ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

На правах рукописи

БРАИЛКО АНАТОЛИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ

МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ АВИАТОПЛИВООБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЦИИ АЭРОПОРТОВОГО КОМПЛЕКСА

Специальность 2.9.6 – «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники»

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
доктора технических наук

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

Москва 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Введение 5

Глава 1 Актуальные проблемы обеспечения качества авиатопливообеспечения воздушных судов в условиях технологической интенсификации топливозаправочного комплекса 23

1.1 Анализ основных требований нормативно-технической документации по обеспечению чистоты авиатоплива, пригодного к применению в воздушных судах 23

1.2 Современные методы и средства контроля качества авиатоплива в системах авиатопливообеспечения аэропортов гражданской авиации ... 31

1.3 Влияние чистоты авиатоплива на безопасность полетов воздушных судов гражданской и государственной авиации 53

1.4 Современное состояние систем дозированного ввода противоводокристаллизационной жидкости в авиационное топливо при заправке воздушных судов 70

Выводы по главе 1 77

Глава 2 Теоретические основы совершенствования методов динамических измерений показателей качества авиатоплива 80

2.1 Теоретическое обоснование метода динамического измерения уровня чистоты авиатоплива на основе измерения диэлектрической проницаемости твердых и жидких диэлектриков дисперсионной среды авиатоплива 80

2.2 Теоретическое обоснование разработки метода устройства динамического мониторинга чистоты авиатоплива на основе каскадной фильтрации и диэлектрической проницаемости 94

2.3 Разработка информационно-управляющей системы мониторинга показателей качества авиатоплива топливозаправочного комплекса, концептуальный облик информационно управляющей системы 102

Выводы по главе 2 123
Глава 3 Разработка методов непрерывного мониторинга кондиционности авиатоплива 125
3.1 Расчет размеров и выбор конструктивных элементов датчика контроля механических примесей в потоке авиатоплива 125
3.2 Обоснование построения гранулометрического анализатора, основанного на методе ситового анализа 148
3.3 Разработка устройства мониторинга содержания свободной (эмульсионной) нерастворенной воды в потоке авиатоплива 157
3.4 Обоснование и расчет размеров конструктивных элементов датчиков (сенсоров) мониторинга количества воды в потоке авиатоплива 165
Выводы по главе 3 176
Глава 4 Разработка системы дозирования противоводокристаллизационной жидкости в авиатопливо при заправке воздушных судов 179
4.1 Конструкторско-технологические решения устройств дозирования противоводокристаллизационной жидкости, применяемых в составе оборудования средств заправки воздушных судов на объектах организаций авиатопливообеспечения 179
4.2 Анализ технологий контроля и методов определения процентного содержания противоводокристаллизационной жидкости в авиатопливе в средствах дозирования при выдаче авиатоплива на заправку воздушных судов 195
4.3 Разработка устройства дозирования противоводокристаллизационной жидкости на основе привода гибридного сервошагового двигателя и программируемого логического контроллера 200
4.4 Разработка гидравлической и электронной схем дозатора противоводокристаллизационной жидкости на основе гибридного сервошагового привода и программируемого логического контроллера 205
4.5 Разработка исследовательского стенда и прототипа дозатора

противоводокристаллизационной жидкости на основе программируемого логического контроллера и гибридного сервошагового двигателя 211
4.6 Разработка программного обеспечения программируемого логического контроллера для нового дозатора противоводокристаллизационной жидкости 222
4.7 Испытания прототипа дозатора противоводокристаллизационной жидкости в лабораторных условиях 227
4.8 Разработка опытного образца дозатора противоводокристаллизационной жидкости 230
Вывод по главе 4. 240
Глава 5 Системная интеграция топливозаправочного и аэропортового комплексов 243
5.1 Современное состояние систем диспетчерского управления наземным обслуживанием и авиатопливообеспечением воздушных судов 243
5.2 Инновационный подход к организации системы аэродромной логистики и диспетчеризации движения нефтепродуктов 257
5.3 Концептуальное построение адаптивной информационно-управляющей системы технологической интеграции аэропортового комплекса 264
Выводы по главе 5 270
Заключение 272
Список сокращений и условных обозначений 276
Список использованных источников 278

Введение

Актуальность темы исследования. Авиатопливообеспечение (АТО) гражданской авиации (ГА) является одним из видов наземного обслуживания воздушных судов (ВС) ГА путем предоставления услуги по заправке ВС ГА кондиционным авиатопливом и спецжидкостями при обеспечении безопасности и регулярности полетов. Основу международного и национального регулирования авиатопливообеспечения (АТО) ГА составляют Федеральные авиационные правила (ФАП), а также рекомендации ИАТА и ИКАО и другие нормативные и руководящие документы [1, 2, 143, 144, 146, 205].

Технологическая интенсификация производственной деятельности аэропортового комплекса направлена на повышение регулярности полетов и воздушных судов (ВС) и пунктуальности аэропортового комплекса, которые являются приоритетной задачей авиатранспортной отрасли. Аналогичные приоритеты у топливозаправочного комплекса (ТЗК) [214, 215], в задачи которого, входит своевременная и безопасная заправка ВС кондиционным авиатопливом. Кондиционность авиатоплива регламентирована нормативно-технической документацией (НТД) [47, 48, 50, 76, 144, 146, 147].

В целях обеспечения качества очистки авиатоплива в технологических процессах его подготовки к заправке ВС, согласно требованиям нормативно-технической документации (НТД), ГОСТ10227-1986, в частности, чистота авиатоплива, заправляемого в ВС, должна быть не более 8 класса ГОСТ 17210-2001 [20, 72]. Поэтому важнейшей задачей работы организаций авиатопливообеспечения (ОАТО) при осуществлении топливозаправочной деятельности является обеспечение кондиционности авиатоплива в ходе подготовки авиатоплива путем его очистки от механических примесей[20, 72] и воды многоступенчатой фильтрацией с последовательным уменьшением тонкости фильтрации и отстаивания (седиментацией), заправляемого в ВС.

Одновременно с этим, на организацию производственных процессов подготовки и контроля качества авиатоплива накладываются требования жесткого соблюдения технологических графиков (слотов) заправки ВС при подготовке к вылету с целью обеспечения их регулярности[23,72].

Применяемые сегодня как в Российской Федерации так и за рубежом методы подготовки авиатоплива к применению на ВС в основном обеспечивают безопасность полетов, но не исключают инциденты и авиационные происшествия из-за некачественной подготовки авиатоплива.

Это является результатом:

- несовершенства измерительных и расчетных (лабораторных и экспресс) методов оценки качества очистки (кондиционности), оценки его пригодности к применению в процессе его подготовки ;

- отсутствия методов динамических измерений уровня чистоты в потоке авиатоплива;

- недостаточности теоретических исследований закономерностей физических процессов отстаивания (седиментации), фильтрации и водоотделения дисперсной системы «авиатопливо - механические примеси»;

- недостаточности теоретических исследований о закономерностях процессов обводнения авиатоплива, динамических переходах растворенной в авиатопливе воды в нерастворенную (свободную или эмульсионную), «мицеллобразования» [20,166];

- отсутствия теоретических критериев необходимой и достаточной концентрации содержания присадок противоводокристаллизационной жидкости (ПВКЖ) в авиатопливе, а также закономерностей живучести этих присадок от времени хранения и условий эксплуатации, а также несовершенства технологий и оборудования их введения в авиатопливо.

Известно [3, 4, 10, 18], что существенная часть отказов оборудования ВС приходится на элементы топливных систем (ТС), что обусловлено сложными условиями их работы [3, 11]. Отказ одной или нескольких функциональных подсистем ТС может спровоцировать аварию или катастрофу. Надёжность и

долговечность агрегатов ТС находится в непосредственной зависимости от уровня чистоты авиатоплива - содержания механических примесей и свободной (нерастворенной) воды [3, 5, 20].

На протяжении с 2004 по 2024 год зарегистрировано 213 авиационных происшествий и инцидентов, соответствующих коду «028 топливная система»; из них 118 (55,4%) - событий по причине применения некондиционного авиатоплива; в том числе события, обусловленные недостатками технологических процессов подготовки и обеспечения качества очистки авиатоплива, - от 24 до 78 (от 11,3% до 36,6% всех событий) [20, 44, 166].

Твердые механические примеси, содержащиеся в авиатопливе, попадают в зазоры между рабочими поверхностями скользящих пар топливорегулирующей аппаратуры (ТРА) и заклинивают их или оказывают абразивное действие, а также закупоривают различные жиклёрные и дроссельные каналы [41]. Кроме того, мелкие частицы, попадая в авиатопливо и ТС, способствуют и вызывают повышенное окисление авиатоплива. В результате облитерации, в зазорах прецизионных пар, происходит залипание золотников пар, нарушение работоспособности ТРА и самовыключение авиадвигателей. Параметры частиц (размеры и плотность) загрязнения АТ являются одними из наиболее важных контрольных параметров кондиционности АТ [15, 17, 18, 26].

Содержание нерастворенной воды в авиатопливе обуславливает опасность забивки фильтров кристаллами льда, что неизбежно и критически сказывается на работоспособности ТРА и ТС авиадвигателя ВС [26, 28].

В настоящее время в технологических процессах ТЗК для контроля качества авиатоплива АТ используется метод отобранных проб, для которого характерен ряд существенных недостатков [20, 24, 26, 44]. Современные методы измерения уровня чистоты, подразделяющееся на лабораторные и экспресс-методы, являются статическими и дискретными, и не в полной мере обеспечивают достоверность и точность определения уровня чистоты ввиду возможной неоднородности распределения частиц механических примесей по всему объему и потоку авиатоплива, не автоматизированы, и как следствие

подвержены негативному влиянию человеческого фактора. Кроме того, лабораторные методы трудоемки, требуют применения сложного оборудования и квалификации лаборантов, а их продолжительность отрицательно сказывается на своевременности получения результатов (прием из ЖДЦ, и по трубопроводу, авиатопливо уже в приемном резервуаре, а результаты анализа через 4 часа). Поэтому, при осуществлении аэродромного контроля, непосредственно в момент заправки ВС, применяется только экспресс-метод - визуальный и инструментальный контроль чистоты авиатоплива и наличия свободной воды с беспрецедентно низкой точностью и достоверностью определения уровня чистоты авиатоплива.

Существующие на сегодня методы контроля качества авиатоплива, основанны на дискретном и точечном отборе проб с последующим лабораторным анализом, не гарантируют достоверной оценки чистоты авиатоплива в масштабе реального времени. Для существующих методов неизбежны погрешности, обусловленные способом отбора проб, чистотой пробоотборного оборудовпания, а также негативным влиянием человкческого фактора .

В целях повышения точности и достоверности измерений показателей качества авиатоплива , а также автоматизации технологических процессов ТЗК , получили экспрес-методы, основанный на применении датчиков встроенного контроля (ДВК) [17, 213] чистоты авиатоплива по изменению уровня содержания механических примесей в потоке авиатоплива [9, 10, 15, 16, 17, 20]. ДВК на основе экспресс- методов гравиметрических и гранулометрических показателей чистоты авиатоплива [21], позволяет отказаться от устаревших технологий основанных на дискретных и точечных отборах проб авиатоплива, что дает возможность повысить достоверность и информативность, а самое главное, оперативность мониторинга оценки чистоты авиатоплива в технологических процессах топливозаправочной деятельности аэропортового комплекса в режиме реального масштаба времени [17, 213].

В условиях высокой технологической интенсификации аэропортового комплекса, возрастают требования к оперативному управлению технологическими процессами ТЗК, в том числе непосредственно к диспетчерскому управлению заправками ВС. Задачи сбора информации и анализа, планирования и оптимизации уже невозможны в «ручном режиме» управления. В этих условиях – существенно возрастает роль интеграционного взаимодействия ТЗК-АЭРОПОРТ. Используемые в настоящее время в отечественные и международные, системы диспетчеризации наземного обслуживания ВС обеспечивают регулярность полетов, при этом не исключают инциденты из-за недостаточной интеграции технологических процессов ТЗК, не учитывающих особенности техпроцессов ТЗК, логистики движения авиатоплива от нефтезавода до крыла ВС, коммерческого учета, подготовки авиатоплива в том числе мониторинга чистоты авиатоплива от механических примесей и воды [3, 4, 25, 44, 71, 109].

Рациональное решение проблемы качества подготовки авиатоплива к заправке ВС с учетом вышеизложенных требований обеспечения регулярности и безопасности выполнения полетов ВС возможно, если обеспечить переход от статических методов контроля качества (дифференцированного и дискретного отбора проб и лабораторного анализа), к динамическим (онлайн) методам мониторинга кондиционности всего потока и объема авиатоплива в процессе подготовки авиатоплива к применению на ВС, основанному на использовании датчиков [20, 166], сенсоров и измерителей физических параметров и показателей качества авиатоплива в потоке его движения, и применения информационных технологий сегодняшнего дня при достижении интеграционного взаимодействия системы ТЗК-АЭРОПОРТ.

Исходя из анализа отечественных и зарубежных источников [12, 13, 14,17, 21, 22, 24, 102, 213] очевидно, что технические и технологические проблемы обеспечения надежной эксплуатации топливных систем ВС можно решать путем обеспечения непрерывного мониторинга контроля качества авиатоплива на всех этапах жизненного цикла движения авиатоплива [7, 10, 17, 18]. Это позволяет

существенно повысить безопасность и регулярность полетов в целом, за счет своевременного принятия решений по применению авиатоплива, а также значительно уменьшить эксплуатационные расходы [21, 41, 76]. Особо стоит отметить эффект от применения автоматизированных методов мониторинга кондиционности авиатоплива в составе информационно- управляющих систем ТЗК, позволяющих уменьшить нагрузку на персонал (авиатехников, операторов, лаборантов) и снизить требования к их квалификации. Из всего вышесказанного видно, что применение систем автоматизированного контроля качества авиатоплива и динамического мониторинга его кондиционности приносит значительный экономический эффект [17, 213] в топливозаправочной деятельности аэропортового комплекса [23, 83, 94].

Таким образом, разработка научно обоснованных технических и технологических решений создания информационно-управляющей системы авиатопливообеспечения ВС, позволяющая обеспечить непрерывный мониторинг контроля качества авиатоплива на всех этапах жизненного цикла движения авиатоплива, в условиях технологической интеграции аэропортового комплекса, имеет большое практическое значение для отрасли авиатопливообеспечения ВС и является актуальной задачей [42, 43, 207, 187, 208].

Степень разработанности вопроса. Большой вклад в разработку и внедрение оборудования и систем авиатопливообеспечения ВС , а также вклад в деятельность по предупреждению авиационных инцидентов внесли ЦИАМ им. П.И. Баранова, НИЦ ЭРАТ, ФАУ «25 ГНИИ Химмотологии МО РФ», МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского, МАИ им. Серго Орджоникидзе, ОАО «ВНИИ НП», ФГБУ ВПО МГТУ ГА, ФГБУ ВПО СПбГУ ГА, ЕАТК им. В.П. Чкалова, НАУ, ФГУП ГосНИИ ГА,. Исследования ученых этих организаций направлены на изучение факторов влияния на качество подготовки авиатоплива к заправке ВС, на совершенствование ситстемы качества подготовки авиатоплива [11, 16, 17, 20, 26, 32, 38, 39, 98, 104, 105, 107].

Научнй базой теории седиментации является физика и гидродинамика жидкости и газа (Карл Вильгельм Озеен, Джорж Габриэль Стокс) [94, 98, 166, 167,

170]. Процессы, протекающие в объеме дисперсионной среды (в резервуаре с авиатопливом), рассматриваются в рамках теории тепло- и массообмена (термодинамика и теплофизика) [173, 166]. Факторы, влияющие на отдельные частицы дисперсной фазы (механические примеси), изучаются преимущественно физической и коллоидной химией. Исследованием важнейших теоретических и практических аспектов седиментации занимались Альберт Эйнштейн, Теодор Сведберг, Мариан Смолуховский, А. В. Думанский, П. А. Ребиндер. В области седиментометрического анализа актуальны фундаментальные труды Н. А. Фигуровского [166, 211]. Изучению процессов седиментации и седиментометрического анализа посвящены работы Г. С. Ходакова, Б. В. Кизевальтера, П. А. Коузова,. Седиментация применительно к процессам авиатопливо-подготовки в ГА рассматривается отечественной авиационной химмотологией в работах Г. Ф. Большакова [15], В. П. Коваленко [93], А. А. Литвинова, Я. Б. Черткова , В. В. Лебедева и других исследователей [94, 163, 166, 167].

Однако в проведенных исследованиях и публикациях уделено недостаточное внимание совершенствованию и разработке теоретического и методического аппарата, обеспечивающего качественную подготовку авиатоплива к заправке ВС с учетом современных условий эксплуатации.

Поэтому проблема обеспечения высокого уровня безопасности полетов на основе качественной подготовки авиатоплива к применению на ВС до настоящего времени не имеет законченного решения.

Таким образом, актуальная научная проблема качественной подготовки авиатоплива к заправке ВС требует дальнейшего развития и решения особенно в условиях интеграции аэропортового комплекса.

Исследованию вопроса обеспечения чистоты различных топлив и специальных жидких рабочих сред посвящены работы таких отечественных и зарубежных ученых, как М. Г. Акопов, А. Ф. Аксенов, В. И. Барышев, Г. Ф. Большаков, В. Н. Зрелов, А. Н. Измайлова, В. П. Коваленко, В. Г. Коваленко, А. М. Кутепов, А. Н. Литвиненко, А. И. Поваров, К. В. Рыбаков, Я. Б. Чертков, Р. Н. Шестов, Б. А. Энглин, Э. И. Удлер, D. A. Bradley, H.E. Criner, D.A. Dahlstrom, M.G.

Driessen, F.G. Fontein, D.F. Kelsall, G. Tarjan и других. Применительно к теме диссертационного исследования наиболее близки результаты, полученные в работах, выполненных под руководством Г. Ф. Большакова, которые, не получили окончательного научно обоснованного решения. Отсутствие аналитических зависимостей для расчета концентрации загрязнений в исходном потоке топлива с учетом его характеристик и контролирующей аппаратуры не позволило управлять процессом контроля и осуществлять экспресс-анализ различных марок топлив применительно к разным классам чистоты без проведения дополнительных исследований [17, 213]. В результате процесс совместного влияния нерастворенного газа и не учитываемых стандартами частиц малых размеров на результаты измерений при оценке чистоты топлива в потоке, а также способы устранения этого влияния остаются малоизученными.

Проектированием и разработкой автоматизированных систем контроля качества авиатоплива, в том числе экспрес-методов измерения показателей чистоты авиатоплива, занимаются отечественные предприятия по производству технологического оборудования авиатопливообеспечения, ЗАО "НПО "Авиатехнология", ООО "НПО АГРЕГАТ", ООО «НПП «ПРОМПРИБОР», ООО «ЭЛИОН» и зарубежные предприятия: "Mess-und Fordertechnik Gwinner GmbH & Co", Германия, FAUDI Aviation GmbH, Parker Hanni n Corporation Aerospace, Filtration Division, PECOFacet (US), Inc и многие другие. Несмотря на многочисленные достижения и успехи в области автоматизации технологических процессов, и методов измерения параметров и показателей уровня качества авиатоплива, проблема непрерывного мониторинга чистоты авиатоплива в потоке авиатоплива остается в целом открытой. Это объясняется сложностью измерений гравиметрических и гранулометрических характеристик механических примесей в авиатопливе. Таким образом, разработка методов и средств оперативного и автоматизированного контроля качества авиатоплива, на сегодняшний день является актуальным направлением в отрасли авиатопливообеспечения ВС [17, 213].

Таким образом, тема диссертации, связанная с разработкой методологии автоматизированного контроля уровня чистоты авиатоплива от механических примесей и свободной воды, разработкой системы дозирования ПВКЖ, а также разработкой единой интеграционной платформы ТЗК-АЭРОПОРТ является весьма актуальной.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования - является современная система авиатопливообеспечения ВС ГА, технология и оборудование ТЗК в аэропортах ГА.

Предмет исследования

– методы и способы контроля(мониторинга) чистоты авиатоплива от механических примесей и воды в технологических процессах авиатопливообеспечения ВС ГА.

- счетно-дозирующие системы и оборудование пропорционального введения присадок ПВКЖ в авиатопливо.

- процессы интеграционного взаимодействия, топливозаправочного и аэропортового комплексов, в рамках диспетчерского управления ресурсами авиатопливообеспечения и системы совместного принятия решений.

Работа направлена на повышение безопасности и обеспечение регулярности полетов ВС ГА, а также экономической эффективности ТЗК и АЭРОПОРТА на основе построения автоматизированных систем управления технологическими процессами ТЗК и информационно управляющих систем операционной деятельности аэропорта.

Целью диссертационной работы являются научно обоснованные технические и технологические решения актуальных проблем создания информационно-управляющей системы авиатопливообеспечения воздушных судов, позволяющей обеспечить непрерывный мониторинг контроля качества авиатоплива на всех этапах технологии подготовки авиатоплива, в условиях коллаборативного взаимодействия информационно-управляющих систем топливозаправочного и аэропортового комплекса, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие гражданской авиации России.

