАТО потерь авиатоплива от «малых и больших дыханий» резервуаров (см. п. 4.2).

Как было отмечено выше, основным источником обводненности авиатоплива является влага, поступающая в резервуар при его опорожнении вместе с атмосферным воздухом. Т.е. для предотвращения обводненности авиатоплива необходимо исключить его контакт с атмосферным влажным воздухом.

При хранении авиатоплива в резервуарах выбросы ПВС в окружающую атмосферу происходит периодически. Они зависят от суточных колебаний температуры воздуха и связаны с закачкой и откачкой авиатоплива.

С целью уменьшения потерь в ТЗК применяют различные способы: тепловая защита резервуарного парка; конденсация паров; адсорбенты; плавающие крышки; наполнение резервуара инертным газом и т.д. Однако они имеют такой недостаток как односторонность защиты.

Известны и другие механические устройства для уменьшения потерь авиатоплива. Так в резервуар размещают устойчивой к нефтепродуктам металлополимерную камеру с выводом наружу воздухоотводного патрубка [72]. Камера по мере наполнения резервуара уменьшается в объеме. Устройство также имеет сборник водного раствора поваренной соли и водяной насос, соединенные между собой трубой.

Применяют дыхательную систему для резервуара [73], которая состоит из конденсатора с газосборником в виде адсорбера с гранулами собирающего вещества. Кроме того, устанавливают теплообменник для сушки воздуха.

Авторы [74] предлагают использовать установку для улавливания паров нефтепродуктов. В качестве такой установки используется дополнительный резервуар, где паровоздушная смесь с углеводородами охлаждается в теплообменнике и переходит в жидкое состояние.

Установку с дополнительным резервуаром и их охлаждением для улавливания паров нефтепродуктов при их хранении в вертикальных резервуарах предлагают авторы [75].

Однако предлагаемые устройства достаточно сложны конструктивно и в основном нацелены на улавливание ПВС. Кроме того, при их установке в ТЗК потребуется доработка имеющегося резервуарного парка.

Анализ работы резервуаров при «больших и малых дыханиях» показывает, что для снижения обводненности авиатоплива и его потерь при уносе целесообразно производить «подготовку» (осушку) атмосферного воздуха до его подачи в резервуар. На рисунке 4.9 представлена схема дыхательной системы

резервуара для уменьшения потерь авиатоплива при хранении и снижения его обводненности.

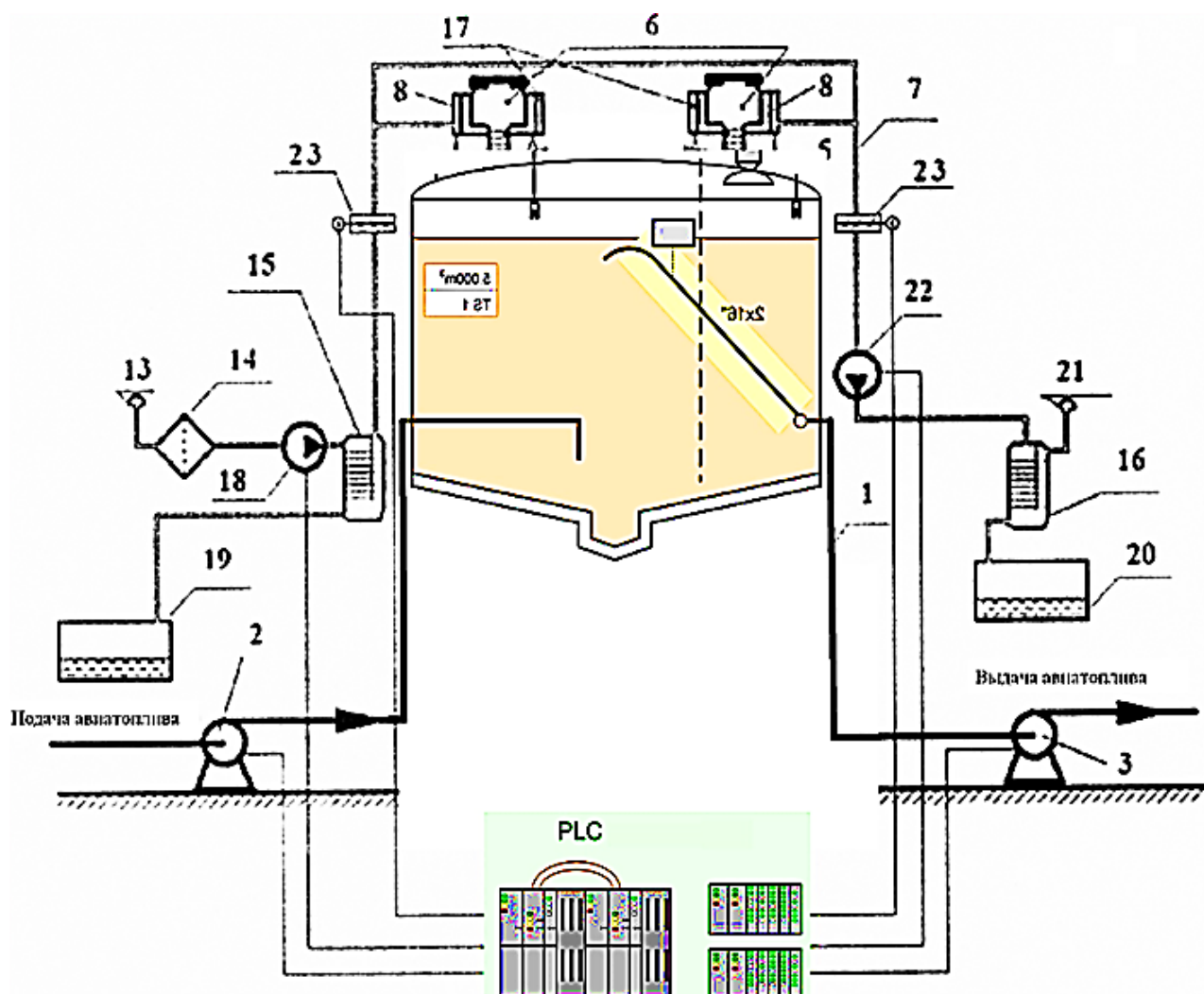


Рисунок 4.9 – Схема дыхательной системы резервуара: 1 – резервуар; 2 и 3 – насосы; 4 – блок управления; 5 – купол; 6 – дыхательный клапан; 7 – воздуховод; 8 – кольцевой воздуховод; 9 – внутренняя обечайка; 10 – наружная обечайка; 11 – щели; 12 – кольцевая полость; 13 – забор атмосферного воздуха; 14 – фильтр-пылесборник; 15 и 16 – холодильник-конденсатор; 17 – «атмосферный зазор»; 18 – подающий насос; 19 – цистерна сбора атмосферной влаги; 20 – цистерна для конденсата паров; 21 – трубка; 22 – откачивающий воздушный насос; 23 – электропривод заслонки; 24 – основание

С целью уменьшения потерь авиатоплива от испарения и снижения степени обводненности авиатоплива в работе предложена дыхательная система,

которая забирает воздух на определенном расстоянии от резервуара, осуществляет его очистку от влаги и подает в резервуар. В результате в резервуаре из осушенного воздуха создается так называемый «атмосферный зазор» между дыхательным клапаном и кольцевым воздухопроводом, на котором имеются специальные щели. Забор атмосферного воздуха производится через воздухопровод и пропускается через холодильник – конденсатор влаги.

Разработанная в работе дыхательная система монтируется на резервуаре 1 (рис. 4.9). В нижней части корпуса резервуара 1 установлены средства подачи и выдачи авиатоплива с помощью насосов 2 и 3. Насосы управляются с помощью блока управления 4.

На верхней куполообразной 5 части резервуара 1 устанавливается дыхательный клапан 6 (типа КДС2-1500/250). В зависимости от объема резервуара их можно устанавливать несколько. На представленной схеме (рис. 4.9) установлены два клапана. Дыхательный клапан предназначен для регулирования давления в надтопливном пространстве и обеспечения герметизации резервуара. Данный клапан может работать в режиме впуска воздуха (при выдаче авиатоплива) и выпуска ПВС (при заполнении резервуара), для чего к нему подведена система отвода ПВС и подвода атмосферного воздуха, выполненная в виде единого воздуховода 8 (рис. 4.9). Воздуховод 8 состоит из двух обечаек 9 и 10, которые располагаются концентрично и образуют соответственно внутреннюю и внешнюю стенки воздуховода. Для образования «атмосферного зазора» 17 дыхательный клапан 6 с внутренней обечайкой 9 устанавливают с зазором. Забор атмосферного воздуха 13 сообщается с полостью воздуховода через фильтр – пылесборник 14 и холодильники – конденсаторы влаги воздуха 15 и ПВС 16. Для удаления отобранной из воздуха влаги воздухопровод 8 устанавливают с зазором по отношению купола 5, которая стекает по конусообразному скату.

В воздуховоде 7 устанавливают насос 18 для подачи или отвода воздуха. Управление насосом 18 производится из блока управления 4 (PLC) с

одновременным включением насоса 2 при подаче авиатоплива или насоса 3 при выдаче авиатоплива.

Атмосферный воздух через средство забора 13 по кольцевому воздухопроводу 8 поступает в холодильник – конденсатор 15, где происходит его «осушка». Конденсат отводится в цистерну 19 для сбора влаги, а воздух далее через «атмосферный зазор» 17 поступает к дыхательному клапану 6 и далее в резервуар 1.

Таким образом, предлагаемая система подготовки воздуха будет работать следующим образом (рис. 4.9 и 4.10). При выдаче авиатоплива по команде блока управления 4 включается насос 3 и одновременно нагнетающий воздух насос 18, происходит забор воздуха, который очищается от пыли за счет прохода через фильтр – пылесборник 14, а в холодильнике – конденсаторе 14 происходит его сушка от влаги. Далее воздух поступает в кольцевую полость 12 воздухопровода 9 и через специальные щели по обечайке через дыхательный клапан 6 в резервуар 1. С целью компенсации возможных потерь разработанная система производит нагнетание воздуха с некоторым избытком до 10 %. Так как при выдаче авиатоплива, или наполнении резервуара, в резервуаре работают сообщающиеся объемы авиатопливо – ПВС, то необходимый расход воздуха определяется на основании показаний расходомеров, установленных на насосе 2 или 3 соответственно.

При заполнении резервуара авиатопливом система будет работать следующим образом. По команде блока управления 4 происходит включение насоса 2 и одновременно отсасывающего насоса 22. Авиатопливо начинает поступать в резервуар 1 и вытеснять ПВС. Вытесненная ПВС через дыхательный клапан 6 попадает в полость «атмосферного зазора» 17 и далее через специальные щели 11 в по обечайке 9 в воздухопровод 8. Откачивающийся насос 22 засасывает ПВС в полость 12 и далее по воздухопроводу 7 направляет в холодильник – конденсатор 16, в котором происходит конденсация ПВС. Образовавшийся из ПВС конденсат поступает в цистерну 20, а очищенный от легких фракций авиатоплива воздух через трубку 21 отводится в атмосферу.