Для достижения цели исследования в работе были поставлены (и решены) задачи по разработке научно обоснованных технических и технологических решений:

- анализа статических данных об инцидентах, авариях и катастрофах с ВС коммерческой ГА РФ, связанных с недостаточным уровнем промышленной чистоты авиатоплива, а также применяемых методах контроля чистоты авиатоплива от механических примесей и дозирования ПВКЖ;

- разработать математическую модель определения содержания механических примесей и нерастворенной (свободной) воды в потоке авиатоплива за счет определения критической (резонансной) частоты комплексной диэлектрической проницаемости (КДП) фильтроэлемента (пористой перегородки);

- разработка теоретических основ нового принципа динамических измерений концентрации механических примесей и воды в авиатопливе

- разработка метода и устройства динамического измерения гравиметрических показателей уровня чистоты авиатоплива на основе измерения диэлектрической проницаемости твердых и жидких диэлектриков дисперсионной среды авиатоплива

- разработка метода и устройства динамических измерений гранулометрических показателей чистоты авиатоплива на основе каскадной фильтрации и диэлектрической проницаемости

- разработка метода и устройства динамических измерений уровня содержания свободной (нерастворенной) воды в авиатопливе:

- разработка теоретических основ новой автоматизированной адаптивной системы вариативного дозирования ПВКЖ в авиатопливо, на основе динамического мониторинга фактического процентного содержания, введенного ПВКЖ в авиатопливо, в интеграции с известными расходомерами – счетчиками авиатоплива в том числе с массовыми расходомерами, кориолисовыми массомерами;

- расчет узлов и выбор элементов нового дозатора ПВКЖ;

- разработка теоретических основ построения единой информационно - управляющей системы технологических процессов топливозаправочной деятельности аэропортового комплекса;

- разработка автоматизированных информационно-управляющих систем авиатопливообеспечения ВС.

Методология и методы диссертационного исследования. Методологические аспекты данного исследования составляют фундаментальные, научные работы зарубежных и российских ученых в области авиатопливообеспечения ВС. В ходе исследования изучена система нормативного регулирования, различные теории и методики, зарубежный и отечественный опыт, а также обобщены и систематизированы данные научно-практических конференций, периодических изданий в области проблемы динамического мониторинга кондиционности авиатоплива и дозирования ПВКЖ**.**

В процессе проведения исследований и экспериментов в работе использовались методы авиационной химмотологии, методы дисперсионного анализа, методы седиментометрического анализа, методы натурного и модельного количественного физического эксперимента, методы натурного качественного химического эксперимента, методы математического аналитического моделирования, методы математической статистики, методы имитационного моделирования, общенаучные методы познания. Проведена верификации экспериментом разработанных в работе реальных конструкций устройств, а также в условиях эксплуатации.

Такой подход одновременно обеспечивает и многочисленные «ноу-хау», что наряду с патентной чистотой защитит отечественных производителей на рынке. Принципиальным отличием разработанных в диссертации методов контроля кондиционности авиатоплива и дозирования ПВКЖ от известных является проведение контроля чистоты авиатоплива в динамических условиях, т.е. непрерывно в потоке, предоставляя мгновенные данные измерения его параметров для принятия решения о кондиционности и пригодности авиатоплива к заправке ВС.

Научная новизна работы.

1. Установлено, что применяемые методы контроля уровня чистоты авиатоплива - методы определения содержания механических примесей и нерастворенной (свободной) воды в авиатопливе являются статическими и косвенными, и основаны на дифференцированном отборе проб из назначенных точек, точность и достоверность которых может быть недостаточной. Существующие методы оценки чистоты авиатоплива не автоматизированы, а их продолжительность, в условиях повышения интенсивности производственной деятельности аэропортового комплекса, является препятствием для коллаборативного, интеграционного взаимодействия систем наземного обслуживания ВС, (аэропорт, ТЗК, лаборатория, поставщики), что требует разработки и создания информационно-управляющей системы динамического мониторинга кондиционности заправляемого авиатоплива.

2. На основе дебаевских уравнений и формул Клаузиуса — Моссотти, разработана математическая модель определения содержания механических примесей и нерастворенной (свободной) воды в потоке авиатоплива за счет определения критической (резонансной) частоты комплексной диэлектрической проницаемости (КДП) на фильтроэлемента (пористой перегородки), показавшая 97,5% сходимости при экспериментальном исследовании (проверке) метода определения концентрации механических примесей и уровня влагосодержания в потоке авиатоплива.

3. Установлены зависимости комплексной диэлектрической проницаемости авиатоплива от частоты электромагнитных колебаний и проводимости авиатоплива при различных значениях критической (резонансной) частоты, что позволяет реализовать динамическое измерение веса механических примесей в потоке авиатоплива, а также получена зависимость диэлектрической проницаемости водной эмульсии в авиатопливе от ее концентрации, позволяющая количественно оценить содержание свободной воды в авиатопливе.

4. Установлено, что диэлектрическая проницаемость авиатоплива зависит от концентрации молекул диэлектрика и поляризуемости каждой молекулы, а

также от природы диэлектрика, температуры и от частоты приложенного напряжения, а максимум диэлектрической проницаемости достигается в интервале 2…20 г/м^3.

5. Впервые разработано научно-техническое решение построения адаптивных ИИУС динамического мониторинга чистоты авиатоплива от механических примесей и воды, которые в отличие от существующих методов контроля качества авиатоплива, обеспечивают автоматизированный непрерывный контроль кондиционности авиатоплива в динамических условиях технологического процесса ТЗК, позволят исключить заправки ВС некондиционным авиатопливом.

6. Впервые разработано новое научно-техническое решение счетно-дозирующей системы введения присадки ПВКЖ, которая в отличие от существующих в режиме реального времени обеспечивает автоматизированный непрерывный контроль фактического процентного содержания присадки ПВКЖ в авиатопливо в процессе заправки ВС, позволяет исключить процедуры ежесменной проверки работоспособности дозатора, универсально совместима с любым расходомером авиатоплива, в том числе с массовым расходомером, кориолисовым массомером, обеспечивает вариативное регулирования процентного содержания ПВКЖ в авиатопливе и дозирования как по массе так и по объему, повышает точность коммерческого учета ГСМ и обеспечивающая импортозамещение оборудования ТЗК.

7. Разработана адаптивная информационно-управляющая система авиатопливообеспечения ВС на основе системной интеграции и коллаборативного взаимодействия топливозаправочного и аэропортового комплексов, позволяющая осуществить реализацию прогностического подхода к управлению безопасностью полетов и способствующая непрерывному ее повышению.

Теоретическая и практическая значимость работы.

1. Впервые проведен расчёт параметров измерительных схем и размеры устройств измерителей – диэлькометрических фильтров мониторов, а также разработан гидравлический стенд для исследований их характеристик.

2. Впервые разработано устройство динамических измерений гранулометрических и гравиметрических показателей (параметров) механических примесей в авиатопливе с точностью до 0,5%, а также устройство динамического измерения количества нерастворенной (эмульсионной) воды в потоке авиатоплива на основе измерения комплексной диэлектрической проницаемости механических примесей и воды, что позволяет принимать адаптивные решения по выбору технологических режимов подготовки авиатоплива и его применения на ВС.

3. Разработан метод динамического измерения механических примесей и воды в авиатопливе, что позволяет контролировать чистоту авиатоплива непрерывно в потоке, предоставляя мгновенные данные о его кондиционности для принятия решения о пригодности авиатоплива к заправке ВС, и характеризующийся относительной погрешностью определения содержания механических примесей не более 4,6 %.

4. Разработан прототип дозатора, на который получен патент РФ № 223152 и экспериментально подтверждены возможности создания системы дозирования ПВКЖ в авиатопливо, показавший высокую сходимость с показателями НТД, а именно при режимах дозирования: 0,1+0,05%; 0,2$\pm$0,02% и 0,3$\pm$0,03%.

5. Разработан опытный образец универсального дозатора ПВКЖ, позволяющий:

- обеспечивать высокую точность введения ПВКЖ, за счет применения энкодера (датчика угла поворота), механически соединенного с гибридным сервошаговымприводом;

- обеспечивать дозирование как в пропорциях объемных единиц измерения, так и в пропорциях массовых единиц измерения;

- обеспечивать интеграцию с объемными счетчиками-расходомерами, кориолисовыми массовыми расходомерами любых конструкций с возможностью калибровки [214, 215];

- обеспечивать вариативный выбор дозы присадки ПВКЖ (0,1; 0,2 и 0,3%), а также любой другой концентрации;

- проводить точную подстройку (компенсацию) за счет обратной связи с плотномером и детектором процентного содержания ПВКЖ, что позволяет решить существующую на сегодня техническую проблему с ежесменными проверками работоспособности дозатора.

6. Разработана методология построения платформы интеграционного взаимодействия ИУС аэропортового комплекса, ИУС ТЗК, ОУДН СУЗВС, ССПД, которая в отличие от существующих разноплатформенных систем, обеспечивает сквозной контроль и управление заправками ВС и позволяет синхронизировать процессы планирования транспортной логистики топливозаправочной деятельности на аэродроме, с процессами оперативного управления движения авиатоплива в ТЗК с учетом данных мониторинга кондиционности, позволяющая реализацию прогностического подхода к управлению безопасностью и регулярностью полетов, а также экономическую эффективность ТЗК и аэропортового комплекса.

На защиту выносится:

1. Результаты анализа существующего состояния технологических процессов авиатопливообеспечения ВС.

2. Математическая модель диэлькометрических измерений плотности гетерогенной дисперсионной среды авиатопливо-мехпримеси и воднотопливной эмульсии.

3. Устройство для измерения комплексной диэлектрической проницаемости среды механических примесей и воды в авиатопливе.

4. Метод динамических измерений гравиметрических и гранулометрических параметров механических примесей и содержания эмульсионной (нерастворенной) воды.

5. Автоматизированная адаптивная система вариативного дозирования жидкой присадки в поток авиатоплива при заправке ВС.

6. Концепция информационно-управляющей системы непрерывного мониторинга кондиционности авиатоплива в процессе его подготовки к заправке ВС.

7. Методология построения платформы интеграционного взаимодействия ТЗК и АК.

Достоверность и обоснованность. Результаты исследования получены при проведении лабораторных и натурных испытаний с использованием современных методов и методик, на аттестованном оборудовании, а полученные результаты согласуются с результатами других авторов. Достоверность и обоснованность работы подтверждаются результатами опытно-конструкторских разработок, опытом практического внедрения результатов диссертации, а также прошли государственную экспертную проверку при получении патентов на устройство и способ определения количества воды в авиатопливе[15 72].

Теоретические положения работы базируются на известных достижениях в области химмотологии, использованием исходных данных, полученных из практики и корректным применением статистических методов обработки полученных экспериментальных данных, теории вероятностей, а также использованием современного математического аппарата.

Апробация работы и публикации.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию отечественной гражданской авиации МГТУ ГА (19.05.2023), на научно-технических семинарах на кафедре «Авиатопливообеспечение и ремонт летательных аппаратов» МГТУ ГА, на секции ГосНИИ ГА., на Всероссийской научно-практической конференции Академии наук авиации и воздухоплавания (АНАиВ) в институте проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 24.10.2023г., на 8-ми научно-технических конференциях Евразийского международного форума «Авиатопливо 2012-25» ЦСР, Москва в период 2012-2025 гг., на 2-х практических семинарах Объединенной Национальной Ассоциации Деловой Авиации (ОНАДА), Российской, ассоциации эксплуатантов воздушного транспорта, Ассоциации «Аэропорт» гражданской авиации, а также Московского государственного технического университета гражданской авиации «Безопасность полетов. Безопасность топливообеспечения» 2023, 2025гг., на Международной

конференции по техническому обслуживанию и ремонту воздушных судов (ТОиР ВС 2025) 2025г. По материалам работы опубликованы 29 научных работ (255 с), 10 (106 с) в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России (по транспорту), 7 патентов: патент №122491 опубликовано от 27.11. 2012 г., патент №2502069 опубликовано от 20.12. 2013 г., патент № 141654 опубликован от 26.08. 2015 г., патент № 2563813 опубликован от 29.05.2017, патент № 2673004 опубликован от 29.08.2018 г., патент №223152 опубликован от 21.11.2018 г., патент №182746 опубликован от 02.02. 2024 г., 4 (8с.) в трудах международных и всероссийских конференций и 8 (32 с) в прочих изданиях.

Личный вклад автора. Автор научно обосновал и разработал устройство для динамических измерений гранулометрических и гравиметрических показателей содержания механических примесей в потоке авиатоплива, устройство для динамического измерения массы свободной (не растворенной) воды в потоке авиатоплива, и с их использованием разработал метод (способ) непрерывного мониторинга определения содержания механических примесей и свободной воды в потоке авиатоплива, от приема авиатоплива из различных видов транспорта до баков ВС, и разработал методики всех экспериментальных исследований и непосредственно участвовал в их проведении в процессе всего цикла исследований, спланировал и организовал сбор экспериментальной информации по влиянию свободной воды и механических примесей в авиатопливе на безопасность полетов ВС, на основе дебаевских уравнений, разработал математическую модель зависимости КДП от количества и состава (природы) механических примесей, разработал импортозамещённый дозатор ПВКЖ на основе сервошагового привода и ПЛК, с возможностью интеграции как с объемными счетчиками, так и с массовыми расходомерами и позволяющий осуществлять дозирование как в массовых, так и объемных единицах процентного содержания. Разработал концептуальный облик ИУС качества ТЗК и методологию интеграции ее в аэропортовый комплекс, что позволит оптимизировать операционную деятельность наземного обслуживания ВС, способствовать повышению

безопасности и регулярности полетов в условиях технологической интенсификации аэропортовой деятельности.

Структура и объём диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, перечня сокращений и приложения. Общий объем работы составляет 301 страницу текста и 150 страниц приложения. Диссертация содержит 27 таблиц, 246 рисунков, список используемых источников из 216 наименований.

Глава 1 Актуальные проблемы обеспечения качества авиатопливообеспечения воздушных судов в условиях технологической интенсификации топливозаправочного комплекса

1.1 Анализ основных требований нормативно-технической документации по обеспечению чистоты авиатоплива, пригодного к применению в воздушных судах

Современная ГА мира постоянно развивается. ВС всех стран ежедневно пролетают около 65 млн. км. Мировой объем пассажирских авиаперевозок ежегодно возрастает на 4—5 % [3, 4, 109, 196]. Совершенствование и расширение парка ВС, увеличение количества выполненных полетов, соответственно, влечет за собой рост потребления авиационных горюче-смазочных материалов (ГСМ) и, в первую очередь, авиатоплива [15].

Вопрос качества авиатоплива – это один из ключевых аспектов безопасности полетов во всем мире. В мировой практике существует две системы регулирования топливозаправочной деятельности в области авиатопливолобеспечения ВС ГА.

В первой – ответственность возложена на авиакомпанию. Как поставщик услуг, она отвечает своей системой качества за всех контрагентов, включая поставщиков авиатоплива, такая система принята в США и странах Евросоюза [20]. В такой системе безопасность авиаГСМ является ответственностью отдельной коммерческой структуры – конкретной авиакомпании и зависит от ее бизнес-приоритетов. ИКАО указывает на такую коммерциализацию как на основной фактор, который создает угрозу безопасности полетов (например, Doc 9734-AN/959) [20].

Вторая система имеет полный государственный контроль за качеством поставляемого авиатоплива со стороны уполномоченного органа в области гражданской авиации, Китай, Индия и др. Контроль за кондиционностью авиатоплива, осуществляется органом государственного контроля летной годности ВС [20, 76, 146, 166].

Подобная система существовала в России и доказала свою высокую эффективность в обеспечении безопасности полетов ВС в ГА.

В последние годы время сертификация объектов топливозаправочного комплекса стала добровольной, а государственная система стандартизации отменена, упрощен порядка согласования проектов технических условий на авиатопливо. Стало возможным нефтезаводам выпускать под одной маркой и ТУ авиатоплива, которые существенно различаются по составу, показателям и эксплуатационным характеристикам, [15], что усложняет контроль за качеством авиаГСМ и влияет на безопасность полетов.

В 2024 году принят Федеральный закон от 08.08.2024г. №289-ФЗ "О внесении изменений в Воздушный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации". Изменения предусматривают в т.ч. возвращение обязательной сертификации, усиление государственного контроля за объектами авиатопливообеспечения, что несомненно положительно скажется на обеспечении безопасности полетов.

Кондиционность авиатоплива является одним из главных компонентов обеспечения безопасности полетов и, в соответствии с действующим законодательством, подлежит многоступенчатому контролю. Эту функцию выполняют топливозаправочные комплексы (ТЗК) аэропортов, которые осуществляют четыре ступени контроля качества авиатоплива: входной, приемный, складской и аэродромный контроль [15]. С целью обеспечения БП применяемая на ВС топливо-регулирубщая аппаратура требует обеспечения высокой чистоты авиатоплива. В современных условиях для контроля чистоты авиатоплива необходимо создание нового поколения экспресс методов динамического измерения гравиметрических и гранулометрических показателей

чистоты авиатоплива, в том числе работающих в полевых условиях ТЗК и аэродрома.

Требования к качеству авиатоплива на территории РФ, в рамках Евразийского экономического союза (ЕАЭС) устанавливаются различными стандартами, в зависимости от марки (ТС-1, РТ, ДЖЕТ А-1):

− 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.) [161].

− 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.) [46].

− ГОСТ Р 52050-2006 – «Топливо авиационное для газотурбинных двигателей Джет А-1 (Jet A-1). Технические условия» (национальный стандарт Российской Федерации, введен в 2007 г.) [47].

− ГОСТ 32595-2013 – «Топливо авиационное для газотурбинных двигателей Джет А-1 (JET A-1). Технические условия» (межгосударственный стандарт, действующий в рамках ЕАЭС; принят в 2013 г., введен в действие 01.01.2015 г.) [48].

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.

Иерархия документов по авиатопливообеспечению, действующих на территории РФ, а также зарубежная нормативно-техническая документация, регламентирующая аватопливообеспечение ВС, представлена на рисунке 1.1.

Анализ и сравнение отечественной и зарубежной НТД показывает различный подход требований к чистоте авиатоплива заправляемого в ВС. В таблице 1.1 показаны различия в нормативах предельных значений уровня

загрязненности авиатоплива (содержания механических примесей) для отечественных требований и нормативов ИАТА [15].

Рисунок 1.1 – Иерархия НТД по авиатопливообеспечению, действующая в РФ и за рубежом

Требования к чистоте авиатоплива изложены в отечественной нормативной документации: ГОСТ 17216-71 и ГОСТ Р 50559-93 [52, 53]. Подобные стандарты по классификации чистоты авиатоплива имеют страны Европы, США и Канады. Отечественные самолёто- двигателестроительные компании для своих систем (автоматического и дистанционного управления, автоматики авиадвигателей) назначают более высокие нормы: 5…7 классов, в том числе и для заправляемых жидкостей [15].

Согласно требованиям ГОСТ 10577, массовая доля механических примесей в авиатопливе при заправке ВС, не может превысить 2 г/т (0,0002 % массы), что соответствует 6...7 классам чистоты по ГОСТ 17216 при анализе гранулометрического состава загрязнений [15].

Международная ассоциация авиационного транспорта рекомендует в качестве норм предельно допустимой концентрации механических примесей и воды в авиационных топливах 0,00012% и 0,003% от массы топлива т.е. 1,2 г/т и

30 г/т соответственно, как показано в таблице 1.1.

В ИАТА Руководящий материал по спецификациям на авиационное топливо для газотурбинных двигателей указывает Предупредительный предел – 0,2 мг/л. Браковочный предел – 1 мг/л. (рисунок 1.2). В РФ приказом № ДВ-126 от 17 октября 92г. П 5.1.11. использование рекомендованных средств обеспечивает очистку топлива: от механических примесей 0,0002% масс (2г/тонну) воды не более 0,003% масс. (рисунок 1.2).

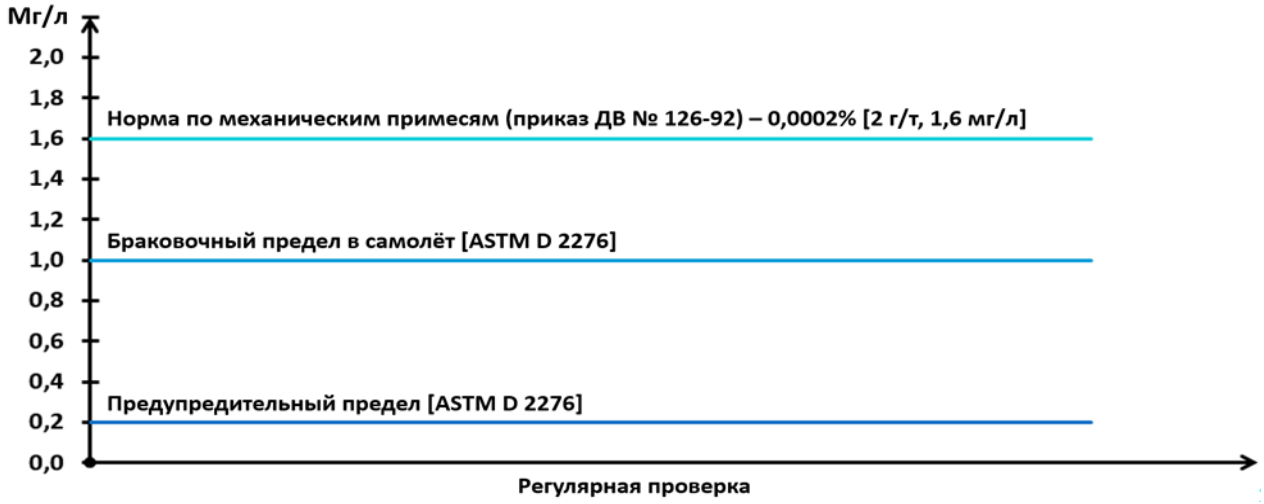


Рисунок 1.2 – Различия нормативных требований к уровню чистоты авиатоплива

Размеры частиц механических примесей в авиатопливе при его выдаче со склада ТЗК аэропорта регламентируется «Руководством по приему, хранению, подготовке к выдаче на заправку и контролю качества авиационных горюче-смазочных материалов и специальных жидкостей в предприятиях гражданской авиации Российской Федерации»: «выдача авиакеросина должна производиться через пункт фильтрования с фильтроэлементами с характеристиками, соответствующими или превосходящими характеристики фильтра-сепаратора СТ-2500» [20, 144]. Номинальная тонкость фильтрования лучших образцов фильтроэлементов для фильтра СТ-2500 составляет 3 мкм. Помимо «Руководства» [144], размеры частиц механических примесей в авиатопливе при его выдаче со склада авиаГСМ организации авиатопливообеспечения аэропорта регламентируется ГОСТ Р 52906 [53, 205]. В отличие от «Руководства» [144], в стандарте [53, 205], значение этого показателя задано прямо: «номинальная тонкость фильтрации – не более 3 мкм». [15].