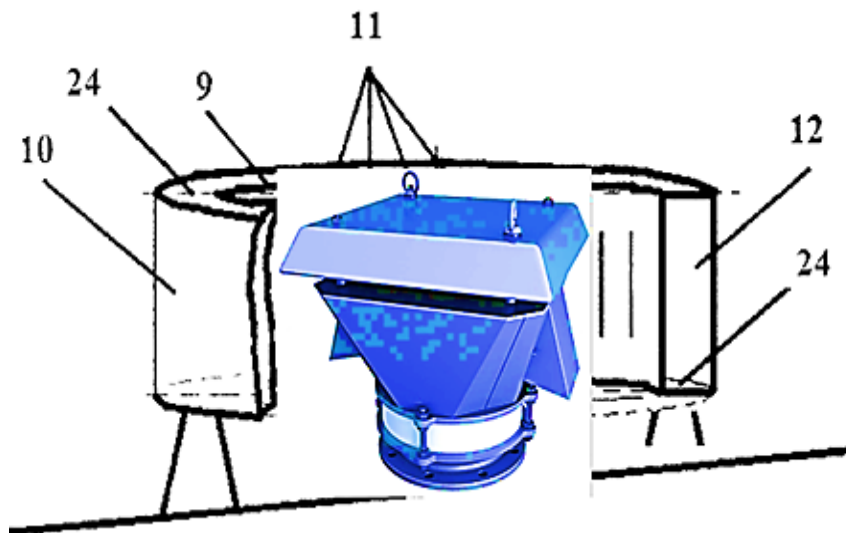


Рисунок 4.10 – Схема устройства подвода – отвода воздуха в кольцевом воздуховоде: 9 – внутренняя обечайка; 10 – наружная обечайка; 11 – щели; 12 – кольцевая полость; 24 – основание

С целью исключения обратного перетока воздуха в процессе работы системы (смена режимов работы – закачка или выдача авиатоплива), т.е. какой насос работает – подающий воздух 18 или откачивающий 22, в воздуховод 7 устанавливают воздушные заслонки 23 до и после дыхательного клапана 6. Например, могут быть установлены применяемые в ТЗК воздушные заслонки АЗД 214.000. Установленные до и после дыхательного клапана заслонки 23 работают в диаметрально – симметричном режиме – т.е. открытие одной происходит с одновременным закрытием другой. Команды на открытие или закрытие заслонок поступают с блока управления 4 в зависимости от того какой насос включен – отсасывающий 22 или подающий 18, т.е. наполняем резервуар авиатопливом или опорожняем его. В зависимости от этого обеспечивается проход воздуха по той ветви воздуховода 7, которую необходимо использовать при выдаче авиатоплива или его поступлении в резервуар 1, а другая заслонка при неиспользовании закрыта. В процессе хранения авиатоплива, когда не производится закачка или выдача авиатоплива (состояние покоя) с целью исключения неконтролируемого перетока воздуха по воздуховоду 17, обе заслонки 23 находятся в закрытом состоянии.

«Атмосферный зазор» между дыхательным клапаном и кольцевым воздухопроводом предназначен для исключения бесперебойной работы дыхательного клапана в случае возникновения нештатной ситуации – отключение электропитания, возникновение неисправности и т.д. В этом случае атмосферный воздух будет поступать к дыхательному клапану минуя разработанную дыхательную систему. Т.е. в процессе эксплуатации предлагаемой дыхательной системы не требуется дополнительного технического обслуживания со стороны персонала ТЗК. Если отключение дыхательного клапана произошло из-за отсутствия электроэнергии, то при подаче питания система автоматически возобновит работу.

Таким образом, предлагаемая дыхательная система позволяет решить вопросы: снижения степени обводненности авиатоплива в процессе «малых и больших дыханиях» резервуара; сократить потери авиатоплива при его испарении в процессе хранения; снизить степень загрязнения окружающей среды. Уменьшение степени обводненности авиатоплива и исключение испарения его легких фракций позволяет сохранить как качественный, так и количественный его состав. Применение разработанной системы в ТЗК снижает риск пожаровзрывобезопасности объектов ОАТО за счет уменьшения вредных выбросов.

Выводы по главе 4

1. Разработано устройство определения количества воды в авиатопливе, позволяющее с высокой степенью точности проводить контроль воды во всем объеме авиатоплива.

2. На основании разработанного устройства определения обводненности авиатоплива предложен способ непрерывного контроля количества воды в авиатопливе и в зависимости от степени его обводненности в автоматическом режиме выбрать алгоритм и стратегию, процессов авиатопливообеспечения, использовать правильное сочетание времени отстаивания, тонкости и ступенчатости фильтрации.

3. Проведен расчет потерь авиатоплива в процессе деятельности организации ОАТО при «больших и малых дыханиях» резервуаров, что позволяет принимать решение по сокращению естественной убыли авиатоплива.

4. Разработана дыхательная система, позволяющая снизить степень обводненности авиатоплива, его убыль в процессе деятельности ТЗК, а также снизить количество вредных выбросов в окружающую среду.

Заключение

В результате проведенного исследования научно обосновано технологическое и техническое решение мониторинга количества воды в авиатопливе, с применением автоматизированной системы, позволяющее с высокой степенью точности проводить контроль воды во всем объеме авиатоплива и обеспечивающее повышение безопасности полетов ВС. Получены следующие результаты исследования:

1. Проведен анализ существующих методов контроля наличия воды в авиатопливе и технологий очистки от свободной воды в процессе выполнения авиатопливообеспечения ВС, на основании которых установлена необходимость разработка и внедрение системы непрерывного автоматического мониторинга воды в авиатопливе, а также ее удаления.

2. Установлено влияние параметров обводненности авиатоплива на ресурс фильтроэлементов.

3. Разработана математическая модель предотвращения при предперонной заправке воздушного судна не кондиционным авиатопливом. Применение предлагаемой математической модели процесса работы фильтроэлемента в поле допусков, позволяет сформировать цифровым котроллером «барьерный» сигнал на прекращение выдачи авиатоплива или заправки им ВС, что позволит повысить вероятность непопадания воды вместе с авиатопливом в топливные баки ВС.

4. Проведен расчет потерь авиатоплива в процессе деятельности организации ОАТО при «больших и малых дыханиях» резервуаров, что позволяет принимать решение по сокращению естественной убыли авиатоплива.

5. Разработана дыхательная система, позволяющая снизить степень обводненности авиатоплива, его убыль в процессе деятельности ТЗК, а также снизить количество вредных выбросов в окружающую среду.

6. Теоретически обосновано и разработано устройство определения фактического содержания свободной воды в авиатопливе в реальном режиме времени.

7. На основании разработанного устройства определения обводненности авиатоплива предложен способ непрерывного контроля количества воды в авиатопливе и в зависимости от степени его обводненности в автоматическом режиме выбрать алгоритм и стратегию, процессов авиатопливообеспечения, использовать правильное сочетание времени отстаивания, тонкости и ступенчатости фильтрации.