Международные требования к нормам промышленной чистоты авиатоплива описаны в DOC9977- «Руководство по поставкам реактивных топлив в гражданской авиации ИКАО» [20, 146]. Сравнительные данные различий в требованиях представлены в таблице 1.2. Концентрация частиц механических примесей в авиатопливе описывается посредством массовой доли загрязнителя в суспензии – отношения массы частиц загрязнителя, находящихся в суспензии, к ее массе (г/тонна) и должна составлять не более 0,0002% по массе (2,0 г/т) [20, 51, 52, 53].

Таблица 1.1. Нормативные требования ИАТА к контролю уровня чистоты авиатоплива (перевод руководства по качеству изд.12)

СХЕМА ОТБОРА ПРОБ	**ПЕРИОДИЧОСТЬ ОТБОРА ПРОБ**		**МЕТОД ИСПЫТАНИЯ**	**ПРЕДЕЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ**
	ВЕЩЕСТВА В ВИДЕ ЧАСТИЦ	**НЕРАСТВО-РЕННАЯ ВОДА**		
ТОПЛИВО-ЗАПРАВЩИК	После налива		Осмотр топлива в стеклянном сосуде (не менее 1 литра)	Чистый и прозрачный
		До заправки топливом	Осмотр и проверка детектором обнаружения воды. См. п.7.2	Не более 30 ppm при температуре подачи топлива
АВТОЦИ-СТЕРНА	Ежемесячно колориметрическая оценка. раз в полгода весовой анализ		ASTM D2276/IP216 (5литров пробы) См.п. 7.3	Предупредительный предел 0,2мг/л **Браковочный предел- 1.0 мг.л**
	Ежедневно		Осмотр топлива в стеклянном сосуде (не менее 1 литра)	Чистый и прозрачный
ГИДРАНТ ДИСПЕНСЕР		Во время заправки топливом	Осмотр и проверка детектором обнаружения воды. См. п.7.2	Не более 30 ppm при температуре подачи топлива
	Ежемесячно колориметрическая оценка. раз в полгода весовой анализ		ASTM D2276/IP216 (5литров пробы) См.п. 7.3	Предупредительный предел 0,2мг/л **Браковочный предел- 1.0**

Таблица1.2. Требования приказа ДВ-126 по проведению контроля качества авиатоплива

Вид контроля	**Периодичность контроля**	**Руководство по приему, хранению, подготовке к выдаче на заправку и контролю качества авиаГСМ, 1993 г.**
Входной	При поступлении каждой новой партии	-Установление соответствия, марок нефтепродуктов, поступающих транспортных средств и тары, а также количества находящегося в них продукта согласно сопроводительной документации; - Оценка чистоты поступивших авиаГСМ
Приемный	После окончания наполнения резервуара	• Исключение возможности вовлечения в технологические линии или смешивания авиатоплива с другими марками или некондиционного топлива
Складской	Через 6 месяцев после начала хранения	• Определение уровня изменения параметров качества авиатоплива
Аэродромный	Перед выдачей в ТЗ / заправочный агрегат	• При удовлетворительных результатах контроля чистоты авиатоплива в нижней точке трубопровода. в расходном резервуаре и агрегате заправки, средствах фильтрации и водоотделения производится выдача разрешения на заправку

Из номенклатуры показателей качества (НПК) топлив для реактивных двигателей можно выделить наиболее весомые показатели качества и коэффициенты их весомости (КВ).

Все показатели качества авиатоплива четко распределяются по рангу в соответствии с их весомостью, что дает возможность принимать более объективные решения по определению стандартной номенклатуры показателей качества, составлению перечней показателей качества по видам анализов при контроле качества топлива в ГА.

Наибольшие коэффициенты весомости среди показателей качества авиатоплива имеют показатели содержания в авиатопливе механических примесей и воды [210] «Содержание механических примесей и воды».

Уровень загрязненности авиатоплива механическими примесями изменяется на протяжении всех этапов его транспортировки. В произведенном на нефтезаводе авиатопливе уровень содержания механических примесей составляет, как правило 0,5…1,5 г/т [20, 172], а на момент отпуска со склада готовой продукции загрязненность авиатоплива обычно не превышает 3 г/т [22]. В процессе

транспортировании авиатоплив их загрязненность увеличивается и достигает в среднем 4,4 г/т [20, 170, 172, 179]. В некоторых случаях загрязнение принимаемого в ТЗК авиатоплива доходит до 20 г/т [181]. Уровень механических примесей в донных пробах авиатоплива из железнодорожных цистерн, прибывших в ТЗК аэропорта, достигает 94 – 115 г/т с размерами частиц 40 – 150 мкм [7, 20, 69, 89, 92, 170, 172, 182].

Другим опасным загрязнителем авиатоплива является свободная (эмульсионная) вода. Появление в авиатопливе эмульсионной воды при понижении температуры и повышени влажности воздуха в полете ВС, вызывает ее кристаллообразование , обледенение оборудования топливных систем, и приводит нарушению работы двигателей ВС [181], вплоть до их остановки. Количество воды в топливе нормируется отечественными нормативами и международными требованиями [143, 144, 145, 162, 174]. Максимально допустимое содержание свободной воды в авиатопливе составляет не более 5 мг/кг (т.е. 0,0005%) [181].

Из анализа НТД видно, что с целью обеспечения полетов ВС в заданных условиях эксплуатации и безопасности полетов требования к качеству авиатоплива строго регламентируются. Особенно эти требования предъявляются к содержанию в авиатопливе механических примесей и наличия воды и, согласно НТД, имеют нормативные показатели.

Таким образом, в процессе обеспечения полетов ВС авиаГСМ в условиях роста интенсивности топливозаправочной деятельности обеспечение соответствия требуемых НТД показателей качества авиатоплива достигается путем применения средств непрерывного контроля и оценки качества авиатоплива.

1.2 Современные методы и средства контроля качества авиатоплива в системах авиатопливообеспечения аэропортов гражданской авиации

В аэропортах ГА контроль качества авиатоплива проводится на основании требований НТД и осуществляется в специализированных лабораториях. Для проведения контроля производится отбор проб авиатоплива. Отбор проб производится согласно апробированным методикам в строго указанных, согласно ТНД, точках отбора (рисунок 1.3).

Анализ проб осуществляется согласно требованиям следующих утвержденных стандартов или эквивалентных им документов:

- ГОСТ 2517—2012, НЕФТЬ И НЕФТЕПРОДУКТЫ Методы отбора проб;

- ГОСТ Р 8.580-2001 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСП). Определение и применение показателей прецизионности методов испытаний нефтепродуктов (с Изменением N 1);

- ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения;

- ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике;

- Стандарты ASTM (последнее издание).

Анализ авиатоплива должен осуществляться только в аккредитованной лаборатории.

Контроль качества авиатоплива, на предприятиях авиатопливообеспечения, производится визуально, инструментально, а также в сертифицированной лаборатории .

Рассмотрим существующие технологии и методы контроля качества авиатоплива с целью выявления их достоинств и недостатков, а также их

соответствия требованиям НТД по точности измерения загрязненности авиатоплива.

Лабораторный контроль качества осуществляет лаборатория авиаГСМ ТЗК с целью выявления отклонений значений показателей качества авиатоплива от нормативных, в процессе их проема, хранения, подготовки, а также с целью оценки пригодности авиатоплива к заправке ВС. Для оценки авиаГСМ используют представительные пробы, отобранные на различных этапах авиатопливообеспечения, а именно из:

- средств транспортировки (трубопроводы, железнодорожные цистерны, танкеры);
- резервуаров и емкостей хранения авиаГСМ;
- средств заправки, фильтрации, водоотделения авиаГСМ.

Согласно действующей НТД, контроль качества авиаГСМ с целью подтверждения соответствия его качества требованиям стандартов, норм и правил РФ, а также с целью обнаружения загрязнения или ухудшения его свойств, проводится путем лабораторных анализов проб по установленным показателям, а также визуальным экспресс контролем. Отбор проб авиатоплива выполняется по всему пути его движения, начиная с площадки приема от поставщика и заканчивая топливными баками ВС. Система фильтрации авиатоплива в условиях ТЗК аэропорта предусматривает четыре ступени фильтрации (рисунок 1.3). Точки отбора проб приурочены к зонам наиболее вероятного скопления механических примесей и свободной воды (нижние точки трубопроводов и цистерн автотопливозаправщиков, отстойники фильтров и т.п.).

Визуальный и аэродромный контроль. Эти проверки являются «полевым» контролем качества, подтверждающим приемлемое качество топлива. Производятся в случаях, когда требуется оперативный контроль качества на всех этапах авиатопливообеспечения, а также для целей аэродромного контроля качества, выполняемого перед заправкой ВС, в том числе по требованию членов экипажа.

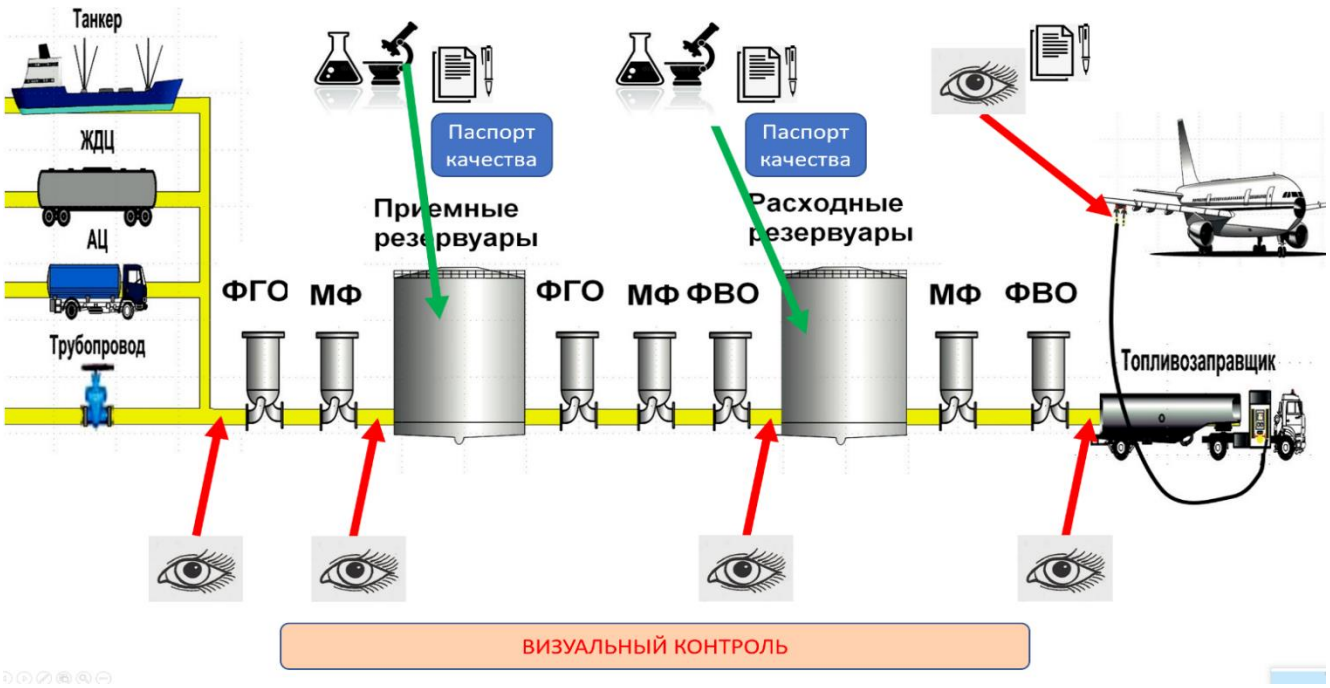


Рисунок 1.3 – Типовая схема системы фильтрации авиатоплива в ТЗК аэропорта: I — фильтрация при приеме авиатоплива из различного вида транспорта в приемный резервуар; II - фильтрация при перекачках авиатоплива после отстаивания из приемного резервуара в расходный; III — фильтрация авиатоплива при выдаче на заправку; IV — фильтрация при заправке авиатоплива в ВС

Для визуального контроля реактивного топлива используются приспособление ПОЗ-Т, или гидрокомплект фирмы Velcon, или детектор для определения содержания воды фирмы Shell.

При визуальной оценке проб топлива используют следующие показатели:

1. Нерастворенная (свободная) вода, которая появляется в виде капель на боковых стенках сосуда или в виде объемной воды на дне пробоотборника. В реактивном топливе она может также появиться как облако или взвесь (взвешенная вода).

2. Твердые частицы (механические примеси), обычно состоящие из небольших количеств ржавчины, песка, пыли и т.д., могут находиться во взвешенном состоянии в топливе и оседать на дне емкости.

3. Термины "прозрачный" и "чистый" употребляются независимо от естественного цвета топлива. "Чистый" - отсутствие в топливе осадка, эмульсии.

"Прозрачный" – топливо имеет как бы искрящийся (сверкающий) внешний вид без помутнения или наличия тумана.

При наличии воды или грязи проводится, дренирование (удаление, слив в дренаж из отстойных зон) резервуара и повторный отбор пробы до тех пор, пока проба не будет прозрачной и чистой [144].

Гравиметрический (весовой) анализ - определение массы содержания механических примесей (ГОСТ 10577) гармонизирован с зарубежным методом ASTM 2276 и является приближенным аналогом ГОСТ 10577) П 4.1 Метод, установленный настоящим стандартом, заключается в определении веса механических примесей, задерживаемых мембранным (нитроцеллюлозным) фильтром при фильтровании через него испытуемого нефтепродукта. Применение метода предусматривается в стандартах и технических условиях на светлые нефтепродукты. Метод не применим для анализа нефтепродуктов, содержащих свободную воду в количестве более 0,1%.

Содержание в испытуемом нефтепродукте механических примесей (X) в процентах вычисляют по формуле:

$$\boldsymbol{X = \frac{G_1 - G_2}{G_3} \cdot 100}, \qquad (1.1)$$

где: $\boldsymbol{G_1}$— вес часового стекла с мембранным фильтром и механическими примесями в *г*;

$\boldsymbol{G_2}$ — вес часового стекла с чистым мембранным фильтром в *г*;

$\boldsymbol{G_3}$— вес профильтрованного нефтепродукта в *г*.

Содержание механических примесей вычисляют с точностью до 0,0001%.

Настоящий метод испытания обеспечивает гравиметрическое (весовое) измерение загрязнений в виде частиц, присутствующих в образце авиационных топлив. Определение проводят для сведения к минимуму этих загрязнений, чтобы избежать забивки фильтра и других проблем при эксплуатации. Для всех точек в системах распределения топлива в настоящее время не установлены допустимые уровни загрязнений в виде частиц, однако измерение общего загрязнения обычно представляет наибольший интерес.

Таким образом, в лабораторных условиях содержание механических примесей определяют массовым методом по ГОСТ 10577—78. При этом содержание механических примесей в топливе превышает количество, оцененное с помощью зарубежного метода ASTM 2276, имеющего другое аппаратурное оформление. Этим в значительной мере определяется различие в нормах на содержание механических примесей в отечественных и зарубежных топливах.

Гранулометрический метод определения уровня загрязненности.

Хотя контроль по гранулометрическому составу загрязнений и более трудоемкий, но дает основания для интерпретации результатов, а также позволяет увеличить точность, стабильность и достоверность контроля.

Гранулометрический анализ, еще его называют фракционным (размерность частиц), характеризует класс промышленной чистоты по ГОСТ 17216 «Определение уровня загрязненности твердыми частицами методом счета под микроскопом с использованием проходящего/отраженного света» (ГОСТ ИСО 4407—2006). Сведения о соответствии межгосударственных стандартов ссылочным международным (региональным) стандартам показаны в таблице 1.3.

Таблица 1.3. Сведения о соответствии межгосударственных стандартов ссылочным международным (региональным) стандартам.

Обозначение ссылочного международного стандарта	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта Российской Федерации
ИСО 3722:1976	
ИСО 4406:1999	ГОСТ 17216 — 2001 Чистота промышленная. Классы чистоты жидкостей

Настоящий стандарт устанавливает методы определения степени загрязненности твердыми частицами (далее — частицы) жидкостей, используемых в гидросистемах, путем подсчета частиц на поверхности мембранного фильтра с помощью оптического микроскопа. Подсчет частиц и анализ изображений проводят

двумя ручными методами при использовании системы проходящего или отраженного света (рисунок 1.4).

Устанавливаемые настоящим стандартом методы применяют для подсчета частиц размерами не менее 2 мкм, при этом точность результатов зависит от используемой оптической системы и способностей оператора.

Определение размеров частиц. Частицы классифицируют на требуемые размерные интервалы. Выбранные размеры зависят от конкретных требований, но должны включать в себя некоторые или все из следующих размеров:> 2,> 5,> 15,> 25, >50 и > 100 мкм, — для соответствия системам кодирования загрязнений (рисунок 1.5 и 1.6). Если данные требуются в размерных диапазонах, то проводят дифференцированные подсчеты с последующим расчетом накопленных результатов. Волокна включают в подсчет для размеров более или равных 100 мкм и идентифицируют отдельно.

Результат общего подсчета в 100 мл пробы числа частиц N размером больше выбранного находят по формуле:

$$\boldsymbol{N = \frac{A \cdot n \cdot 10^5}{f \cdot L \cdot W \cdot V} \cdot 100}, \qquad (1.2),$$

где, $\boldsymbol{A}$ — рабочая зона фильтрования (РЗФ) мембранного фильтра, мм^2;

$\boldsymbol{n}$ — подсчитанное число частиц больше выбранного размера;

$\boldsymbol{f}$ —число подсчитанных единичных зон;

10^5 — фактор нормализации использованных единиц измерений;

$\boldsymbol{L}$ —длина единичной зоны, длина размера координатной сетки либо длина диаметра, мм;

$\boldsymbol{W}$ — ширина единичной зоны, мкм;

$\boldsymbol{V}$ —объем отфильтрованной жидкой пробы, мл;

100 —объем пробы, к которому относят результат подсчета, мл.