Полученные результаты позволяют проводить дальнейшее совершенствование системы подготовки и контроля авиатоплива в ОАТО при осуществлении технологического процесса авиатопливообеспечения ВС.

Список сокращений

АТЗ – аэродромный топливозаправщик.

ВС – воздушное судно.

ГА – гражданская авиация.

ГСМ – горюче-смазочные материалы.

ИАТА – международная ассоциация воздушного транспорта.

ИКАО – международная организация гражданской авиации.

ИИС – информационно измерительная система.

ИУС – информационно-управляющая система.

ИКТ – индикатор качества топлива.

МАУ – московский авиационный узел.

НТД – нормативно техническая документация.

ОАТО – организация авиатопливообеспечения.

ПОЗ-Т – приспособление для определения загрязненности авиационного топлива.

ТЗК – топливозаправочный комплекс.

ГТД – газотурбинный двигатель.

ТУ – технические условия.

ФВГ – фильтр водоотделитель.

ФЭ – фильтроэлемент.

ЭС – элемент сепарирующий.

ЭФК – элементы фильтрующие коагулирующие

Список литературы

1. **Авиационные** происшествия, инциденты и авиакатастрофы в СССР и России [Электронный ресурс]: airdisaster.ru, 2010–2021. — Режим доступа: <http://www.airdisaster.ru> — 23.03.2021,
2. **Авиационные** тренажеры модульной архитектуры [Текст]: моногр. / А.М. Данилов [и др.]; под ред. Э. В. Лапшина, проф. А.М. Данилова – Пенза: ИИЦ ПГУ, 2005. – 146 с.
3. **Александровская, Л. Н.** Безопасность и надежность технических систем / Л. Н. Александровская, И. З. Аронов, В. И. Круглов [и др.]. – М.: Логос, 2008– 186 с.
4. **Антипова, И.А.** Дискриминантное множество системы n полиномов Лорана от n переменных / И.А. Антипова, А.К. Цих // Сер. матем. — 2012. — Т. 76, № 5. — С. 29-56.
5. **Балашов, И. А.** Методические рекомендации по анализу качества горюче-смазочных материалов в гражданской авиации / И. А. Балашов, Л. В. Ковба и др. – М.: Воздушный транспорт, 1987 – 169 с.
6. **Бойченко, С. В.** Моторные топлива и масла для современной техники. / Бойченко С. В., Иванов С. В., Бурлака В. Г. / — К.: НАУ, 2005. — 216 с
7. **Бойченко, С. В.** Потери углеводов в ходе технологических процессов переработки, транспортировки, хранения и заправки / С. В. Бойченко, Л. А. Федорович, Л. Н. Черняк, С. В. Вдовенко, Ю. А. Кальницкая // – М.: Нефть и газ. — 2006.-№ 3.- С. 90–94.
8. **Братков, А. А.** Химмотология ракетных и реактивных топлив/ А. А. Братков, Е. П. Серегин, А. Ф. Горенков и др. – М.: Химия, 1987. – 304 с.
9. **Браилко, А. А.** Оценка остаточного ресурса фильтроэлементов / А. А. Браилко, А. В. Смутьский / Информационный сборник Ассоциации организаций

авиатопливообеспечения воздушных судов гражданской авиации. - 2013. - № 8. - С. 66-69.

10. **Браилко, А. А.** Метод непрерывного мониторинга чистоты авиатоплива в технологической схеме топливообеспечения воздушных судов: диссертация ... кандидата технических наук: 05.22.14 / А. А. Браилко. - Москва, 2017. - 134 с.

11. **Браилко, А. А.** Исследование рабочей зоны средств очистки авиатоплива при выполнении заправочных операций воздушных судов / А. А. Браилко, О. В. Громов, Г. И. Литинский, В. К. Громов – М.: Научный вестник МГТУ ГА. №24(4): 2021. С. 20-27. <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2021-24-4-20-27>

12. **Бродский, Г. С.** Фильтры и системы фильтрации для мобильных машин. / Г. С. Бродский /– М.: Горная Промышленность, 2004, – 359 с.

13. Введение в общие цепи Маркова. Авторы: Зорин А.В., Зорин В.А., Пройдакова Е.В., Федоткин М.А.: Учебно-методическое пособие — Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2013. — 51 с.

14. **Гаджиева, М. А.** Грибы – разрушители реактивных топлив и методы защиты их / М. А. Гаджиева, Джафаров А. А., Керимова А.М. // Химические средства защиты от биокоррозии: тезисы докладов. Уфа, 1980, Ч.1. С. 136...137.

15. **Гарипов, А. А.** Сравнение гидравлических характеристик фильтроэлементов современных летательных аппаратов / Гарипов А. А. Тук Д. Е. Целищев В. А. / сб. докл. IX науч.-техн. конф. «Инновация, экология и ресурсосберегающие технологии на предприятиях машиностроения, авиастроения, транспорта и сельского хозяйства» ИнЭрт-2010 / - Ростов-на Дону, ДГТУ., 2010, С.147–158.

16. **Гарипов, А. А.** Исследование течения жидкости в фильтроэлементах с объемным принципом фильтрации // А. А. Гарипов, Д. Е. Тук, В. А. Целищев/ Вестник УГАТУ: Научный журнал Уфимского авиационного технического университета. УГАТУ. – Уфа: РИК УГАТУ, 2011. – Т. 15, № 4 (44). – С. 159-163

17. **Гишваров, А. С.** Эксплуатационная надежность топливных систем воздушных судов / А.С. Гишваров / учеб. пособие / – Уфа: УГАТУ, 2008., – 298 с.

18. **Горожин, А. В.** Отдельные аспекты результатов исследования образцов авиатоплива, отобранных в связи с инцидентами с воздушными судами / А. В. Горожин, Л. В. Ковба, О. Б. Азжеурова, Н. В. Морозова, Н. П. Кондукова / – М.: Научный вестник ГосНИИ ГА. 2018. № 21. С. 70-82.

19. **ГОСТ 2477-2014.** Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды. – М.: Стандартинформ, 2014. – 8 с.