Проверка данных подсчета частиц:

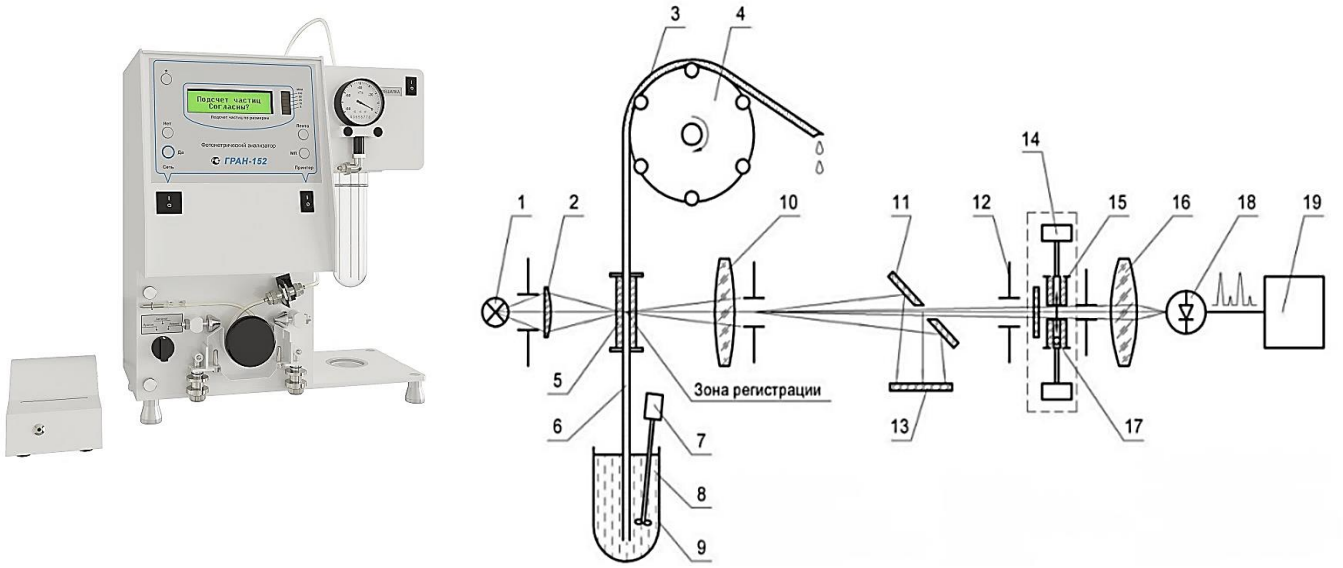
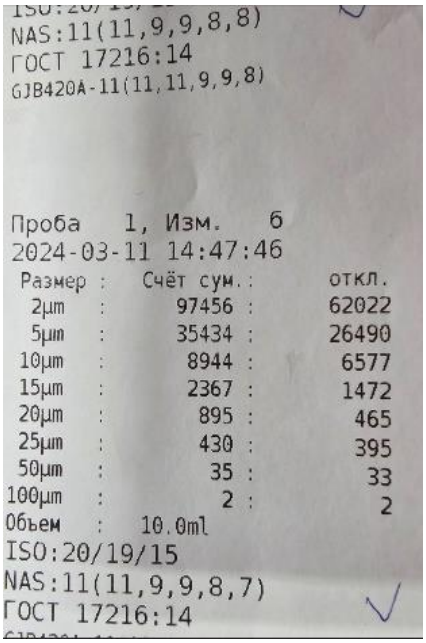


Рисунок 1.4 – Внешний вид (а) и схема (б) гранулометрического анализатора ГРАН 152: 1 - излучатель; 2 - линза; 3 – прозрачная трубка; 4 - гидронасос; 5 – изм. камера; 6 - пробозаборная трубка; 7 - гомогенизатор; 8 - проба топлива; 9 - пробозаборная емкость; 10 - линза; 11 - зеркало; 12- диафрагма; 13 - экран; 14 - вибратор калиброванной частицы; 15 - калибровочная ячейка; 16 - линза; 17 – калиброванная частица; 18 - фотоприемник; 19 - микропроцессор


NAS:11(11,9,9,8,8)
ГОСТ 17216:14
GJB420A-11(11,11,9,9,8)

Проба 1, Изм. 6
2024-03-11 14:47:46

Размер	Счёт сум.	откл.
2µm	97456	62022
5µm	35434	26490
10µm	8944	6577
15µm	2367	1472
20µm	895	465
25µm	430	395
50µm	35	33
100µm	2	2

Объем : 10.0ml
ISO:20/19/15
NAS:11(11,9,9,8,7)
ГОСТ 17216:14

Рисунок 1.5 – PAMAS S-40 анализатор промышленной чистоты жидкостей

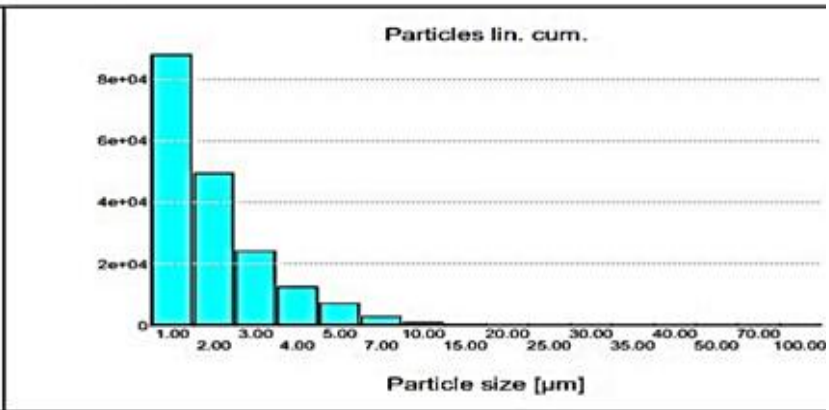
PAMAS Partikelmess- und Analysesysteme

PMA-Particle Measuring and Analysing Software

PAMAS PMA Program v2.4.3.0 u 08.04.202

Measurement file	: C:\PAMAS\PMA v2.4.3.0u\kerosene test.mes
Sample ID	: mgtuga
Customer	: -
Sampling location	:
Sampling date	: 18.07.2023
measured at	: 08.04.2024 17:24:28
User	: Kolyadin
Counter	: ID: SYS-3216 v5.7 S#: R33-1A0CFE1A0000
Sensor	: L-5050-4676
Comment	:
Print	: Measurement 4
Measured volume	: 10.0 ml
Analysed Volume	: 100 ml
Dilution Factor	: -
ISO 4406	: 16/13/8
NAS 1638	: 5 (5, 2, 3, 00, 00)
GOST 17216-71	: 9

Diameters	cumulative
> 1.00 µm	88090
> 2.00 µm	49420
> 3.00 µm	24190
> 4.00 µm	12410
> 5.00 µm	7100
> 7.00 µm	2800
> 10.00 µm	840
> 15.00 µm	180
> 20.00 µm	120
> 25.00 µm	50
> 30.00 µm	30
> 35.00 µm	20
> 40.00 µm	20
> 50.00 µm	0
> 70.00 µm	0
> 100.00 µm	0



Diameters	differential
1.00 - 2.00 µm	38670
2.00 - 3.00 µm	25230
3.00 - 4.00 µm	11780
4.00 - 5.00 µm	5310
5.00 - 7.00 µm	4300
7.00 - 10.00 µm	1960
10.00 - 15.00 µm	660
15.00 - 20.00 µm	60
20.00 - 25.00 µm	70
25.00 - 30.00 µm	20
30.00 - 35.00 µm	10
35.00 - 40.00 µm	0
40.00 - 50.00 µm	20
50.00 - 70.00 µm	0
70.00 - 100.00 µm	0

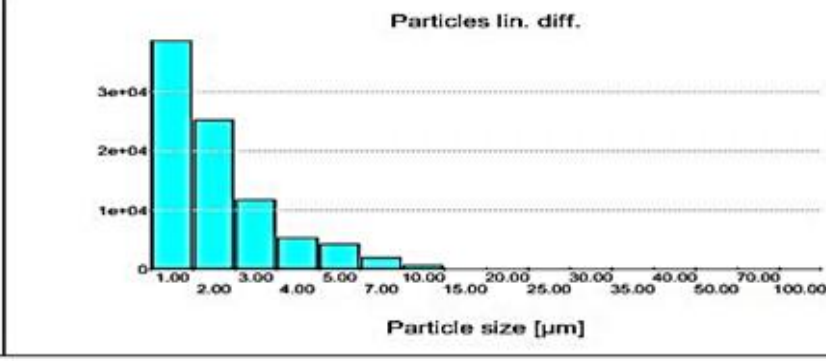


Рисунок 1.6 – PAMAS S40 отчет результатов анализа измерения частиц

Проверяют достоверность данных подсчета частиц до представления отчета:

- посредством контроля данных и подтверждения прогрессивного снижения числа частиц при увеличении их размера,

- или посредством изображения данных на графике загрязнения [Log NK ([Log d]^2), где d— размер частиц, ИСО 4406] и проверки резкого

снижения числа частиц при увеличении их размера или очень небольшого изменения результатов подсчета при увеличении размера.

Оба метода могут содержать ошибки вследствие неравномерного распределения частиц на мембранном фильтре. В этом случае данные проверяют на предмет наличия ошибок расчета и при достоверности пересчитывают для конкретного размера или размеров.

В местах применения стандарта АТА 103, где используется автоматический счетчик частиц, представлен отечественный на рисунке 1.4 и зарубежный аналог на рисунке 1.5, вместо испытаний миллипоровыми мембранами (колориметрическим или весовым методом), выполняется формирование отчетов по кодам ISO в следующих диапазонах: 4μm , >6μm , >14μm , >30μm, показаны на рисунке 1.6. Цифры в таблице (коды 19/17/14/13) представляют собой максимально достижимые коды ISO, допустимые для каждого диапазона. Важно, что значения по кодам ISO не представляют значения в мг/л, а показывают расчет количества частиц в измеряемом диапазоне (размера частиц). Таблицы X1.1, X1.2 и т.д. в стандарте ASTM D 7619 дают представление о количестве частиц, которое обозначает каждый (соответствующй) код.

Класс чистоты авиатоплива определяют согласно ГОСТ 17216-2001 в зависимости от числа частич загрязнителя (таблица 1.4).

Теория фотометрических автоматов подсчета частиц и определения классов промышленной чистоты.

Данный метод основан на принципах теории Ми, утверждающей, что угол рассеяния обратно пропорционален размеру частицы. Малые частицы рассеивают луч лазера на больший угол, чем большие.

Главным компонентом каждого лазерного счетчика частиц является Фурье-линза, которая фокусирует рассеянный свет лазера в пределах пути луча на детектор. Ее положение определяет ключевое различие между обычной и обратной конструкцией линзы Фурье.

Таблица 1.4. Зависимость класса чистоты жидкостей от числа частиц механических примесей по ГОСТ 17216-2001[181]

Классы чистоты

Класс чистоты жидкости	Число частиц загрязнений в объеме жидкости 100+0,5 $см^3$ не более при размере частиц, мкм									Масса загрязнений, %, не более
	от 0,5 до 1	св. 1 до 2	св. 2 до 5	св. 5 до 10	св. 10 до 25	св. 25 до 50	св. 50 до 100	св. 100 до 200	Волокна	
00	800	400	32	8	4	1	Отсутствие	А. О.	А. О.	Не нормируется
0	1600	800	63	16	8	2				
1		1600	125	32	16	3		Отсутствие	Отсутствие	
2			250	63	32	4	1			
3				125	63	8	2			
4				250	125	12	3			
5	Не нормируется			500	250	25	4	1		
6				1 000	500	50	6	2	1	0,0002
7				2 000	1 000	100	12	4	2	0,0002
8				4 000	2 000	200	25	6	3	0,0004
9				8 000	4 000	400	50	12	4	0,0006
10				16 000	8 000	800	100	25	5	0,0008
11				31 500	1 600	1 600	200	50	10	0,0016
12				63 000	31 500	3 150	400	100	20	0,0032
13					63 000	6 300	800	200	40	0,005
14					125 000	12 500	1 600	400	80	0,008
15						25 000	3 150	800	160	0,016
16						50 000	6 300	1 600	315	0,032
17							12 500	3 150	630	0,063

Применяются методы статического и динамического рассеяния света для исследования наночастиц и макромолекул в растворах (показаны на рисунке 1.7). Интенсивность и пространственное распределение рассеянного излучения зависят от соотношения между длиной падающей волны λ и размером частиц d, можно указать следующие диапазоны:

 рассеяние Рэлея (для частиц малых по сравнению с длиной волны d <λ/15);

 рассеяние Ми (для крупных частиц размером d> λ/15);

 дифракция Фраунгофера (d> λ).

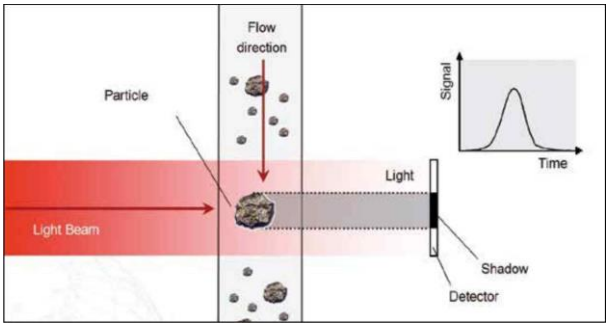


Рисунок 1.7 – Метод статического и динамического рассеяния света, на основе лазерного дифракционного анализатора

Лазерная дифракция.

Лазерная дифракция, или более точно Low Angel Laser Light Scattering (LALLS), становится приоритетным стандартным методом определения дисперсности частиц. Большинство лазерных дифракционных анализаторов позволяют определять дисперсность частиц в диапазоне от 0.1 до 2000 мкм. Метод основан на рассеяннии света от частиц с формированием дифракционной картины, при эотм угол рассеяния света универсально пропорционален размеру частиц (рисунок 1.8). Рассеянное частицами излучение регистрируется на разных углах чувствительными детекторами - фотодиодной матрицы. В случае наличия механических примесей в авиатопливе происходит рассеяние световых лучей (дифракция). При этом вычисляется зависимость угла и интенсивности рассеянного излучения от размера частиц механических примесей и длиной волны лазера (последняя постоянна). Измерение индикатрисы и последующая программная обработка результатов позволяет за считанные минуты определить характер распределения частиц по размерам (дисперсионный состав) данной системы.

В промышленности России для контроля чистоты рабочих жидкостей с автоматизированным счетом количества частиц загрязнений в гостированной пробе объемом 0,1 литра используют оптико-электронные приборы типа ПКЖ 904, ПОТОК-905, ФС-152 и др. Указанные приборы основаны на единых физических принципах

измерения и анализа по амплитуде и временному интервалу отраженного или затененного луча света от твердых частиц загрязнений, Однако при их применении возникают трудности интерпретации результатов из-за различных методик тарировки, на различных эталонных частицах, из-за конструктивных особенностей счетной зоны. До настоящего времени нет результатов сравнительных испытаний указанных приборов. Эти факты объясняются также отсутствием методики оценки основных метрологических параметров (приборной погрешности, надежности и достоверности измерений).

Рисунок 1.8 – Метод определения размеров частиц на основе рассеяния света и угла рассеяния света

Это, в большей части, лабораторные приборы по подсчету количества частиц. Недостаток этого метода в том, что тень не отражает реальных размеров частицы, а вес вычисляют, математически (полином) принимая плотность средней.

Однако в процессе контроля качества авиатоплива нашли широкое применение экспресс методы:

- визуальной контроль в проходящем свете (рисунок 1.9)

- инструментальный контроль.

На сегодняшний день наиболее популярным средством определения нерастворенной воды в топливе, в частности реактивном авиатопливе, является химический метод. Для этого используются анализаторы уровня чистоты топлива.

Анализаторы уровня чистоты топлива (далее АУЧТ) - предназначены для экспресс-анализа авиатоплива, находящегося в средствах транспортирования,

хранения, заправки, технологическом оборудовании на наличие в нем эмульсионной воды и механических примесей, не определенных визуально. АУЧТ применяются в комплекте с приспособлением, дозирующим ПОЗ-Т (рисунок 1.10).

Рисунок 1.9 – Визуальный контроль в проходящем свете

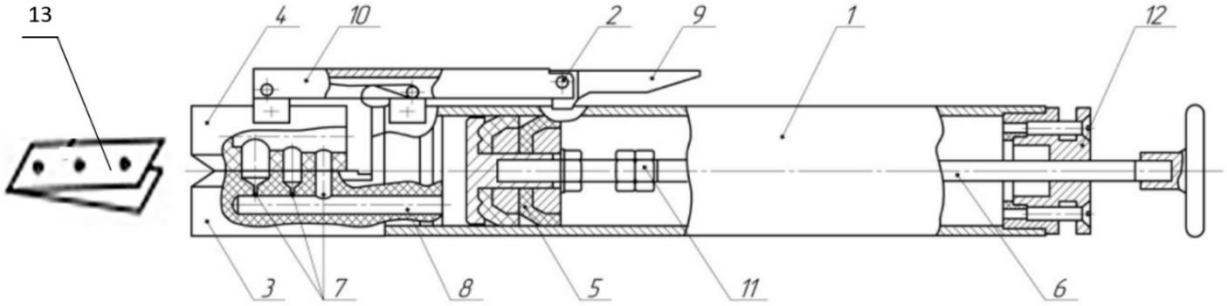


Рисунок 1.10 – Приспособление ПОЗ-Т для определения загрязнений в авиатопливе

1 - корпус; 2 - механизм открытия- закрытия датчика; 3 - основание; 4 - крышка; 5 - поршень; 6 - шток; 7 - калиброванные отверстия; 8 - топливный канал; 9 - хвостовик с кулачком; 10 - рычаг механизма открытия-закрытия; 11- регулировочная гайка; 12 – крышка; 13 - индикатор качества топлива (ИКТ)

При определении наличия механических загрязнений и эмульсионной воды в авиакеросине, чувствительность АУЧТ отвечает установленным

требованиям и практически идентична чувствительности штатных ИКТ, рекомендованных ранее к применению в ГА для проведения аэродромного контроля качества авиационных топлив наравне с ранее рекомендованными индикаторами ИКТ по ТУ 7563-429-04838763-2013.

Приспособление ПОЗ-Т представляет собой шприц из нержавеющей стали на 50 мл с пластмассовым зажимом, фиксирующим индикатор качества топлива (ИКТ), который предназначается для определения уровня загрязненности авиационного керосина или топлива AVGAS механическими примесями (твердыми частицами) и эмульсионной водой (свободной водой). ИКТ состоит из двух пропитанных химреагентами слоев аналитической ленты, которые при наличии загрязнения меняют свой цвет (рисунок 1.11). Для обнаружения механических примесей используется первый индикаторный слой - белый. При наличии механических примесей на ленте появляются темные серо-коричневые пятна. Количество механических примесей определяется по интенсивности окраски этих пятен. При наличии в топливе эмульсионной воды на желтом слое появляются пятна синего цвета. По количеству пятен определяется уровень содержания воды в топливе.

Данный вариант «полевого» анализа достаточно точен в вопросах, когда необходимо выяснить превышение определенного значения концентрации. Например, фирма Parker Velcon производит устройство «Velcon Hydrokit» для двух пороговых значений концентраций: 15 и 30 объемных единиц на миллион. Фирма Shell производит устройство «Shell Water Detector», реакционная часть которого изменяет свой цвет, реагируя на присутствие воды от 10…15 ppm (0,001-0,0015% масс.), при этом цвет детектора претерпевает изменения от слабо желтого до более насыщенного зелено-желтого цвета по мере увеличения концентрации воды в авиационном топливе. В случае наличия воды на уровне 30 ppm (0,003 % масс.) и выше цвет капсулы детектора насыщенно сине-зеленый вплоть до темно-синего. Однако данный метод не позволяет анализировать топливо в потоке.

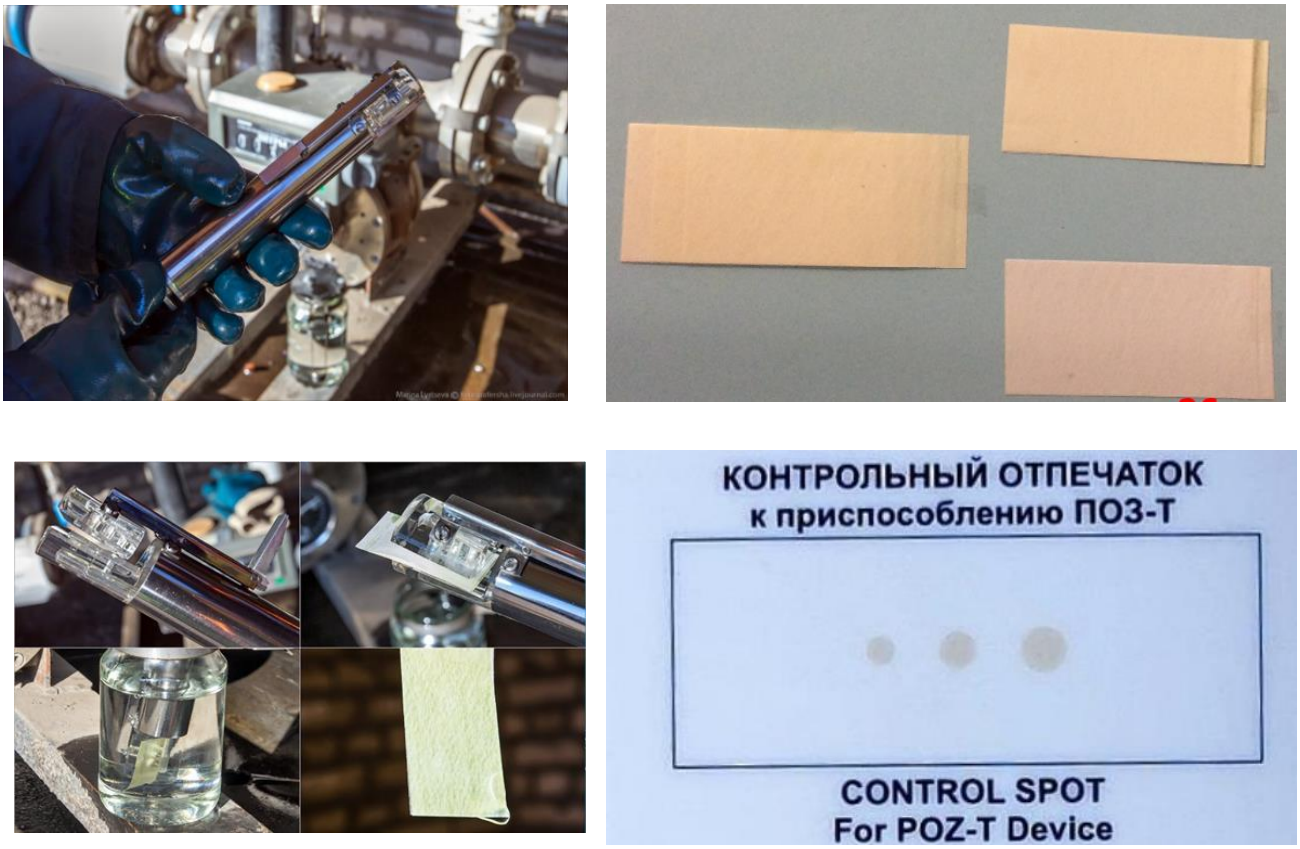


Рисунок 1.11 – Применение ПОЗ-Т, ИКТ- индикатор качества топлива, контрольный отпечаток

Контроль реактивного топлива с помощью мембранных фильтров.

Контроль чистоты авиатоплива проводят на основании требований ASTM D2276/IP 216 "Метод определения содержания загрязнения частицами авиатоплива для ГТД"[22] и включает в себя подготовку мембранного фильтра, испытание и окончательную оценку. Для испытаний отбирают пробу в количестве 5 л и после фильтрации через мембранные фильтры дают колориметрическую оценку результата.

Колориметрическая оценка влажной мембраны после отбора пробы обеспечивает быстрым и точным показателем чистоты авиационного топлива. Если топливо загрязнено, верхняя мембрана (входящий поток) может быть значительно темнее по цвету после испытания, чем нижняя мембрана. Если топливо содержит растворимые цветные тела, тогда обе мембраны будут окрашены в результате

испытания. После испытания влажные мембраны должны быть высушены и затем оценены рекомендуемым способом по колориметрическим эталонам ASTM.

Колориметрические оценки проводят следующим образом: если разность между оценкой верхней и нижней мембран (в сухом состоянии) составляет 3 единицы или более, топливо не может быть допущено к применению. Чтобы определить, есть ли проблема, необходимо проводить немедленное расследование, включающее весовой анализ с помощью мембранного фильтра и осмотр корпуса фильтра, до тех пор, пока не будет установлена причина возникновения проблемы, и не будут получены удовлетворительные результаты дополнительного испытания с помощью двух мембран или весового анализа.

Для проведения колориметрического анализа топлива по ASTM D 2276 применяют набор оборудования в версии исполнения и комплектации Millipore Shell Type Field Sampling Kit (рисунок 1.12). Расходные материалы представляют собой оперативный комплект для отбора проб и проведению колориметрического теста в соответствии с ASTM D 2276/IP 216 «Топливо авиационное. Метод определения содержания механических примесей с помощью выборочного контроля на производственной линии». Оборудование для отбора проб по ASTM D 2276, универсально для колориметрического и гравиметрического исследования содержания механических примесей в авиационном топливе.

Рисунок 1.12 – Millipore Shell Type Field Sampling Kit - набор для проведения анализа по ASTM D 2276

Испытания на мембарнных фильтрах выполняются для оценки результативности работы фильтроэлементов; данные мембраны имеют размер

ячеек в 0,8 микрометров.После проведения испытания мембраны должны быть высушены и затем оценены как рекомендуется цветографическим стандартом ASTM. Цветовой рейтинг должен оцениваться следующим образом: если разница в рейтинге сухой верхней и сухой нижней мембраны составляет 3 и более, то качество топлива может быть неприемлемым. С целью исключения человеческого фактора при проведении контроля качества авиатоплив в настоящее время все более широкое применение находят автоматизированные системы контроля. Фирмой AFGUARD предложен автоматический индикатор степени чистоты реактивных топлив "Поток-РТ", который определяет содержание воды в топливе. Данный прибор использует метод, основанный на изменении угла преломления луча лазерного источника излучения, отраженного от зеркала и проходящего через поток авиатоплива. В случае изменения показателя преломления, в момент прохождения через частицу воды, лазерный луч меняет направление, что и фиксирует детектор (рисунок 1.13). Индикация предельных значений: эмульгированная вода 0,03…0,06 %.

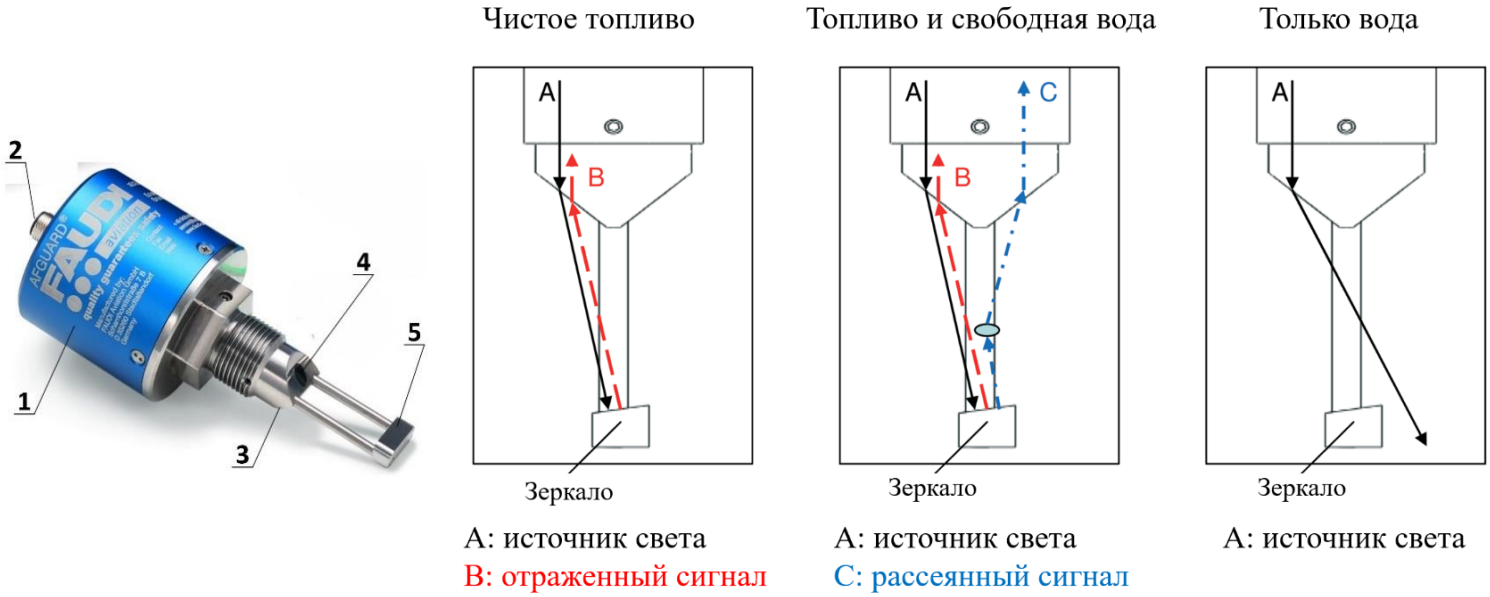
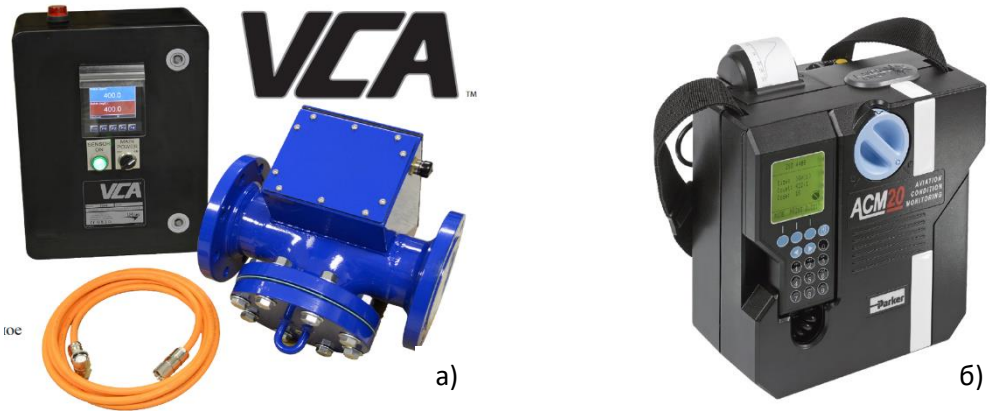


Рисунок 1.13 – Детектор свободной воды в потоке авиатоплива - AFGUARD® Free Water Sensor: 1- корпус; 2- коннектор (выход сигнала ОК: 4.0 mA и FAIL: 3,6 mA); 3-источник излучения; 4-приемник излучения; 5- зеркало

Velcon VCA (рисунок1.14. а) – этот анализатор является армейской полно-поточной системой с датчиками, которая одновременно обнаруживает загрязнения механическими примесями и водой в реальном времени. Анализатор VCA может обнаруживать отложения механические примеси и воду из трубопроводов складов ГСМ и средств заправки, в соответствии с уровнями чистоты стандартов ASTM D975 и ИСО 4406.

Анализатор VCA монтируется в трубопроводах системы авиатопливообеспечения, таким образом, обеспечивая полноценное отображение содержимого трубопровода. VCA анализирует авиатопливо при расходах свыше 1000 галлонов в минуту в трубопроводах диаметром 3,4 или 6 дюймов.

IcountACM20 - портативный счетчик частиц (рисунок 1.14.б). Первый полнофункциональный счетчик частиц, допущенный к применению в авиатопливах, был разработан на современном уровне технологий контроля чистоты в авиатоплива для газотурбинных двигателей в соответствии с методом стандарта IP 564 энергетического института (EI).



а) б)

Рисунок 1.14 –Внешний вид анализаторов чистоты авиатоплива фирмы Velcon:

а - анализатор чистоты авиатоплива Velcon (VCA) для мониторинга механических примесей и воды в режиме реального времени; б – счетчик частиц Icount ACM20

Рассмотрим возможную область его применения:

- лаборатории для испытаний топлива - DEFSTAN 91-91 (издание 6).

• распределительные терминалы нефтебазы: используются при приеме и отгрузке. Также обеспечивают проверки эффективности средств фильтрации, чистоты резервуаров и качества топлива.

• топливный склад аэропорта: контроль топлив на этапе хранения, на топливном складе, в гидрантной системе ЦЗС и в процессе заправки самолета.

В целях автоматизации заправочных операций, некоторые средства заправки оснащены программируемыми логическими контроллерами, которые предназначены для регулирования давления и расхода до заданных условий, а также автоматизации заправочных операций. Там, где установлено такое оборудование, необходимо, чтобы определенная, особо важная информация о давлении и расходе, была четко выведена на дисплей за пределами средства заправки. Непрерывное отображение всей информации предпочтительно, но для электронных индикаторов допускается одно единственное выборочное отображение.

Все средства заправки, оснащенные традиционным оборудованием управления заправкой ВС и регулирования давления или программируемыми логическими контроллерами, должны на мониторе отображать, как минимум, следующую информацию:

- перепад давления на фильтре;
- расход;
- давление заправки (давление насоса или Вентури);
- визуализация выполнения заправочных операций и транспортного положения средств заправки.

В соответствии с ФАП [2] проводится экспертная оценка чистоты авиатоплива и других показателей качества авиатоплива, выдаваемого на заправку ВС [20], оценка проводится на этапах от приема до выдачи на заправку, основываясь на положениях “Методики оценки соответствия”, утвержденной ФСВТ России 05.07.1999 г. Методология проведения работы гармонизирована с порядком проведения работ экспертами зарубежных авиакомпаний - членов ИАТА при оценке возможности заправки ВС в конкретном аэропорту. В процессе работы устанавливаются тенденция изменения уровня чистоты авиатоплива на этапах от

приема до выдачи на заправку, оценивается соблюдение действующих нормативов по уровню чистоты авиакеросина и эффективность работы используемых средств очистки авиатоплива [2, 20]. На основании результатов экспертного исследования, разрабатываются рекомендации по совершенствованию технологических процессов ТЗК.

Для оценки уровня чистоты исследуемых проб авиатоплива используются нормативы, установленные отраслевой нормативной документацией. Результаты исследований физико-химических и эксплуатационных показателей качества авиатоплива сравниваются с нормативными требованиями ГОСТ10227. Результаты испытаний по ГОСТ 10577 и 17216 сравниваются с банком данных, имеющимся в ЦС авиаГСМ ФГУП ГосНИИ ГА и результатами проведенных ранее исследований [20].

На первом этапе исследований оценка уровня чистоты авиатоплива проводится на местах отбора проб визуальным методом и с помощью индикаторов качества топлива (ИКТ). По результатам исследований проверяется соответствие ведомственному нормативу: не более 2 г/т по механическим примесям (не более 0,0002%) и не более 30 г/т по эмульсионной воде (не более 0,003%).

Результаты анализа проб авиатоплива весовым методом и определения гранулометрического состава загрязнений представляются в виде таблиц и диаграмм (рисунки 1.15 и 1.16) [20].

По внешнему виду загрязнения, отфильтрованные из проб, отобранных из системы авиатопливообеспечения, состоят из частиц различного размера черного, белого (прозрачные и матовые), серого, коричневого, красно-коричневого, бежевого, оранжевого, желтого цвета, волокон различного цвета и размера, а также стекловолокон и волокон черного цвета с металлическим отливом.

По результатам анализа материалов исследований оценивается уровень среднего значения статистических величин в приемных резервуарах и расходных резервуарах, трубопроводах перед фильтрами раздаточных пунктов, отстойниках фильтров-сепараторов и ННЗ.

При микроскопировании состава загрязнений определяется величина

класса чистоты по размерным группам частиц 5…10 мкм в пробах, отобранных из ж/д цистерн и расходного резервуара, и оценивается уровень максимальных значений статистических величин.

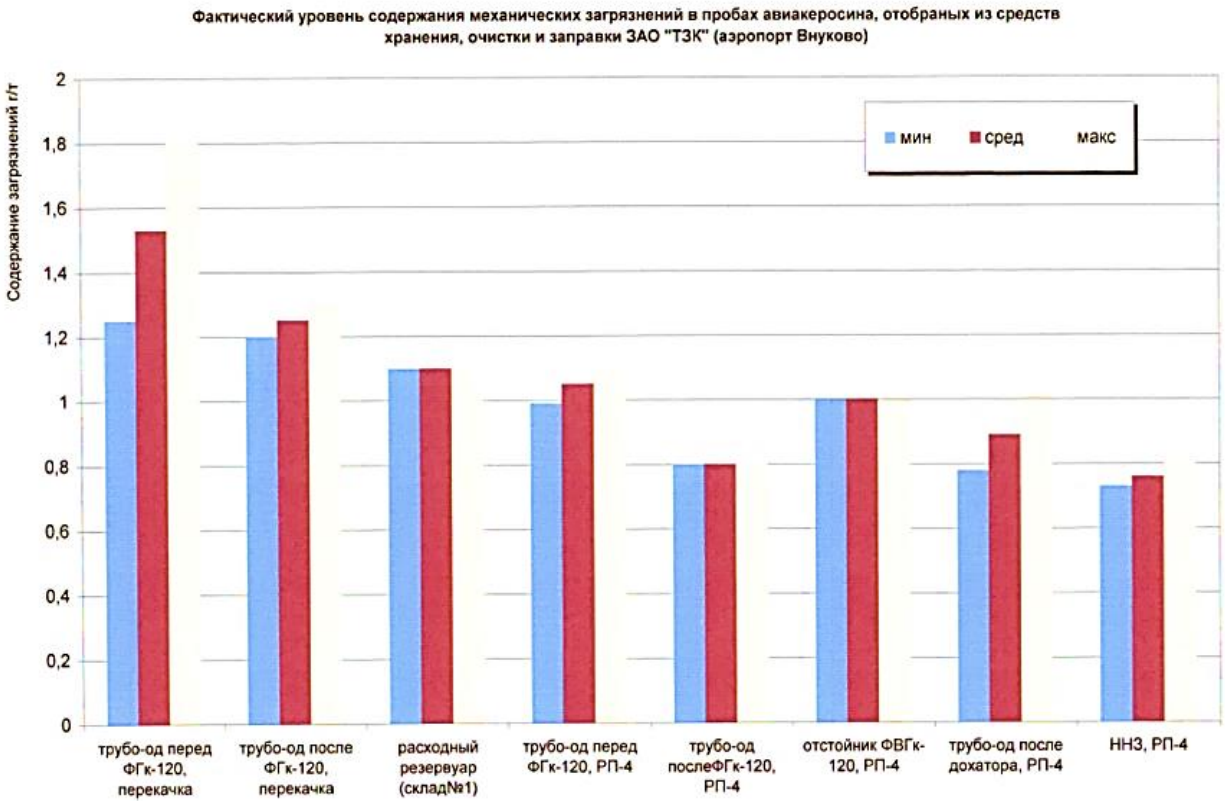


Рисунок 1.15 – Диаграмма динамики изменения уровня чистоты авиатоплива в оборудовании системы авиатопливообеспечения ТЗК

По размерным группам частиц 10…25, 25…50, 50…100, более 100 мкм и по волокнам во всех исследованных пробах оценивается уровень средних значений статистических величин.

Производится сравнительный анализ с результатами предыдущей проверки и делается вывод о годовой оценке чистоты, см. (рисунок 1.16).

Наблюдения за динамикой изменения уровня чистоты авиатоплива на всех этапах технологических процессов от приема до заправки ВС наглядно показывают, что наибольшей грязе- и влагоёмкостью обладает топливо, поступающее на склады ТЗК из средств транспортировки. Значительно меньше загрязнений наблюдается при фильтрации топлива на ступенях II и III, куда топливо попадает после отстаивания в приемном или расходном резервуарах.

Наименьшее число загрязнений зафиксировано при фильтрации авиатоплива на IV ступени фильтрации. Наибольший расход фильтрующих элементов приходится на I ступень фильтрации, где происходит очистка наиболее загрязненного топлива.

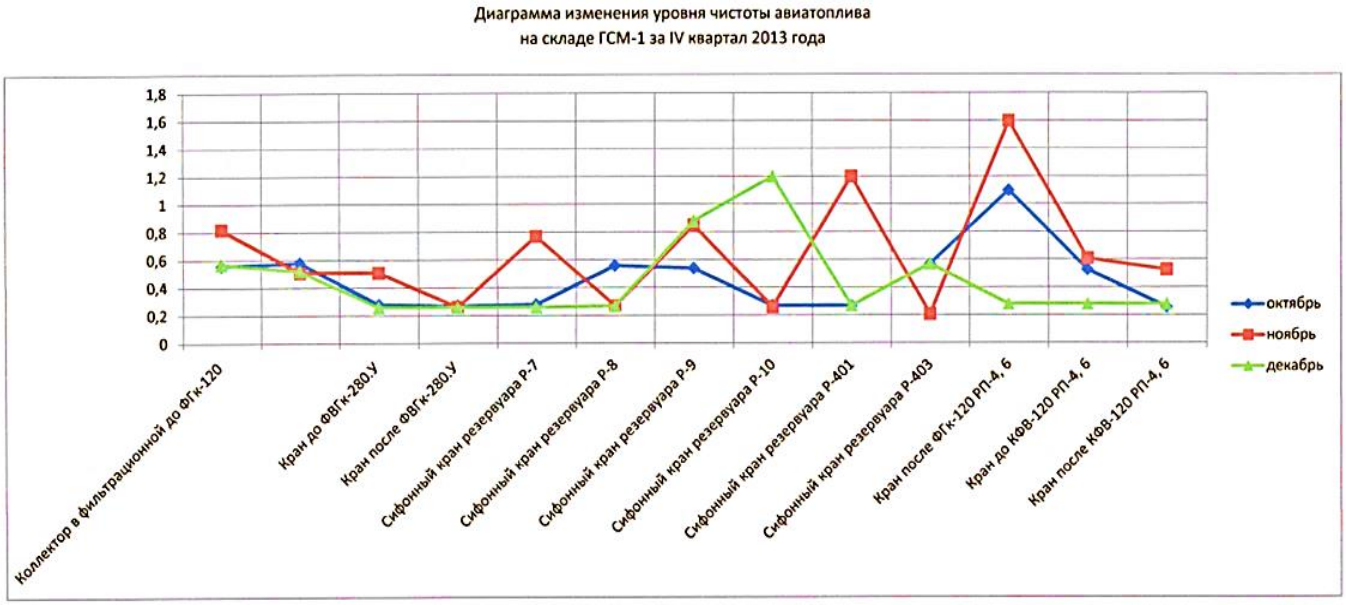


Рисунок 1.16 – Диаграмма динамики изменения уровня чистоты авиатоплива на этапах технологических процессов ТЗК

Анализ применяемого оборудования и методов контроля качества авиатоплива показал, что применение широкого спектра оборудования и апробированных методов позволяет осуществлять контроль качества авиатоплива. Однако каждый из методов имеет, кроме преимуществ, и недостатки. Существенным недостатком применяемых методов контроля качества авиатоплива является их дискретность, т.е. точечный контроль, который, кроме того, зависит от правильности отбора пробы для анализа. Применяемое оборудование позволяет, как правило, проводить анализ по одному показателю, а исследования являются продолжительными по времени и трудоемкости, что оказывает влияние на обеспечение регулярности полетов ВС. Кроме этого, применяемые методы контроля имеют низкую степень автоматизации, это является препятствием для их интеграции в системы коллаборативного взаимодействия (аэропорт, ТЗК, лаборатория, поставщики).

Таким образом, очевидна необходимость разработки инновационных

методов контроля качества авиатоплива в потоке, а также определение как весовых, так и размерных показателей загрязнения авиатоплива, что требует НТД.

1.3 Влияние чистоты авиатоплива на безопасность полетов воздушных судов гражданской и государственной авиации

Проблемы безопасности полетов ВС, связанные с качеством авиатоплива, в том числе, такие как отказы авиационной техники, на сегодняшний день являются мировой проблемой. Об этом свидетельствует директива ИКАО 9977 AN/489 [146], включающая в Систему управления безопасностью полетов процессы авиатопливообеспечения от нефтеперерабатывающих заводов до ВС. В РФ подобная система уже существует, однако не представлена в едином всеохватывающем документе [20].

Современный уровень обеспечения безопасности полетов предусматривает жесткие требования к качеству авиационного топлива для заправки ВС. Применение авиатоплива с превышением уровня содержания механических примесей, приводит к сокращению эксплуатационного ресурса агрегатов топливных систем и двигателей ВС и увеличению экономических расходов авиакомпаний.

Так в октябре 2005 года, в городе Феникс, США, на заседании Технической группы по авиационным топливам IATA, авиакомпания ALITALIA обнародовала данные о том, что за период с января по сентябрь 2005 года сотрудниками компании на самолетах «Boeing-767» было проведено 150 досрочных замен фильтроэлементов топливной системы. Что привело не только к прямым финансовым затратам, но и потерям из-за нарушения регулярности воздушных перевозок [3, 4, 10, 23, 109].

Безопасность полета ВС в значительной мере зависит от качества заправляемого авиатоплива [3, 187]. Одна из причин неисправностей топливорегулирующей аппаратуры авиадвигателей, это несоответствие качества авиатоплива нормативным требованиям. По статистике [3, 4, 10, 109] более 20 % аварий ВС связано с применением некондиционного авиатоплива (рисунок 1.17) [3, 187].

90 % авиационных катастроф, вызваны техническими неисправностями, с В их числе 50 % авиакатастроф произошло в результате отказа авиадвигателей ВС и электро- и гидросистем самолета, примерно 40 % (рисунок 1.18) [3, 4, 196, 201, 187].

В настоящее время, согласно статистическим данным [3, 4, 46, 187], количество авиакатостроф уменьшилось, с 2001 года число аварий самолетов составило менее 37 в год, для сравнения , в течении 1960-1970 годов произошло более 50-и аварий каждый год.