20. **ГОСТ 10227-86.** Топлива для реактивных двигателей. Технические условия. (введен в 1986 г., с изм. 2012 г.) – М.: Стандартинформ, 2012. – 15 с.

21. **ГОСТ Р 50559-93.** Промышленная чистота. Общие требования к поставке, транспортированию, хранению и заправке жидких рабочих сред. / Промышленная чистота: Сб. ГОСТов /. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 5 с.

22. **ГОСТ 28912-91.** Фильтры складские и фильтры сепараторы. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2005. – 19 с.

23. **ГОСТ Р 54281-2010.** Нефтепродукты, смазочные масла и присадки. Метод определения воды кулонометрическим титрованием по Карлу Фишеру. – М.: Стандартинформ, 2010. – 11 с.

24. **ГОСТ Р 52906-2008.** Оборудование авиатопливообеспечения. Общие технические требования. – М.: Стандартинформ, 2008. – 41 с.

25. **ГОСТ 32595-2013.** Топливо авиационное для газотурбинных двигателей Джет А-1 (JET А-1). Технические условия. (введен в действие 01.01.2015 г.). – М.: Стандартинформ, 2014. – 14 с.

26. **ГОСТ 10577-78.** Нефтепродукты. Метод определения содержания механических примесей. – М.: ИПК. Издательство стандартов, 1978. – 7 с.

27. **ГОСТ 2517 2012.** Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб. – М.: Стандартинформ, 2013. – 31 с.

28. **ГОСТ Р 18.12.03 2018.** Технологии авиатопливообеспечения. Средства фильтрации авиатопливообеспечения. Общие технические требования. – М.: Стандартиформ, 2018. – 27 с.

29. **Грядунов К. И.** Химмотология авиационных горюче-смазочных материалов. Тексты лекций [Текст] / К. И. Грядунов. – М: ИД Академии Жуковского, 2021. – 184 с.

30. **Грядунов, К. И.** Химмотология и контроль качества ГСМ. Авиационные топлива: учеб.-метод. пособие. / К. И. Грядунов, Т. М. Маслова. – М.: ООО «МИР», 2019. 56 с.

31. **Гуреев, А. А.** Химмотология / А. А. Гуреев, И. Г. Фукс, В. Л. Лашхи. – М.; «Химия», 1986, 368 с.

32. **Дабига, О. Н.** Современные методы определения примесей воды в авиационном топливе. Нефть и газ Западной Сибири. Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 55-летию Тюменского государственного нефтегазового университета. Тюмень 19-20 октября 2011.

33. **Данилов, А. М.** Интерполяция, аппроксимация, оптимизация: анализ и синтез сложных систем: моногр. / А.М. Данилов, И.А. Гарькина. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 168 с

34. **Дружинин, Н. А.** Устройство непрерывного мониторинга чистоты авиатоплива в технологической схеме топливообеспечения воздушных судов. / А. А. Браилко, Н. А. Дружинин, В. М. Самойленко. – М.: Научный вестник МГТУ ГА. – Том 20, № 06, 2017, С. 44...53.

35. **Дружинин, Н. А.** Цифровые технологии – база цифровой экономики топливозаправочных комплексов аэропортов гражданской авиации / А. А. Браилко, О. В. Громов, Н. А. Дружинин. – М.: Научный вестник МГТУ ГА. – Том 23, №04, 2020, стр. 20...32.

36. **Дубовкин, Н. Ф.** Топлива для воздушно-реактивных двигателей [Текст] / Н.Ф. Дубовкин [и др.]. – М.: ИРЦ. МАТИ, 2001. – С. 465.

37. **Дубовкин, Н. Ф.** Физико-химические и эксплуатационные свойства реактивных топлив. / Н. Ф. Дубовкин, В. Г. Маланичева, Ю. П. Массур, Е. П. Федоров – М.: Химия, 1985. – 240 с.

38. **Дьёденноне, Ж., Керрол, Дж., Мамфорд, Д.** Геометрическая теория инвариантов. — М.: Мир, 1974. — 278 с.

39. **Единые** нормы летной годности гражданских транспортных самолетов стран - членов СЭВ (ЕНЛГ – С). – М.: ЦАГИ, 1985. – 470 с.

40. **Иванова, Н. В.** Электрообезвоживание авиационных топлив / Н. В. Иванова, Ю. Ф. Кайзер, А. В. Лысянников // Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса: материалы IV Международной научно-практической конференции, г. Новокузнецк, 27-29 ноября 2014 г. – Новокузнецк: филиал КузГТУ в г. Новокузнецке, 2014. – С. 395-399.

41. **Ильин В.А., Позняк Э.Г.** Основы математического анализа: В 2-х ч. Часть II. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 464 с.

42. **Каблов, В.Ф.** Химия полимеров [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / Сост. В.Ф. Каблов, О.М. Новопольцева, Н.А. Соколова, В.Г. Кочетков; ВПИ (филиал) ВолгГТУ. – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 898 КБ). – Волгоград, 2017. - Режим доступа: <http://lib.volpi.ru>.

43. **Кайзер Ю. Ф.** Мобильные средства заправки воздушных судов авиационными горюче-смазочными материалами: учеб. пособие / Ю. Ф. Кайзер, В. Н. Подвезенный, Р. Б. Желукевич, А. В. Лысянников [и др.]. 2-е изд., перераб. и доп. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2012. 346 с.

44. **Катастрофа** самолета Ан-124 «Руслан» [Электронный ресурс] / Информационный портал «Грот»: dark grot. ru, 2006. — Режим доступа: <http://www.darkgrot.ru/cult/momento-mori/aviakatastrofi-/article/>

45. **Каук, В. В.** Анализ качества горючего. метод. пособие /В. В. Каут и др. – М.: Б. изд. 2008. - 696 с.

46. **Кельберт, М. Я., Сухов Ю. М.** Вероятность и статистика в примерах и задачах. Т. II: Марковские цепи как отправная точка теории случайных

процессов и их приложения. — М.: МЦНМО, 2010. — 295 с. — ISBN 978-5-94057-252-7.