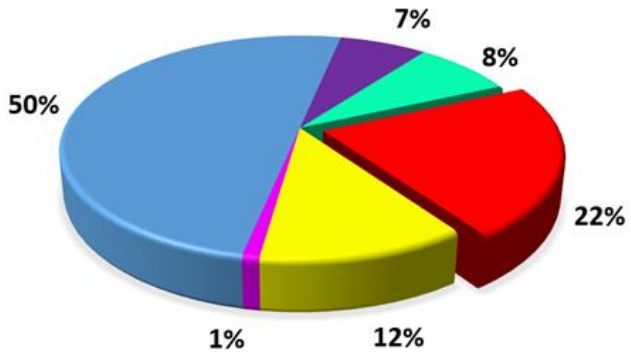


Рисунок 1.17 –Причины авиакатастроф [3,187]: 50 % — ошибки пилотирования; 7% — ошибки наземного обслуживания; 12 % — метеоусловия; 22 % — технические неисправности; 8 % — саботаж; 1 % — другие

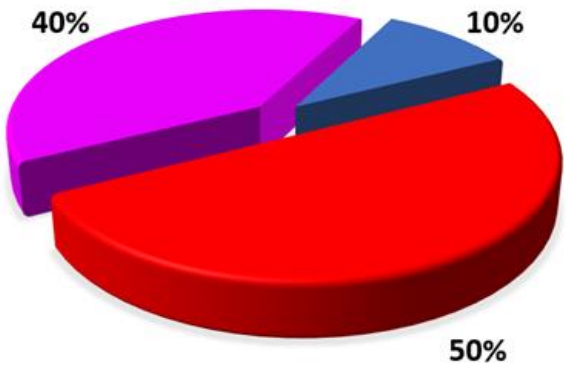


Рисунок 1.18 – Авиационные инциденты по техническим причинам [3,187]: 50 % — отказы ТРА и авиадвигателей ВС; 40% —отказы систем управления ВС; 10% — отказы других систем ВС

С повышением уровня автоматизации систем управления ВС, снизилось количество авиапроисшествий вызванных негативным влиянием человеческого

фактора. В месте с тем, возросло количество авиакатастроф связанных с техническими неисправностями систем ВС более 20 %, основной причиной авиакатастроф является отказ двигателей, надежность работы которых, в значительной мере зависит от качества авиатоплива. Основные причины авиакатастроф представлены на рисунке 1.17. Причины авиапроисшествий, в связи с некачественным авиатопливом:

а) превышение уровня содержания механических примесей;

б) применение несоответствующего сорта, марки авиатоплива;

в) отклонения показателей качества авиатоплива от стандартных;

г) длительное хранение авиатоплива или смешение с другими ГСМ [3, 15, 18, 20, 44, 187].

С целью оценки влияния качества авиатоплива на безопасность полетов, автором работы выполнен анализ статистических данных об инцидентах, авариях и катастрофах с ВС коммерческой ГА РФ в период с 2010 по 2023 год, учтенных в базе данных Автоматизированной системы обеспечения «Безопасность полетов» (АСО БП) по коду «028 топливная система» (ГОСТ 18675) [3, 20, 187]. Всего проанализировано 213 событий. Статистические данные ранжированы по группам [3, 4, 10, 18, 22, 33, 44]. Систематизированные сведения о причинах инцидентов и авиационных происшествий представлены в таблице 1.5 и на рисунке 1.19. Анализ статистических данных [3, 4, 44] показывает, что регистрируются шесть групп событий, связанных с работоспособностью топливной системы: некондиционность авиатоплива (первое место по числу событий – 55,40 %), отказы авиатехники (второе место – 34,74 %), человеческий фактор (третье место место – 7,98%), некачественный ремонт топливной системы (четвертое место – 0,94 %), недостатки технологии технического обслуживания топливной системы и воздействие метеоусловий (пятое и шестое места – по 0,47 %). То есть число событий с ВС по причине некондиционности авиатоплива в 1,24 раза превышает число событий, обусловленных всеми остальными причинами. Таким образом, важнейшим фактором, влияющим на надежность работы топливной системы ВС, является кондиционность авиатоплива [20].

Таблица 1.5. Причины инцидентов и авиационных происшествий, отнесенных к коду «028 топливная система» [20].

Причина события	Число событий по анализируемой причине заправки некондиционным топливом	Доля событий по анализируемой причине в общем количестве событий, %
1	2	3
Некондиционное авиатопливо (в т.ч. авиатопливо, заправленное перед рейсом)		
без указания причины некондиционности	34 / 32	15,96
вода в топливе	29 / 25	13,62
механические примеси в топливе	17 / 11	7,99
механические примеси в сочетании с водой и другими загрязнителями в топливе	9 / 8	4,22
Некондиционное топливозаправщика	2 / 2	0,94
отсутствие, недостаточная или избыточная концентрация противоводокристаллизационной жидкости в топливе	14 / 10	6,57
химические загрязнения	9 / 4	4,22
несоответствие топлива ТУ	3 / 2	1,41
непаспортизированное авиатопливо	1/1	0,47
Некондиционное авиатопливо (всего)	**118 / 95**	**55,40**
Человеческий фактор		
Незакрытие заправочных горловин топливных баков	9	4,22
Некачественное техническое обслуживание топливной системы	2	0,94
Недостаточный контроль со стороны экипажа за последовательностью выработки авиатоплива в полете	1	0,47
Посадка с остатком авиатоплива меньше минимального	1	0,47
Умышленная заправка экипажем в топливные баки самолета авиатоплива, марка которого не одобрена для применения на данном типе ВС	1	0,47
Нарушение технологии заправки	1	0,47
Умышленное внесение изменений в конструкцию топливной системы, приведшее к течи топлива в полете	1	0,47
Человеческий фактор (всего)	**17**	**7,98**
Отказы в работе узлов, агрегатов деталей топливных систем ВС	**74 (34 / 18)**	34,74
Некачественный ремонт топливной системы (всего)	**2**	**0,94**
Недостатки технологии технического обслуживания (всего)	**1**	**0,47**
Воздействие метеоусловий	**1**	**0,47**
Всего	**213**	**100,00**

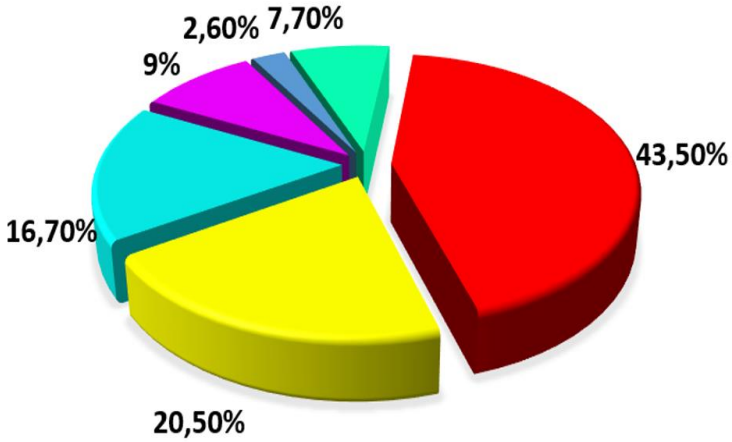


Рисунок 1.19 – Распределение причин инцидентов и авиационных происшествий, отнесенных к коду «028 топливная система» послуживших причинами инцидентов и авиационных происшествий из-за отказов авиадвигателей [20, 24]: 43,5%– некондиционное авиатопливо (без указания причины некондиционности); 20,5%– загрязнение авиатоплива механическими примесями; 16,7% – ненормативная концентрация ПВКЖ в авиатопливе; 9,0% – загрязнение авиатоплива водой; 7,7%– химические загрязнения в авиатопливе; 2,6%– несоответствие авиатоплива ТУ

Последующий анализ был посвящен выявлению событий, обусловленных недостатками методов обеспечения качества очистки авиатоплива от механических примесей и воды. Из дальнейшего анализа были исключены события, обусловленные неправильной концентрацией ПВКЖ и наличием химических загрязнений, так как ПВКЖ вносится после завершения технологического процесса очистки авиатоплива, а удаление химических загрязнений процесс очистки не обеспечивает [44, 69, 71, 94, 102, 135]. Также из анализа были исключены события, связанные с разрушением конструкции автомобильных топливозаправщиков и заправкой не паспортизированным авиатопливом (рисунок 1.20) [20].

Проведенный анализ показал, что обстоятельства, послужившие причинами отказов авиадвигателей, являются загрязнения авиатоплива механическими примесями, которые составляют 20,5% (рисунок 1.20).

Наличие в авиатопливе механических примесей (26 событий) и воды (29 событий) может быть подтверждением недостатков методов обеспечения качества очистки авиатоплива. События, отнесенные к действию факторов, обозначенных такими неопределенными терминами, как «некондиционность авиатоплива» (34 события) и «несоответствие авиатоплива ТУ» (3 события), не могут не включать в себя события, обусловленные наличием механических примесей и воды. Таким образом, далее анализировались события, вызванные воздействием механических примесей, воды, «некондиционного авиатоплива», «авиатоплива, не соответствующего ТУ» (всего 92 события) [20].

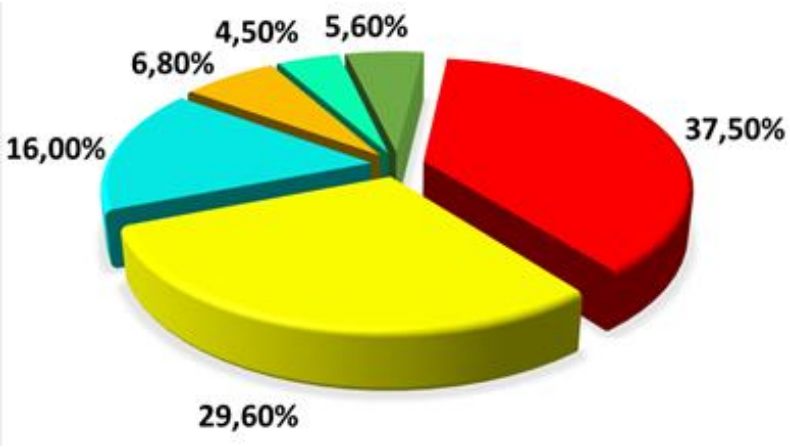


Рисунок 1.20 – Факторы некондиционности авиатоплива и причины отказов авиадвигателей ВС: 37,55%- кристаллы льда КРЛ ; 29,6% -механические примеси МП ; 16% осадки жидкой фазы и механические примеси ВЖО + МП ; 6,8%-неисправности топливозаправщиков ТЗ ; 5,6%-недопустимый уровень ПВКЖ в авиатопливе ; 4,5% твердые частицы и волокна МП+ В [20,78]

При расследовании причин этих 92-х событий было установлено, что 78 из них вызваны заправленным перед рейсом авиатопливом. Исходя из проделанного анализа, можно заключить, что максимально возможное число событий, обусловленных недостатками методов обеспечения качества очистки авиатоплива от механических примесей и воды, составляет 78 (36,6 % всех событий).

Минимально возможное число событий, обусловленных недостатками методов обеспечения качества очистки авиатоплива, также представляет большой интерес для подтверждения допустимости предположения о

возможности объяснения причин всех 78-ти событий недостатками методов обеспечения качества очистки авиатоплива. Для этого из числа 78-ти событий была выделена группа событий, обстоятельства которых исключают иные причины, кроме как воздействие загрязненного авиатоплива, заправленного перед вылетом ВС. Результаты проделанного анализа сведены в таблицу 1.6.

Таблица 1.6. Обстоятельства событий, обусловленных воздействием загрязненного авиатоплива, заправленного перед вылетом ВС [20].

Обстоятельства событий	**Число событий**
Срабатывание сигнализации о засорении топливных фильтров не менее двух двигателей на рулении, разбеге, взлете, наборе высоты	12
Механические примеси и вода в отстое авиатоплива, слитом из топливных баков ВС после заправки	6
Срабатывание сигнализации ВС о наличии воды в заправляемом авиатопливе	1
Вода в топливных баках ВС в количестве нескольких тонн, обнаруженная при сливе отстоя авиатоплива при послеполетном техническом обслуживании	5
Всего событий	24

Таким образом, минимально возможное число событий, обусловленных недостатками методов обеспечения качества очистки авиатоплива, составляет 24 события (11,3 % всех событий).

Из сравнения максимально и минимально возможных чисел событий, вызванных недостатками методов обеспечения качества очистки авиатоплива, видно, что максимальное и минимальные числа, а также размах вариации имеют значения одного порядка, что не исключает допущения того, что максимальное число может доходить до 78-ти событий.

Механические примеси в авиатопливе приводили:

- к самопроизвольному выключению АД;
- к невыходу АД на заданный режим;
- к засорению топливных фильтров АД.

В истории мировой и отечественной авиации известны случаи, когда применение некачественного авиатоплива стали прямой или же косвенной

причиной авиакатастроф [3, 4, 18, 20]. Например, в 1997 г. в поселке Иркутск-II, потерпел крушение военно-транспортный самолет Ан-124 — «Руслан», выполнявший рейс по маршруту Москва—Иркутск—Владивосток—Вьетнам [83]. В результате катастрофы количество погибших составило 71 человек. 400-тонная машина со 100 т керосина упала прямо на населенный пункт. Предварительное расследование авиакатастрофы показало, что авиатопливо, находящееся в топливозаправщиках аэропорта Иркутск-2, соответствовало стандартам. Однако в авиатопливе из баков ВС содержание ПВКЖ составило 30% от нормативного значения. ПВ связи с тем, что ВС находилось более суток с полупустыми баками в условиях низких температур, эмульсионная вода, выделившаяся из авиатоплива, кристаллизовалась. После дозаправки авиатопливо перемешалось с кристаллами льда, которые после запуска двигателей вызвали обледенение топливного фильтра и образование пробки из ледяной шуги, которая при форсированном режиме работы двигателя вывела из строя топливный регулятор. Это привело к остановке сразу трех двигателей [3, 85, 187].

В 2008 году прямым следствием воздействия топлива на ВС явилась одна катастрофа (из 8 в ГА РФ и 2 в классе) [3, 4, 20].

Как сообщил президент Международной ассоциации воздушного транспорта (IATA) Тони Тайлер, «в мире один инцидент приходится в среднем на 500 тысяч пассажирских рейсов, в то время как в России и СНГ — на 275 тысяч.

За период с 2005 по 2014 годы в Российской Федерации произошло 27 инцидентов с самолетами A-319/320/321, связанных с отказом двигателя в полете. При этом 15 инцидентов произошло вследствие самовыключения двигателя CFM56-5 и CFM56-5B из-за отказа (заклинивания) командного клапана перепада давления исполнительного агрегата топливной автоматики (HMU). Наибольшее число подобных инцидентов произошло в 2011 году - 6 событий.

Европейским авиационным агентством по безопасности (EASA) с целью предотвращения самовыключений в полете двигателей CFM56-5 и CFM56-5B 09.07.2012 была выпущена директива летной годности № 2012-0123 (дата вступления в силу 23.07.2012), распространяемая на эксплуатантов стран СНГ,

включая Российскую Федерацию. Как следует из директивы, отказы командных клапанов перепада давления топлива HMU обусловлены коррозией [98, 102].

В связи с этим директивой вводится ограничение на наработку HMU до 10000 часов при эксплуатации двигателей на топливе ТС-1. В случае невыполнения корректирующих мероприятий возможно увеличение частоты отказов HMU.

При расследовании инцидентов и исследовании в Центре сертификации авиаГСМ ФГУП ГосНИИ ГА образцов топлива из баков и двигателей самолета, как правило, делаются следующие выводы:

- к качеству топлива из всех баков самолета замечаний не имеется (в части требований действующего ГОСТ 10227-86);

- в пробах топлива из топливной системы отказавшего двигателя отмечается высокая удельная электрическая проводимость, содержание растворенной меди в 1000 раз превышает ее содержание в образцах топлива из баков самолета;

- топливо из топливной системы двигателя, в ряде случаев, имеет желтоватый оттенок.

По результатам расследований инцидентов, с целью снижения риска отказов двигателей моделей CFM56-5 и CFM56-5B по указанным выше причинам, с 2007 года в ОАО «Аэрофлот» (крупнейший российский эксплуатант самолетов А-319/320/321) и ЗАО «ТЗК Шереметьево» (информационное письмо от 09.02.2015 № 05-283 прилагается) принята практика установления требований к предприятиям-изготовителям авиационного керосина о поставках топлива, удовлетворяющего определенным показателям качества.

Однако, несмотря на введенные директивой летной годности № 2012-0123 ограничения по наработке HMU при его эксплуатации на керосине ТС-1 до 10000 часов, по итогам 2014 года в Российской Федерации зафиксировано 2 аналогичных инцидента.

21.05.20г. При выполнении рейса 29.03.2020 Адлер-Москва SU 1741 на ВС ПАО «Аэрофлот» В-737-800 произошло самовыключение двигателя в полете. Предварительные исследования показали, что в пробах топлива, отобранных из баков и топливных агрегатов управления двигателем, выявлено ухудшение

эксплуатационных свойств топлива из-за загрязнений, по характеру и составу близких к загрязнениям, обнаруженным ранее в топливе, поступающем в аэропорты по магистральному нефтепродуктопроводу ПАО «Транснефть».

Введенные на территории РФ ограничительные мероприятия в связи с распространением коронавирусной инфекции (COVID-19) существенно сократили интенсивность эксплуатации авиационной техники и соответствующей наземной инфраструктуры, в том числе, задействованной в авиатопливообеспечении полетов ВС. В этой обстановке создаются активные условия для формирования нештатных загрязнений мелкодисперсными механическими примесями и микроорганизмами, как наземных средств авиатопливообеспечения, так и бортовых систем ВС.

26.11.2022г. в аэропорту города Новокузнецк при сливе отстоя авиационного керосина из емкости топливозаправщика при заправке воздушного судна были обнаружены мелкодисперсные частицы белого цвета неизвестного происхождения (далее - частицы) в большем количестве. По результатам дополнительной проверки аналогичные частицы были обнаружены в расходном резервуаре, дренажном кране трубопровода для внутренней перекачки и системе фильтрации пункта налива, а также во вновь поступившей партии авиационного керосина. В связи с несоответствием указанного топлива положениям Руководства по приему, хранению, подготовке к выдаче на заправку и контроля качества авиационных горюче-смазочных материалов и специальных жидкостей в предприятиях воздушного транспорта, утвержденного приказом департамента воздушного транспорта Министерства транспорта РСФСР от 17.10.1992 № ДВ-126 (далее - Руководство), применение данного авиатоплива для заправки ВС в крыло было приостановлено [23], пробы топлива отправлены на экспертизу в ФГУП ГосНИИ ГА. На основании лабораторных исследований проб авиатоплива, отобранных из системы авиатопливообеспечения ООО «Аэрокузбасс» (Заключение ФГУП ГосНИИ ГА от 02.12.2022), установлено, что наблюдаемые в авиатопливе сторонние примеси в виде белых «хлопьев» и кристаллов являются преимущественно

кристаллами льда. Одновременно выявлены отличительные особенности от штатного авиатоплива, применяемого в ГА:

- низкое значение температуры начала кипения;
- низкая температура вспышки авиакеросина;
- наличие азотосодержащих соединений.

Исследованиями было установлено, что данное авиатопливо не может обеспечить летную годность ВС в ожидаемых условиях эксплуатации в связи с возможным появлением кристаллов льда, и не может быть использовано для заправки ВС.

08.12.202г. зона ответственности Московского РЦ ЕС ОрВД. При выполнении полета ВС в районе Калуги на FL130, ЭВС доложил о засорении топливных фильтров в левом и правом двигателях, КВС принял решение выполнить возврат на аэродром вылета. Посадка благополучно в 13.53. Самолет RRJ-95, рег/RA-89136, рейс AZO503 Калуга (Грабцево) – Санкт-Петербург (Пулково). Эксплуатант: АО «Авиакомпания «Азимут».

20.04.2022г. произошло два авиационных события с воздушными судами RRJ- 95LR-100 RA-89082 и RRJ-95LR-100 RA-89088 АО «АТК «Ямал» в аэропорту Ноябрьск. Причиной инцидентов послужило засорение топливных фильтров. Комиссией по расследованию сделан вывод, что наиболее вероятной причиной авиационного инцидента заправки воздушных судов некондиционным ГСМ (авиатопливом) явилась заправка ВС из топливозаправщиков с установленными на нем разрушающимися фильтроэлементами, волокна и элементы которых в большом количестве обнаружены на фильтрах ВС (информационный бюллетень от 14.10.2022 № исх-3868/14/тмту).

17.01.2008г., в 12:42 по всемирному времени, рейс BAW038 из Пекина, Boeing 777-236ER, регистрационный номер G-YMMM, оснащенный двумя двигателями серии Trent 800, потерпел крушение недалеко от взлетно-посадочной полосы при заходе на посадку в международный аэропорт Хитроу, Лондон [201], Великобритания. Один пассажир получил серьезные травмы, а

восемь пассажиров и четыре члена экипажа получили незначительные травмы. Самолет был существенно поврежден.

Регулярный коммерческий пассажирский рейс выполнялся авиакомпанией British Airways рейсом BAW038 из Пекина, Китайская Народная Республика, в соответствии с планом полета по правилам полетов по приборам. Летный экипаж сообщил, что самолет был настроен на посадку с включенными системами автопилота и автоматического торможения, когда мощность двигателя № 2 (правого) снизилась ниже заданной тяги. Примерно через 7 секунд мощность двигателя № 1 (слева) также снизилась. Оба двигателя продолжали создавать тягу, но меньшую, чем предписанная тяга. При уменьшенной тяге самолет не смог достичь взлетно-посадочной полосы и врезался в поверхность земли.