47. **Кирсанов, Ю. Г.** Анализ нефти и нефтепродуктов: [учеб.-метод. пособие] / Ю. Г. Кирсанов, М. Г. Шишов, А. П. Коняева; [науч. ред. О. А. Белоусова]; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. — 88 с.

48. **Кириш, А. А.** Фильтрация аэрозолей волокнистыми материалами ФП /А. А. Кириш, А. К. Будыка, В. А. Кириш/ журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева. — 2008, т. LII, № 5. С. 97-102.

49. **Ключарев, Л. Г.** Чистота авиационных топлив, масел и специальных жидкостей и ее контроль: [Учеб. пособие] / Л. Г. Ключарев. - Куйбышев: КуАИ, 1983. - 74 с.

50. **Коняев, Е. А.** Эксплуатационные свойства авиационных горюче-смазочных материалов [Текст] учебное пособие /Е. А. Коняев, К. И. Грядунов/. — М.: МГТУ ГА, 2013, 77 с.

51. **Коняев, Е. А.** Химмотология и контроль качества ГСМ: пособие по изучению дисциплины и выполнению контрольных заданий. /Е. А. Коняев, М. Л. Немчиков - М.: МГТУ ГА, 2015. - 32 с.

52. **Козлов, А. Н.** Технологические процессы авиатопливообеспечения (топливообеспечения). — Учебное пособие. / А. Н. Козлов, А. Н. Тимошенко — М.: МГТУ ГА, 2017. — 72 с.

53. **Котенко, Н. П.** Практикум по химии и физике полимеров / Н.П. Котенко, Н.Л. Игнатенко, В.А. Клушин; Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. — Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2016. — 96 с.

54. **Кречко, А. В.** Совершенствование системы химмотологического обеспечения — необходимое условие повышения безотказности авиационной техники и безопасности полетов воздушных судов /А. В. Кречко, В. Н. Голубушкин, П. П. Мерцалов — М.: Сборник научных статей II-й Всероссийской научно-практической конференции. 2016, стр. 4-9. (г. Люберцы) ЦНИИ ВВС МО РФ.

55. **Лоран, П. Ж.** Аппроксимация и оптимизация. — М.: Мир, 1975. — С. 496.

56. **Магнус Я. Р., Катышев П. К., Пересецкий А. А.** Эконометрика. Начальный курс. — М.: Дело, 2007. — 504 с. — ISBN 978-5-7749-0473-0

57. **Марков, А. А.** Распространение закона больших чисел на величины, зависящие друг от друга. — Известия физико-математического общества при Казанском университете. — 2-я серия. — Том 15. (1906) — С. 135—156.

58. **Метод наименьших квадратов: метод. указания / сост.: Л. В. Коломиец, Н. Ю. Поникарова.** – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. – 32 с.

59. **Молодницкий, Р. Ю.** Расширение ассортимента технических средств очистки авиатоплива и экспресс контроля уровня его чистоты. /Р. Ю. Молодницкий, Н. С. Бородина, С. И. Поплетеев, Д. Л. Савин — М.: Научный вестник ГосНИИ ГА № 28, 2019. С 59 – 70.

60. **Никипелов, Ю. Г.** Авиационные топлива, смазочные материалы и специальные жидкости: Учебное пособие – Киев: КИИГА, 1986– 84–105 с.

61. **Николаев А.Ф., Крыжановский и др.** Технология полимерных материалов. С-Пб. «Профессия», 2008.- 534 с.

62. **Орешенков, А. В.** Накопление воды в реактивных топливах - математическое моделирование процесса. — М.: Химия и технология топлив и масел, 2004. 40 (5): С. 320...325.

63. **Патент SU №539587 A1**, МПК В01D 25/00, «Фильтр-сепаратор», Е. Н. Жулдыбин, К. В. Рыбаков, А. А. Лаврентьев, В. И. Зуев, С. В. Чайка, И. В. Брай Опубликовано от 25. 12. 1976.

64. **Патент SU №971415 A1**. МПК В01D 25/00, «Фильтр-сепаратор», Е. Н. Жулдыбин, К. В. Рыбаков, А. Н. Семерин, В. П. Коваленко Опубликовано от 07. 11. 1982.

65. **Патент SU №1057068 A1**. МПК В01D 25/00, «Фильтр-сепаратор», Е. Н. Жулдыбин, В. П. Коваленко, А. В. Насекайло, Л. В. Боярчук, И. Е. Шибрук Опубликовано от 30. 11. 1983.

66. Патент RU №2050928, МПК B01D 27/04 «Патронный фильтр», В. И. Левчук Опубликовано от 27. 12. 1995.

67. Патент WO 2012024013, МПК B60K 15/00, B60K 2015/03118, B60K 2015/0319, B60K 2015/03197, B60K 2015/0321, F02M 37/28, «Method and system for water drainage in a fuel system», Anderson, Larry, Gene SHEA, Dennis DANTULURI, Sivanaga, Venu Varma, Опубликовано от 23. 02. 2012.

68. Патент WO 2011027099, МПК G01N 21/41, G01N 21/84 , G01N 33/22 «WATER-IN-FUEL SENSOR», WEBB, David John, ZHANG, Chi, Опубликовано от 10. 03. 2011.

69. Патент SU 1814694, МПК F02B 77/00, F02B 3/06 «Устройство контроля обводненности дизельного топлива», А. Н. Карташевич, В. К. Кожушко Опубликовано от 07. 05. 1993.

70. Патент RU ПМ №122491. Устройство для определения содержания воды в углеводородном топливе или в воздухе. / А. А. Браилко, Н. А. Дружинин, А.В. Смутьский. Опубликовано от 27.11. 2012 г.

71. Патент RU №2502069. Способ определения содержания воды в углеводородном топливе и устройство для его осуществления. /А. А. Браилко, Н. А. Дружинин, А. В. Смутьский. Опубликовано от 20.12. 2013 г.

72. Патент RU №2328430, РФ, МПК B65D 88/34 «Устройство для хранения и сокращения потерь нефти». Бахмат Г. В., Ветров И. М. (6 соавторов), Опубликовано от 07.10.2008

73. Патент RU 2181336, РФ, МПК B65D90/30 B65D90/28 «Дыхательная система резервуара для легкоиспаряющихся жидкостей». Данченко Ю. В., Кулаков С. В. Опубликовано от 04.20.2002

74. Патент RU 122994 U1, РФ, МПК, B65D 88/00 «Установка улавливания паров нефтепродуктов из автомобильных цистерн и резервуаров с применением охлаждающей смеси». Матвеев Ю. А., Кузнецов В. А. (5 соавторов). Опубликовано от 12.20.2012

75. Патент RU 142402 U1, РФ, МПК B65D 88/00 «Установка улавливания паров нефтепродуктов с дополнительным резервуаром сбора паров и системой

их охлаждения для наземных вертикальных стальных резервуаров». Матвеев Ю. А., Кузнецов В. А. (4 соавтора). Опубликовано от 06.27.2014

76. **Пискунов, Н. С.** Дифференциальное и интегральное исчисления для вузов: учеб. пособие. В 2 т. / Н.С. Пискунов. – М.: Интеграл – Пресс, 2001–2004. – 584 с.

77. **Планирование эксперимента.** Обработка опытных данных [Текст]: моногр. / И. А. Гарькина [и др.]; под ред. проф. А. М. Данилова. – М.: Палеотип, 2005. – 272 с.

78. **ППБ 01-03** Правила пожарной безопасности в Российской Федерации; [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.http://docs.cntd.ru/document>

79. **Приказ** Минэнерго России от 13.08.09 г. №364 «Об утверждении норм естественной убыли нефтепродуктов при хранении». Приказ Минэнерго России от 17.09.10 г. №449 «О внесении изменений в Приказ Минэнерго России от 13.08.09 г. №364».

80. **Приказ** Минэнерго России и Минтранса России от 01.11.10 г. №527/236 «Об утверждении норм естественной убыли нефти и нефтепродуктов при перевозке железнодорожным, автомобильным, водными видами транспорта и в смешанном железнодорожно-водном сообщении».

81. **Резников, М. Е.** Химия и авиационные горючие и смазочные материалы / М. Е. Резников, Г. К. Старостенко. - М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1977. - 300 с.

82. **Романцова С. В.** Предупреждение обводнения топлив при хранении / С.В. Романцова, С.С. Павлов // XVIII Державинские чтения: материалы Общероссийской научной конференции январь-февраль 2013 г., г. Тамбов/ Вестник Тамбовского ун-та. Сер.: Естественные и технические науки. – 2013. – Т.18. – Вып. 1. – С. 253...255.

83. **Руководство** по контролю качества авиационного топлива и технологиям работ для совместных служб заправки. Издание 10. 10 июля 2008 г, 108 с.

84. **Руководство** по приему, хранению, подготовке, к выдаче на заправку и контролю качества авиационных горюче-смазочных материалов и

специальных жидкостей в предприятиях ГА Российской Федерации: приказ Департамента воздушного транспорта Минтранса Российской Федерации от 17.10.1992 № ДВ-126. – М.: Минтранс РФ, 1992. – 114 с.

85. **Руководство** по поставкам реактивных топлив в гражданской авиации. ИКАО, DOC9977 AN/489, 2012, 40 с.

86. **Рыбаков, К. В.** Обезвоживание авиационных горюче-смазочных материалов. / К. В. Рыбаков, Е. Н. Жулдыбин, В. П. Коваленко. – М., Транспорт, 1979, 181 с.

87. **Рыбаков, К. В.** Фильтрация авиационных топлив / К. В. Рыбаков. – М.: Транспорт, 1983. – 156 с.

88. **Рыбаков, К. В.** Очистка нефтепродуктов от механических примесей и воды / К. В. Рыбаков, В. П. Коваленко, В. Е. Турчанинов. – М.: Изд-во ЦНИИТЭ Нефтехим, 1974. – 80 с.

89. **Сальников, А. В.** Потери нефти и нефтепродуктов. /Учебное пособие. – Ухта.: УГТУ, 2012 – 108 с.

90. **Серегин Е. П.** Развитие Химмотологии. – М.: Издательство «Первый том», 2018. – 880 с.

91. **Смирнов М. С., Сахно Г. И.** Фактическая обводненность топлив аэропорты гражданской авиации — В кн. Эксплуатационные свойства авиационных топлив, смазочных материалов и специальных жидкостей (вопросы химмотологии). – Киев, КИИГА, 1977. 14 с.

92. **Соловьев, А. Н.** Хроматографическое определение содержания растворенной воды в топливах для реактивных двигателей. / А. Н. Соловьев, Е. Я. Кузнецова, Ж. Н. Нетреба. Аеропорти та їх інфраструктура. Матеріали 5 Міжнародної конференції. Авіа-2003. – К. НАУ, 2003. – Т.4. – С. 41.97-41.

93. **Спецификации API/IP 1581.** Спецификации и Процедуры Квалификации для Фильтра/Разделителей Реактивного топлива Авиации / Пятый Выпуск; 20-е Приложение. – 2002., 44с.

94. **Стивен Т. Свифт.** Идентификация и контроль роста микробов в топливе. Системы обработки, загрязнение, хранение и обращение с

дистиллянтным топливом, Шено и Доррис, редакторы. 1988 г. ASTM: Филадельфия.

95. **Тарасенко, О. Е.** Анализ методов определения воды в авиационных горюче-смазочных материалах // Молодёжь и наука: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвященной 155-летию со дня рождения К. Э. Циолковского [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012. — Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section18.html>

96. **Тимиркеев М.А., Сапожников В.М.** Промышленная чистота и тонкая фильтрация рабочих жидкостей летательных аппаратов. — М.: Машиностроение, 1986, 152 с.

97. **Тимошенко, А. Н.** Эксплуатация технических средств авиатопливообеспечения. — Учебное пособие для студентов по напр. подг. 25.04.01. / А. Н. Тимошенко, А. Н. Козлов— М.: МГТУ ГА, 2017, 62 с.

98. **Титов, И. В.** Обводнение авиатоплив и очистка их от механических примесей и воды / И.В. Титов, А.Т. Говоров. — М.: ГосНИИ ГА, 1970. — 14 с.

99. **Тихонов, Н. И.** Обеспечение чистоты топлив в условиях аэродромной эксплуатации / Н. И. Тихонов, Н. Н. Саленко, Г. И. Лебедева // Эксплуатационные свойства авиационных топлив: тр. конференции. — КИИГА. — Киев, 1972. — С. 85-89.

100. **Урявин, С. П.** Некоторые современные проблемы, угрожающие безопасности полетов воздушных судов / С. П. Урявин, А. Н. Тимошенко // Информационный сборник Ассоциации организаций авиатопливообеспечения воздушных судов гражданской авиации. — 2012. — № 7. — С. 62-63.

101. **Фильтры-водоотделители** для топлива горизонтальные ФВГк и ФВГк-У. Агрегат научно-производственное объединение. Исследование и испытания, разработка и изготовление, монтаж и наладка оборудования топливообеспечения и фильтрационной техники. <http://www.agregatnpo.ru/production/korpusy/fvg.html>.

102. **Фукс, И. Г.** Основы химмотологии. Химмотология в нефтегазовом деле: учебное пособие / И. Г. Фукс, В. Г. Спиркин и др. – М.: ФГУП издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004 – 280 с.

103. **Хранение** нефти и нефтепродуктов: Учебное пособие. 2-ое изд., переработ. И доп./ Под общей редакцией Ю. Д. Земенкова. Тюмень: Издательство «Вектор Бук», 2003. — 536 с.

104. **Цегельский, В. Г.** Защита атмосферы от выбросов углеводородов из резервуаров для хранения и транспортирования нефти и нефтепродуктов / В. Г. Цегельский, П. Н. Ермаков, В. С. Спиридонов // Безопасность жизнедеятельности. — 2001.-№ 3. - С.23–28.

105. **Шапкин, В. С.** Проблемы авиатопливообеспечения в современных условиях. 02.10.14 15:11 Василий Шапкин, Журнал "АвиаСоюз", <http://www.aex.ru/fdocs/1/2014/10/2/25189/>

106. **Hamme J.D.V., Singh A., Ward O.P.** Recent advances in petroleum microbiology // Microbiology and molecular biology reviews, 67(4), 2003. P. 503...549.

107. **Harold W. GRAEF**, Major, USMC, Ап Analysis of Microbial Contamination in Military Aviation Fuel Systems (Thesis), Ohio USA, Department of the Air Force Air University. Air Force Institute of Technology, 2003.

108. **Nicolas Bourbaki.** Elements of the history of mathematics / Translated by Meldrum, John. — Berlin: Springer-Verlag, 1994. — ISBN 978-3-540-64767-6

109. **Velapatino C. Vihelmo C.**, Science in NASA, publications and scientific researching, Aviation and Space Technology, Science NASA, USA. 2004, www.nasa.com. The water contamination in the fuel aviation.

ПРИЛОЖЕНИЕ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2502069

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В
УГЛЕВОДОРОДНОМ ТОПЛИВЕ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ
ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

Патентообладатель(ли): *Браилко Анатолий Анатольевич (RU),
Дружинин Никита Александрович (RU), Смутьский
Анатолий Васильевич (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012122609

Приоритет изобретения 01 июня 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Российской Федерации 20 декабря 2013 г.

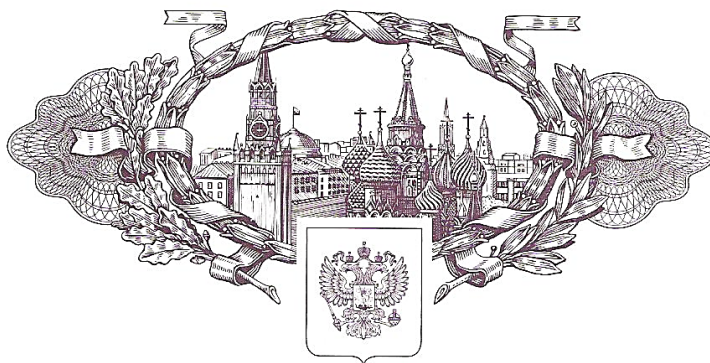
Срок действия патента истекает 01 июня 2032 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 122491

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ
В УГЛЕВОДОРОДНОМ ТОПЛИВЕ ИЛИ В ВОЗДУХЕ

Патентообладатель(ли): *Брошко Анатолий Анатольевич (RU),
Дружинин Никита Александрович (RU), Смутьский Анатолий
Васильевич (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № **2012122610**

Приоритет полезной модели **01 июня 2012 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации **27 ноября 2012 г.**

Срок действия патента истекает **01 июня 2022 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 141654

**УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ
МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ЖИДКОСТИ И
СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОДЕРЖАНИЯ
МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ПОТОКЕ ЖИДКОСТИ**

Патентообладатель(ли): *Браилко Анатолий Анатольевич (RU),
Дружинин Никита Александрович (RU), Дружинин Лев Александрович
(RU), Смутьский Анатолий Васильевич (RU), Смутьская Мария
Анатольевна (RU), Сыроедов Николай Евгеньевич (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2014101503

Приоритет полезной модели 20 января 2014 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 30 апреля 2014 г.

Срок действия патента истекает 20 января 2024 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2563813

**СПОСОБ КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ
ПРИМЕСЕЙ В ЖИДКОСТИ, УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО
ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ И СИСТЕМА МОНИТОРИНГА
СОДЕРЖАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ПОТОКЕ
ЖИДКОСТИ**

Патентообладатель(ли): *Браилко Анатолий Анатольевич (RU), Дружинин Никита Александрович (RU), Дружинин Лев Александрович (RU), Смутьский Анатолий Васильевич (RU), Смутьская Мария Анатольевна (RU), Сыроедов Николай Евгеньевич (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2014101502

Приоритет изобретения **20 января 2014 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **26 августа 2015 г.**

Срок действия патента истекает **20 января 2034 г.**

Заместитель руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий