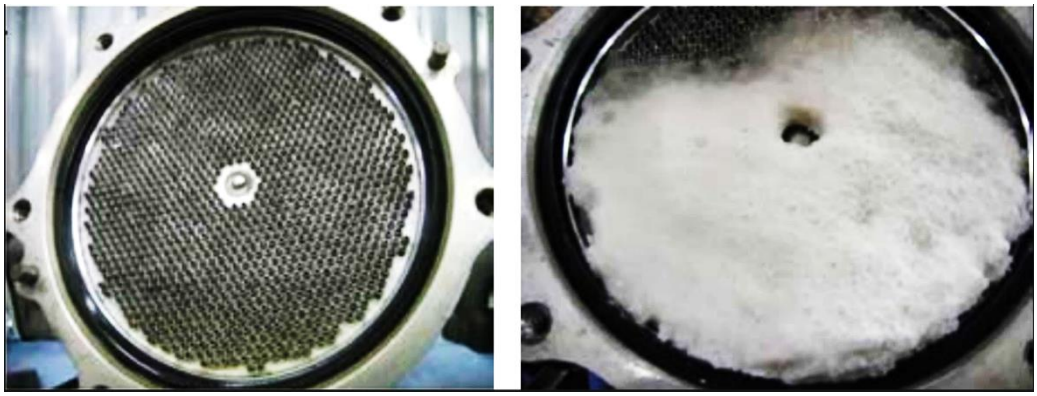


Рисунок 1.21 – Обледенение передней поверхности топливомасляного радиатора FOHE, скопления льда на входе в теплообменник Trent 800

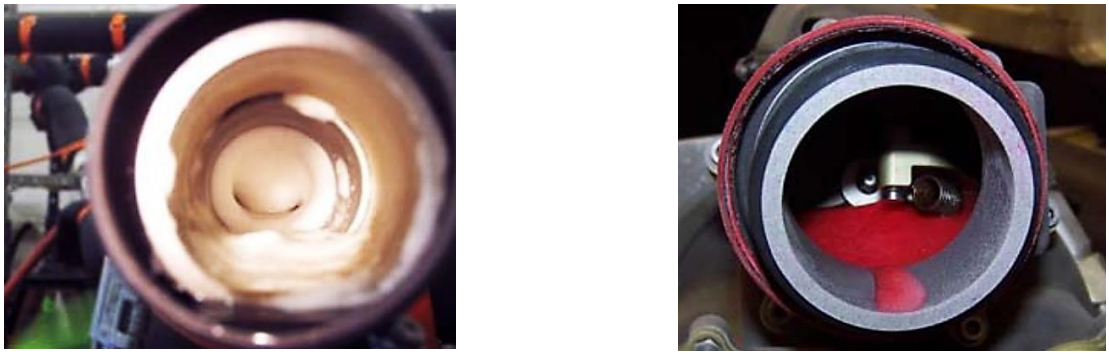


Рисунок 1.22 – Наросты ледяной массы на стенках трубопроводов, топливной системы двигателя Trent 800, Boeing 777

В результате анализа и расследования инцидента было установлено, что при определенных условиях окружающей среды на стенках топливопроводов в топливной системе самолета может скапливаться лед, который затем может высвобождаться ниже по потоку при увеличении расхода топлива. Образовавшийся лед может скапливаться на передней поверхности FOHE (топливомасляный теплообменник) и ограничивать подачу топлива через FOHE (рисунок 1.21) а также на стенках трубопроводов топливной системы (рисунок 1.22). Этот тип обледенения ранее был неизвестен и создает в топливной системе концентрацию льда, превышающую указанную в сертификационных требованиях.

Для снижения риска блокировки двухмоторных FOHE в парке Boeing 777 с двигателями Trent 800, Директивой по летной годности было предписано заменить FOHE на модифицированное оборудование, имеющее улучшенные характеристики производительности подогрева авиатоплива.

Был еще один инцидент (рейс Delta Air Lines 18, 26 ноября 2008 г.) [201], когда скопление льда в FOHE привело к отказу двигателя (к счастью, на этот раз только одного двигателя): инцидент произошел с самолетом Delta Airlines 777-200ER (N862DA), следовавшим из Шанхая в Атланту 26 ноября 2008 года с 232 пассажирами и 15 членами экипажа. Пилоты столкнулись с внезапным отказом правого двигателя Rolls-Royce во время полета на высоте 39 000 футов примерно через 40 минут после запрограммированного набора высоты. Экипаж смог восстановить двигатель после выполнения инструкций по полету, связанных с проблемой, и снижения до 31 000 футов.

14.08.2018г. после выполнения рейса Бодрум (Турция) Домодедово экипажем самолета А-321 VP-BRS была сделана запись в бортжурнале: «DURING REFUELING L\H WING TANK FUEL QUANTITY TIME TO TIME CHANGE TO AMBER CROSSES» (при заправке левого крыльевого бака, время от времени, показания количества топлива изменялись на оранжевые кресты). По прилету в аэропорт Домодедово, при выполнении очередного технического обслуживания, был осуществлен слив топлива из левого полукрыла, при этом обнаружено большое содержание посторонней мутной желеобразной субстанции (рисунок 1.23).

Рисунок 1.23 – Субстанция, обнаруженная при сливе отстоя (полисилоксан)

Предыдущую заправку самолета производили в аэропорту Бодрум (Турция) авиатопливом в объеме 14310 литров, при этом в полете замечаний в работе топливной системы и силовых установок ВС не было. Событие было зафиксировано как авиационный инцидент, пробы авиатоплива и топливный фильтр направлены для изучения в Научный центр аэропортовой деятельности и авиатопливообеспечения (НЦ-28) ФГУП ГосНИИ ГА.

Такая же ситуация, связанная с качеством топлива, была 08.08.2018 при выполнении рейса Иркутск - Домодедово ВС А-320 VP-BWY. Во время взлета сработала сигнализация о засорении топливного фильтра двигателя № 1 без отклонений в работе систем ВС. По прилету в аэропорт Домодедово экипажем была сделана запись в бортжурнале: «ECAM MESSAGE ENG#1 FUEL FILTER CLOG DURING T/OFF» (во время взлета засорен топливный фильтр левого двигателя). Визуальный осмотр топливного фильтра показал, что на его внешней поверхности находятся посторонние предметы. Последняя заправка авиатопливом в количестве 19464 литра проводилась в аэропорту Иркутск.

В рамках расследования инцидента с самолетом А-32I VP-BRS фильтр самолета А-320 VP-BWY также был направлен на исследование в НЦ-28 ФГУП ГосНИИ ГА.

В ходе исследований авиатоплива в НЦ-28 ФГУП ГосНИИ ГА обнаружены нехарактерные химические примеси, полисилоксаны. На фильтрующих поверхностях фильтров обнаружены каучукоподобные соединения полисилоксанов, появившиеся, наиболее вероятно, после

полимеризации желеобразной субстанции, произошедшей в условиях работы топливной системы ВС (рисунок 1.24 и 1.25).

Ранее в НЦ-28 ФГУП ГосНИИ ГА при проведении исследований образцов авиатоплив в ходе расследований авиационных событий и в процессе эксплуатации ВС, примеси такого характера небыли выявлены. Попадание в топливную систему ВС таких примесей создаст высокую угрозу БП (рисунок 1.26 и 1.27) и может привести к отказам авиадвигателей ВС.

Рисунок 1.24 – Вид топливного фильтра с примесями

Рисунок 1.25 – Вид частицы примеси в увеличенном виде

Одной из таких примесей является соединения органического кремния, в то время как стандартизированных методик по его обнаружению не издано. Косвенным методом обнаружения растворенных в авиатопливе полисилоксанов может служить видимая граница фазы - топливо-субстанция, как на (рисунок 1.26), или плотный, мутный, бесцветный или желтоватого оттенка осадок на дне тары с пробой авиатоплива, обладающий хорошими абсорбционными свойствами.

08.07.2022г., 13:01 (мск), произошло авиационное событие: аэропорт Шереметьево имени А.С. Пушкина. Во время заправки ВС, при контроле топлива после прокачки 1000 литров, были обнаружены примеси в колбе контроля чистоты топлива. ТЗ отстранен от заправки, ВС отстранено от полета.

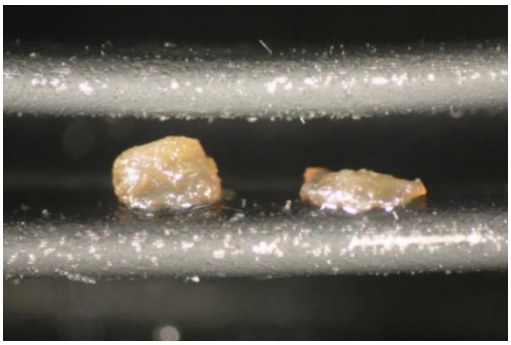


Рисунок 1.26 – Вид топливного фильтра с примесями

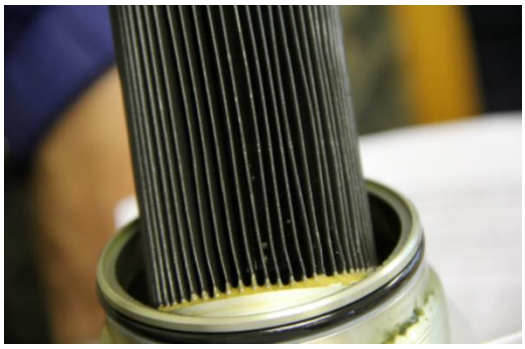


Рисунок 1.27 – Вид частиц механических примесей на фильтроэлементе

Комиссией в составе представителей «ТЗК-Шереметьево», ДУБП ПАО «Аэрофлот» и СИБП АО «МАШ» проверено качество топлива в топливозаправщике. Визуально и инструментально, вода и механические примеси не обнаружены. Причиной попадания примесей в колбу контроля явились ошибочные действия водителя ТЗ, открывшего кран подачи топлива в колбу контроля из отстойника фильтра, что является нарушением требований технологии работы и привело к отстранению воздушного судна от планового полета.

Практика анализа отказов, произошедших по причине некондиционности авиатоплива, показывает, что в каждом таком случае топливный авиатопливо не соответствовало стандарту или техническому регламенту. Как результат регулярное число зафиксированных отказов по причине некачественного авиаГСМ: 2 - в 2018 году, 1 - в 2019-м, два - в 2020-м и 1 - в 2021 году. Кстати, в 2013 году по причине низкой смазывающей способности топлива авиационные власти США и Евросоюза издали директивы "Об эксплуатационных ограничениях гидромеханических блоков HMU для двигателей CFM56-5, CFM56-5B", ограничивающие на 50% ресурс изделий после заправки их топливом российского производства ТС-1. Ограничения не сняты до сих пор https://www.aviaport.ru/digest/2022/05/06/717813.html.

Приведенные статистические данные подтверждают, что одной из причин событий является недостаточный уровень промышленной чистоты авиатоплива

[18, 20 44, 102, 105]. При этом число событий, обусловленных недостатками методов обеспечения качества очистки авиатоплива, составляет от 11,3 % до 36,6 % всех событий.

ГосНИИ ГА рассматривает 90% авиационных событий, связанных с отказами. Примерно в половине случаев пробы указывают на неспособность топлив обеспечить летную годность ВС.

Таким образом, статистические данные подтверждают наличие проблемы контроля чистоты авиатоплива и его влияния на безопасность выполнения полетов ВС, несмотря на принимаемые меры, проблема сохраняется [20].

Очевидно, что от чистоты и качества авиатоплива непосредственно зависит надежность топливной системы авиадвигателей, а значит и безопасность авиатранспортной деятельности. Непрерывный контроль качества авиатоплива дает возможность уменьшить вероятность возникновения неисправностей в работе топливорегулирующей аппаратуры и авидвигателей ВС и, предотвратить нарушения их работы.

В настоящее время задача совершенствования контроля качества авиатоплива сохраняет свою актуальность.

В решении проблем, обеспечения безопасности полетов особое внимание стоит уделить качеству заправляемого в ВС топлива, так как одной из составляющих безопасности полетов является безотказная работа топливной системы. Наличие в топливе воды, механических примесей, смол, микроорганизмов и бактерий неблаготворно влияет на работу топливной системы ВС, а значит и на безопасность полетов в целом [3, 4, 10, 18, 20, 22, 44, 72, 109, 187].

1.4 Современное состояние систем дозированного ввода противоводокристаллизационной жидкости в авиационное топливо при заправке воздушных судов

Введение ПВКЖ в авиатопливо производится в процессе заправки ВС – в поток топлива в напорный трубопровод средства заправки – топливозаправщик (ТЗ) или диспенсер (сервисёр) или пункт предперронного налива (ППН) для предупреждения образования кристаллов льда в топливе и забивки ими фильтрующих элементов ВС. Точность дозирования при введении ПВКЖ должны обеспечивать:

-в объемных единицах:

- 0,1 +0,05 % об.;
- 0,2±0,02 % об.;
- 0,3 ±0,03 % об.;

-в массовых единицах:

- 0,1 % ±0,02 % масс.;
- 0,2 % ±0,015 % масс.;
- 0,3 % ±0,01 % масс.

В настоящее время в качестве ПВКЖ применяется жидкость «И» и жидкость «И-М». ПВКЖ "И-М" – смесь состоящая из этилцеллозольва по ГОСТ 8313 и метанола по ГОСТ 2222-95 (марка А), в равных пропорциях произведенная по ОСТ 54-3-175-73-99 [61].

Нормативные требования к физико-химическим показателям [214, 215] ПВКЖ марки "И-М" приведены в таблице 1.7. Добавление ПВКЖ в авиатопливо производится дозаторами (дозирующими системами) непосредственно в процессе заправки ВС, или в топливозаправщики при их наполнении на пункте налива. Категорически не рекомендуется введение ПВКЖ непосредственно в баки ВС, резервуары хранения, цистерны средств заправки.

Таблица 1.7. Физико-химические показатели ПВКЖ марки "И-М"

№ п/п	Наименование показателя	Норма		Метод испытания
		высший сорт	первый сорт	
1.	Внешний вид	Прозрачная, бесцветная жидкость		п.6.2 ОСТ 54-3-175-73-99
2.	Плотность, при температуре 20°С г/см3 в пределах	0.858 - 0.864	0.858-0.866	ГОСТ 18995.1 с учетом п. 4.2 ОСТ 54-3-175-73-99
3.	Показатель преломления d. в пределах	1.3660 - 13720	1.3660 - 13720	ГОСТ 18995.2
4.	Массовая доля воды %, не более: -на месте производства -на месте применения	0.10 0.40	0.20 0.40	ГОСТ 14870 метод Фишера

На основании рекомендаций ГосНИИ ГА, 1 раз в смену производится проверка работоспособности дозирующих систем, путем прокачивания 500 литров авиатоплива, в номинальном режиме заправки ВС, и последующим лабораторным анализом фактической концентрации ПВКЖ в авиатопливе. Таким образом, на проверку расходуется 1000л топлива в сутки на 1 средство заправки, и к работе заправщик допускается только после результатов 2х анализов в сутки, каждый из которых занимает более часа [148, 175]. В случае незапланированной заправки ВС авиатопливом с ПВКЖ, проверка работоспособности дозирующей системы проводится перед с учетом времени, необходимого для проведения корректирующих мероприятий при получении отрицательного результата анализа [148, 175]. Решение об использовании авиатоплива, собранного в результате проверки работоспособности дозаторов ПВКЖ, рекомендуется принимать только после оценки его пригодности к заправке ВС [148, 175].

Существующие системы дозированного ввода ПВКЖ в авиатопливо имеют существенный недостаток, приводящий к большим экономическим затратам. Ежесуточный расход на одно заправочное средство - 1000 литров авиатоплива, 1 литр ПВКЖ и 2 - лабораторных исследования процентного содержания ПВКЖ (на рефрактометре), которые занимают около 3 часов

ожидания в сутки для 1-го заправочного средства. Учитывая, что количество средств заправки в одном аэропорту может достигать 100 единиц, то налицо значительные невосполнимые потери. Нормы добавления в авиатопливо ПВКЖ и его марка регламентируются Руководствами по летной эксплуатации конкретного типа ВС и документами, утвержденными или согласованными Федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции в области ГА. До принятия новых нормативных документов также следует руководствоваться табл. №7 «Руководство по приему, хранению, подготовке к выдаче на заправку и контролю качества авиационных горюче-смазочных материалов и специальных жидкостей в предприятиях воздушного транспорта Российской Федерации». (приказ Министерства гражданской авиации РСФСР от 17.10.1992 № ДВ-126). Оптимальной нормой дозирования «И-М» является 0,1-0,15% [61, 144, 148, 174, 175].

Если в топливных баках самолета уже находится авиатопливо без ПВКЖ, а предстоящий полет требует использования топлива с ПВКЖ, рекомендуется (по запросу экипажа или представителя авиакомпании) полностью слить имеющееся авиатопливо и заправить баки авиатопливом с необходимым количеством ПВКЖ.

Разные марки ПВКЖ различаются по эффективности предотвращения кристаллообразования свободной воды в топливных баках ВС. ПВКЖ марки «И-М» предотвращают образование льда и «инея» в баках ВС, при этом образуется не замерзающая смесь ПВКЖ и воды , не опасной для работы топливной системы и двигателя ВС. [214, 215].

В результате физико-химических процессов, протекающих в баках ВС на всех этапах полета, стоянке ВС или его заправке, концентрация ПВКЖ, особенно «И-М», неравномерна по всему объему авиатоплива: верхние слои имеют меньшую концентрацию, по сравнению с нижними. Это происходит в результате расслоения,интенсивность которого зависит от таких факторов как продолжительность полета, масса растворенной воды в авиатопливе во время заправки ВС, температура авиатоплива в топливозаправщике, масса и температура в баке ВС, градиент изменения температуры, давления и влажности

атмосферного воздуха. Использование ПВКЖ для растворения кристаллов льда не допустимо. ПВКЖ гигроскопичны, предельное допустимое содержание воды в жидкости марки «И» - 0,5 %, марки «И-М» - 0,4 % (по объему). Превышение допустимого содержания воды, значительно ухудшает эффективность ПВКЖ [214, 215].

При попадании воды в авиатопливо, с добавленной ПВКЖ, а также в процессе перехода растворенной воды в эмульсионную, происходит связывание молекул свободной воды с компонентами ПВКЖ, приводящее к уменьшению ее концентрации в авиатопливе.

В условиях низких температур, ниже -25°С и высокой влажности атмосферного воздуха, небходимы дополнительные меры по контролю уровня чистоты авиатоплива. Рекомендуется производить дополнительный слив отстоя и осмотр топливных фильтроэлементов на предмет наличия кристаллов льда. При резких изменениях условий окружающей среды (понижение температуры на 10-15 °С), рекомендуется поддерживать максимальный уровень в топливных баках ВС, с целью исключения образования конденсата и инея на стенках резервуаров хранения авиатоплива, а также в цистернах средств заправки ВС [214, 215].

Принимая во внимание сложность химмотологических процессов, анализ причин вызвавших изменение концентрации содержания ПВКЖ в авиатопливе, а также анализ пригодности ПВКЖ к применению, производится аккредитованной лабораторией.

Исследованы бактерицидные свойства ПВКЖ, которые предотвращают процесс развития микроорганизмов в авиатопливе и могут быть применены для борьбы с микробиологическими загрязнениями авиатоплива. ПВКЖ марки «И-М» имеет наибольший бактерицидны эффект среди других ПВКЖ [214, 215].

Добавление ПВКЖ, в процессе заправки, производится в поток авиатоплива, после всех фильтров. Не допускается фильтрация смеси авиатоплива и ПВКЖ с использованием фильтров-мониторов.

Существует три категории нормативных документов, определяющих правила применения ПВКЖ:

1. Нормативно-техническая документация отечественной гражданской авиации.

2. Нормативно-техническая документация государственной авиации.

3. Нормативно-техническая документация регулирующая деятельность международной гражданской авиации.

Перечень документов, содержащих описание свойств ПВК-жидкостей и рекомендации по работе с жидкостями [214, 215] (таблица 1.8.и 1.9).

Для гражданской авиации ПВКЖ добавляют в авиатопливо по запросу авиакомпании. Применение ПВКЖ обязательно в авиатопливах для большинства военных и для некоторых ВС ГА.

Таблица 1.8. Нормативно-техническая документация по применению ПВКЖ

№ п/п	Наименование документа	Прим.
Государственный надзор и управление безопасностью полетов[148,214, 215].		
1	Приказ ФСВТ РФ от 18.04.2000 N 89 (ред. от 04.10.2011) "Об утверждении "Федеральных авиационных правил. Сертификационные требования к организациям авиатопливообеспечения воздушных перевозок".	
2	Приказ Минтранса РФ от 07.10.2002 N 126 (ред. от 13.08.2007) "Об утверждении Федеральных авиационных правил "Сертификационные требования к организациям, осуществляющим контроль качества авиационных топлив, масел, смазок и специальных жидкостей, заправляемых в воздушные суда".	Отменен
Обеспечение безопасности при производстве, поставке в ГА и принятии решении о применении АвиаГСМ и СЖ		
3	Приказ Минтранса РСФСР от 17.10.1992 N ДВ-126 "О введении в действие Руководства по приему, хранению, подготовке к выдаче на заправку и контролю качества авиационных горюче-смазочных материалов и специальных жидкостей в предприятиях гражданской авиации Российской Федерации".	Действует. Статус не определен
4	Инструкция по единой технологии ввода, контроля содержания противокристаллизационных жидкостей в авиационном топливе и эксплуатации дозирующих устройств Инструкция, Утверждена МГА 19.08.1987 N776/у от 29.10.1987.	Действует
5	Методические рекомендации по анализу качества горюче-смазочных материалов в ГА (части 1и 2) от 26.02.1986г.	
6	Указание «О порядке слива отстоя топлива на авиационной	Отменен

	технике» 11 ноября 1979г. № 247/У; Дополнения: Указание МГА от 23.09.1982 N 543/у; Указание МГА от 25.11.1983 N 803/у, N 247/у от 11.11.1979г.	
7 8 9 10 11	О факультативном контроле соединений металлов в ПВК жидкостях. Об утверждении технологии применения и контроля качества смесей ПВК жидкостей в предприятиях ГА, N 614/у от 22.12.1989г. О мерах по предотвращению загрязнений ПВК-жидкостей растворимыми загрязнениями, N 36.1.10-6 от 17.04.1985г. ОСТ 54-3-175-73-99 с изм.1 «Противоводокристаллизационная жидкость И-М». ГОСТ 8313-86 «Этилцеллозольв технический. Технические условия» с изменением 1.	Действует. Статус не определен
Обеспечение безопасности полетов при эксплуатации объектов АвиаГСМ и заправке воздушных судов		
12 13	Руководство по технической эксплуатации складов и объектов горюче-смазочных материалов предприятий ГА N 9/и от 27.07.1991 Распоряжение НА-70-р «О мерах по улучшению качества авиатоплива».	Действует. Статус не Определен
14	Инструкция по очистке фильтроэлементов и фильтропакетов в условиях эксплуатации и ремонта АТ N 63 (редакция 5) - Дополнительно (редакция 4) N 423/у от 20.12.1991г.	Действует

Таблица 1.9. Нормативно-технические рекомендации по дозированию ПВК-жидкости в МО РФ.

№ п/п	Тип самолета (вертолета)	Норма добавления в топливо ПВК-жидкости, % по массе		
		температура воздуха на земле		
		выше 0^0C	0 … - 20 ^{0}C	ниже – 20 ^{0}C
1	МиГ-31 всех модификаций	-	0,1	0,2
2	Су-17М3, УМ, УМ3, М4, М3Р, М4Р; Су-22М4, УМ3К, Су-27 всех модификаций	-	0,1	0,2
3	Ту-22М2	0,1	0,1	0,1
4	Ту-95МС Ту-126 Ту-142 всех модификаций	0,1-0,2	0,2 0,2	0,2 0,3
5	Ту-160	-	-	-
6	Ил-38	- 0,1	0,1 0,1	0,1 0,2
7	Бе-12 всех модификаций	-	0,1	0,2
8	Ан-2	-	-	-
9	Ан-12А, АП	-	0,1	0,2

		-	0,1	0,2
10	Ан-22,	0,3	0,3	0,3
11	Ан-24, Ан-26 Ан-30 Ан-32, Ан-72 всех модификаций Ан-124, Ан-124-100		0,1	
12	Ил-76	-	-	0,1
13	Ил-18Д; Ил-18Д-36, -40; Ил-20, РТ; Ил-22, М-11	- 0,1	0,1 0,1	0,1 0,2
14	Ил-62 Ил-62М	- 0,2	0,2 0,2	0,2 0,2
15	Ил-76М, МД, К Ил-78, М, А-50	-	-	0,1
16	Ту-134А, Б, Ш, УБЛ, ЛК	-	0,1	0,1
17	Ту-154, А, Б, Б-1, Б-2 Ту-154М	0,3	0,3	0,3
18	Л-29, Л-39	-	0,1	0,2
19	Л-410УВП-Э, Э3	-	0,1	0,1
20	Як-50 Як-55 Як-52 Су-26 Як-18; «Вильга-35»	-	-	-
21	Ми-2, Ми-6, Ми-22,Ми-8, Ми-18, Ми-8МТ, Ми-24, Ми-14,Ми-25,Ми-35 Ми-26, Т, Ми-8ППА, СМВ, ВзПУ, Ми-9 всех модификаций, ВР-3 («Рейс») БСР «Стриж» МБСР «Крыло»	-	0,1	0,2
22	Ка-25ДЦ, ПЛ, ПС, БТ, БШЗ, ПН	-	0,1	0,2
23	Ка-26, ДПЛА Строй-П («Пчела-1»)	-	-	-

Для предотвращения кристаллобразования нерастворенной (свободной) воды и обледенения оборудования топливных систем ВС зарубежем используют марки ПВКЖ FSII, известные как антиобледенительные присадки. Биостатические свойства FSII очень эффективны в минимизации микробиологических загрязнений топливных систем, баков ВС и резервуарах хранения авиатоплива [214, 215].

Поскольку конструкцией большинства ВС ГА предусмотрено наличие топливно-масляных радиаторов (ТМР), для которых нет обязательных требований по применению ПВКЖ, однако при необходимости, в зависимости от условий эксплуатации ВС, авиакомпании могут издавать свои локальные нормативы для ввода ПВКЖ в заправляемое авиатопливо.

IATA одобряет применение ПВКЖ марки FSII для авиатоплив Jet A и Jet A-1 (на основе смеси монометилового эфира этиленгликоля (DIEGME), при условии соответствия рекомендациям спецификаций III ASTM D 4171 «Спецификации на противообледенительные присадки для топливной системы» или DefStan 8-252 (DERD 2451), «Противообледенительная присадка для топливной системы». В авиатопливе Jet B возможно содержание DIEGME, или

монометиловый эфир этиленгликоля (EDGME), что соответствует нормам CAN/CGSB-3.526 «Противообледенительная присадка для авиатоплив» [214, 215].

Определение фактического уровня содержания ПВКЖ марок DIEGME или EGME в авиатопливе регламентируется стандартом ASTM D 5006, в этом случае необходимо учитывать марку и состав исследуемой ПВКЖ. Этот метод применяется в полевых условиях. ПВКЖ марки IP 424 применяется для определения %-содержания ПВКЖ марок DIEGME или EGME, и их смеси, но в плевых условиях его применение не возможно [214, 215].

Отечественный аналог FSII для ТС-1 –ПВКЖ марки «И-М», состоящей из равной смеси моноэтилового эфира этиленгликоля и метанола, производится согласно ТУ 6-10-1458-79 [214, 215].

Санкционные ограничения и прекращение поставок счетчиков авиатоплива с дозаторами ПВКЖ компанией Alfons HAAR (Германия), создали критическую ситуацию в отрасли авиатопливообеспечении ВС ГА.

Из вышеперечисленного видно, что остро назрела необходимость разработки и внедрения отечественного дозирующего оборудования для ПВКЖ, отвечающего современным техническим требованиям и обеспечивающего прецизионное дозирование, безопасность эксплуатации и оптимизацию технологического процесса заправки авиационного топлива с добавлением ПВКЖ.

Выводы по главе 1

1. Анализ требований нормативно-технической документации показал, что с целью обеспечения безопасности полетов ВС устанавливаются строго регламентируемые показатели качества авиатоплива, основанные на точечном и

дискретном отборе проб, которые не гарантируют достоверность показателей для всего объема заправляемого авиатоплива.

2. Применяемые методы контроля качества авиатоплива являются статическими и косвенными, позволяют осуществлять контроль качества топлива только дискретно, т.е. не в потоке, и основаны на дифференцированном отборе проб из назначенных точек, точность и достоверность которых может быть недостаточной и может привести как к применению загрязненного топлива, так и к излишним затратам по очистке авиатоплива, что требует поиска новых методов.

3. Установлено, что применяемые методы контроля качества авиатоплива имеют низкую степень автоматизации и поэтому не могут быть не интегрированы в АСУТП ТЗК, а также являются трудоемкими, требующими производства анализов в условиях аккредитованной лаборатории, исключающие такую возможность в условиях аэродромного контроля, а определение свободной воды лабораторным методом настолько длительно, что результаты исследований теряют свою актуальность, т.к. за это время показатели качества могут изменятся и поэтому анализ присутствия воды в авиатопливе на сегодняшний день, производится только визуально.

4. АСУ ТП ТЗК на сегодняшний день имеет слабую степень интеграционного взаимодействия и координации логистической деятельности со службами наземного обслуживания ВС аэропортового комплекса (аэропорт, ТЗК, лаборатория, поставщики, авиакомпании).

5. Статистические данные об инцидентах, авариях и катастрофах ВС ГА Российской Федерации за период с 2010 по 2023 год, связанных с отказами топливной системы, подтверждает, что недостаточный уровень промышленной чистоты авиационного топлива является существенным фактором, явившимся причиной возникновения данных событий. Доля происшествий, обусловленных несовершенством методов и технологий обеспечения качества очистки авиатоплива, варьируется от 11,3% до 36,5% [20].

6. Выявлено, что все применяемые на средствах заправки дозаторы ПВК-жидкости, являются агрегатами зарубежного производства, которые в силу

конструктивных и технологических недостатков, имеют низкую точность, не имеют возможности регулировки, контроля работы в режиме реального времени и обеспечивают ввод ПВК-жидкости только в объемных процентах. Особенность конструкции объемных дозаторов не позволяет учитывать изменение плотности топлива и ПВК-жидкости в зависимости от температуры окружающего воздуха, что в отдельных случаях может приводить к погрешности дозирования.

7. Дозаторы применяемые в составе оборудования средств заправки ВС, имеют низкую степень автоматизации и отличаются недостаточной надежностью и необходимостью длительного, трудоемкого и экономически затратного контроля работоспособности перед каждой сменой, подверженного негативному влиянию человеческого фактора, более того непригодны к использованию в составе с массовыми расходомерами Кориолиса.

8. С целью обеспечения безопасности и регулярности полетов ВС, а также повышения эффективности методов контроля качества авиатоплива в технологических процессах авиатопливообеспечения ВС, необходимо применение методов непрерывного мониторинга контроля качества авиатоплива в потоке, способов измерения показателей качества авиатоплива в режиме масштаба реального времени, что требует разработки информационно управляющих систем динамического мониторинга показателей качества авиатоплива в технологических процессах ТЗК [214, 215]., а также обеспечения интеграционного взаимодействия топливозаправочного комплекса и аэропортового комплекса.

9. Установлено, что в настоящее время отсутствуют непрерывные и быстрые экспресс методы, а также методы динамических измерений гранулометрических и гравиметрических показателей чистоты авиатоплива от механических примесей и свободной (нерастворенной воды) в потоке АТ.

Глава 2 Теоретические основы совершенствования методов динамических измерений показателей качества авиатоплива

2.1 Теоретическое обоснование метода динамического измерения уровня чистоты авиатоплива на основе измерения диэлектрической проницаемости твердых и жидких диэлектриков дисперсионной среды авиатоплива

Обеспечение кондиционности авиатоплива является одной из основных функциональных задач в деятельности ОАТО. Контроль качества авиатоплива осуществляется на всех стадиях технологического процесса от его приема до заправки в баки ВС. Как было отмечено выше (см. глава 1) применяемые методы контроля качества авиатоплива имеют ряд недостатков, наиболее существенными является их низкий уровень автоматизации, при котором контроль качества осуществляется дискретно, на основе анализа представительных проб, отобранных из назначенных точек, и не в полной мере гарантирующий достоверность показателей качества всего объема авиатоплива. Поэтому перед автором стоял вопрос разработки метода контроля чистоты авиатоплива, который бы не имел указанных недостатков или их уменьшал.

Анализ статистики влияния чистоты авиатоплива на БП полетов показал необходимость непрерывных методов мониторинга кондиционности потока авиатоплива, необходимость разработки средств динамических измерений уровня чистоты в режиме реального времени, как гранулометрических, так и гравиметрических измерений параметров в потоке авиатоплива на всех этапах его подготовки к применению.

На основании проведенного в первой главе анализа, а также исследований автора [20, 21, 24, 117, 118, 119, 120], для решения задачи совершенствования технологических процессов контроля качества авиатоплива было выбрано сочетание уже хорошо известных методов, основанных на методе каскадной фильтрации и ситового анализа путем измерения комплексной диэлектрической проницаемости (далее КДП) авиатоплива в объеме пористого фильтрующего материала, которая косвенно связанна с показателями концентрации и плотности механических примесей [3, 16, 18].

Если вещество (материал) поместить в электрическое поле конденсатора, то его свойства можно рассмотреть в первую очередь с точки электрофизической теории, а также и молекулярной. С точки зрения электрофизической теории электродинамические свойства материалов обладают удельной электрической проводимостью ($\boldsymbol{\sigma}$), магнитной проницаемостью **($\dot{\boldsymbol{\mu}}$)**, и диэлектрической проницаемостью ($\boldsymbol{\varepsilon}$).

В свою очередь, диэлектрическая проницаемость **($\boldsymbol{\varepsilon}$)** вещества и его удельная электрическая проводимость **($\boldsymbol{\delta}$)** формируют так называемую комплексную абсолютную диэлектрическую проницаемость среды, которую можно выразить:

$$\dot{\boldsymbol{\varepsilon}}_{\boldsymbol{A}} = \boldsymbol{\varepsilon}_{\boldsymbol{A}} - \boldsymbol{j}\frac{\boldsymbol{4\pi\sigma}}{\boldsymbol{\omega}} = \boldsymbol{\varepsilon}_{\boldsymbol{A}} + \boldsymbol{j}\acute{\boldsymbol{\varepsilon}}_{\boldsymbol{A}} \ , \qquad (2.1)$$

где, $\boldsymbol{\varepsilon}_{\boldsymbol{A}}$ -действительная часть диэлектрической проницаемости; Ф/м;

$\boldsymbol{j}$-плотность тока, А/м^2;

-$\boldsymbol{\sigma}$- удельная электропроводность, См; (Ом$^{-1}$) ;

- $\boldsymbol{\omega}$-– частота переменного тока в цепи, Мгц;(ГГц);

-$\acute{\boldsymbol{\varepsilon}}_{\boldsymbol{A}}$- мнимая часть диэлектрической проницаемости; Ф/м.

При изучении электродинамических свойств вещества в процессе их изменения целесообразно рассмотреть и другие факторы. Так, магнитная проницаемость вещества состоит из двух - мнимой и действительной проницаемостей, которую можно записать: $\dot{\boldsymbol{\mu}} = \boldsymbol{\mu_1} + \boldsymbol{j}\dot{\boldsymbol{\mu}}_{\boldsymbol{2}}$,

Нас больше интересует их взаимосвязь. Отношения абсолютных $\boldsymbol{\varepsilon_A, \mu_A}$ и относительных $\boldsymbol{\varepsilon, \mu}$ диэлектрической и магнитной проницаемостей, соответственно, можно выразить:

$$\boldsymbol{\varepsilon_A = \varepsilon_0 \varepsilon, \mu_A = \mu_0 \mu,} \quad (2.2)$$

где, $\boldsymbol{\varepsilon_0} = 8.85416.10^{-12}$[Ф/м], $\boldsymbol{\mu_0} = 1.256637.10$ [Гн/м].

Поскольку авиатопливо не ферромагнитная жидкость, ее магнитная проницаемость всегда равна единице, и измерять магнитные свойства не имеет смысла.

Предлагаемый в работе диэлькометрический метод основан на изменении диэлектрической проницаемости авиатоплива при изменении его состава или концентрации механических примесей в нем [2]. Нас интересует количественный и качественный состав механических примесей в топливе с целью оценки его кондиционности. При загрязнении топлива будет происходить изменение электрической емкости конденсатора, а значит измеряя диэлектрическую проницаемость авиатоплива, получим информацию о параметрах его загрязнения.

Если объем, заключенный между обкладками конденсатора, заполнить идеальным диэлектриком, электропроводность которого равна нулю, то при воздействии на него переменного электрического напряжения, угол сдвига фаз напряжение-сила тока будет равно $\varphi = 90^0$ и будет представлять собой реактивное сопротивление, не потребляющее энергию напряжения конденсатора [149]. Однако, поместив в объем конденсатора, вещество- диэлектрик, обладающее некоторой проводимостью, в нашем случае исследуемой смеси из авиатоплива и механических примесей, то конденсатор начнет потреблять энергию. Это объясняется проводимостью потерь - **G** этого диэлектрика (диэлектрическими потерями) и будет сопровождаться нагревом и увеличением подвижности молекул вещества-диэлектрика, состоящего из авиатоплива и механических примесей. В этом случае диэлектрические потери $\boldsymbol{G}$ в конденсаторе можно выразить через тангенс угла потерь, и найти из следующего соотношения (отношения реактивного к активному сопротивлению конденсатора):

$$\boldsymbol{tg\delta = \frac{1}{\omega CR} = \frac{G}{\omega C}}, \quad (2.3)$$

где, $\boldsymbol{C}$ – емкость конденсатора, Ф;

$\boldsymbol{\omega}$ – частота переменного тока в цепи, Мгц;

$\boldsymbol{R}$ – сопротивление диэлектрика, кОм.

Таким образом, автор установил пропорциональную зависимость между чистотой авиатоплива и тангенсом угла потерь $\boldsymbol{tg\delta}$, а также предложил использовать эту зависимость как метод косвенного измерения концентрации и плотности механических примесей. Автором отмечено, что значения тангенса угла потерь $\boldsymbol{tg\delta}$, более точно характеризуют физические свойства и, в частности, чистоту вещества, чем значения комплексной диэлектрической проницаемости (КДП).

Электрическая емкость конденсатора и его проводимость зависят от его геометрических размеров, удельной электропроводности и диэлектрической проницаемости, при этом тангенс угла потерь в нем будет равен:

$$\boldsymbol{tg\delta = \frac{4\pi\sigma}{\omega\varepsilon_A} = \frac{4\pi\sigma}{\omega\varepsilon\varepsilon_0}}, \quad (2.4)$$

где $\boldsymbol{\varepsilon_A}$ -действительная часть диэлектрической проницаемости; Ф/м;

ε - абсолютная диэлектрическая проницаемость;

ε_0-диэлектрическая проницаемость вакуума, Ф/м;

$\boldsymbol{\sigma}$- удельная электропроводность, См; ($Ом^{-1}$) ;

$\boldsymbol{\omega}$– частота переменного тока в цепи, МГц;(ГГц).

Характер изменений свойств диэлектриков в электрическом поле с точки зрения молекулярной теории можно объяснить особенностями их молекулярного строения в зависимости от их отношения к группе полярных или неполярных диэлектриков. Диэлектрики, у которых молекулы имеют симметричное строение, например, углеводороды, из которых состоит применяемое на ВС авиатопливо, называются неполярными, так как имеют алкильный радикал, у которого центры отрицательных и положительных зарядов совпадают. К полярным диэлектрикам относят вещества, имеющие ионную или электровалентную связь между молекулами, а их центры отрицательных и положительных зарядов не совпадают. К таким диэлектрикам можно отнести спирт, аминокислотные и карбоксильные

группы, воду. Как правило, полярные диэлектрики имеют более высокую диэлектрическую проницаемость чем неполярные.

В целях использования значений измерения электрофизических свойств для косвенного определения физических свойств вещества диэлектрика, таких как плотность, и концентрация, необходимых для измерений уровня чистоты авиатоплива, целесообразно найти математические зависимости составляющих диэлектрической деформационной поляризации: таких как электронная поляризация, атомная поляризация и ориентационная поляризация.

Авиатопливо, содержащее в своем составе углеводороды, парафины и т.д. относится к неполярному диэлектрику, у которого под действием внешнего электрического поля возникает деформационная поляризация $\boldsymbol{P_{EA}}$ [149].

Воздействие внешнего электрического поля на молекулы вещества диэлектрика, вызывает в нем несколько составляющих деформационной поляризации, представляющих собой:

- электронную поляризацию $\boldsymbol{P_E}$, характеризующуюся смещением электронного облака относительно ядра атома, при котором ядра атомов в молекуле не изменяют своего взаимного положения;

- атомную поляризацию $\boldsymbol{P_A}$, характеризующуюся смещением атомов в молекуле (ионная поляризация);

- и ориентационную поляризацию $\boldsymbol{P_0}$, когда воздействие внешнего электрического поля вызывает пространственное упорядочивание расположения диполей.

С точки зрения применения диэлектрической проницаемости авиатоплива в предлагаемом диэлькометрическом методе контроля чистоты авиатоплива целесообразно знать результирующую мольную поляризацию $\boldsymbol{P}$. Для этого воспользуемся уравнением Дебая:

$$\boldsymbol{P = P_Э + P_0 = \frac{M(\varepsilon-1)}{\rho(\varepsilon+2)} = \frac{4\pi\eta^2 N_A}{9kT} + \frac{4\pi\alpha N_A}{3}},\qquad (2.5)$$

где: **k** – постоянная Больцмана;

$\boldsymbol{N_A}$ – число Авогадро;

$\boldsymbol{\rho}$ – плотность кг/м^3;

$\boldsymbol{T}$ - температура ^{o}К**;**

$\boldsymbol{M}$ - масса 1 моля, г/моль;

$\boldsymbol{\eta^2}$ – дипольный момент;

$\boldsymbol{\alpha}$ – поляризуемость (электрический момент, который создает единичное поле).

Данное уравнение автор использовал в качестве математической модели для растворов полярных жидких диэлектриков (воды) в неполярных растворителях-керосинах(авиатопливо) а, также их суспензий с механическими примесями. К ним можно отнести как чистое авиатопливо, загрязненное механическими примесями авиатопливо, и содержащее воду как в растворенном виде, так и в свободном (эмульсионном) виде. Кроме механических примесей в авиатопливе может находится вода в различных состояниях. Выше отмечено, что вода является полярным диэлектриком, поэтому в качестве математической модели ее диэлектрической проницаемости среды, целесообразно применить формулу Онзагера. Ее физическая суть состоит в том, что внешнее электрическое поле, действующее на молекулу, во многом зависит от направления момента диполя [149], и она имеет вид:

$$\frac{(\boldsymbol{\varepsilon}-\boldsymbol{n^2})(2\boldsymbol{\varepsilon}+\boldsymbol{n^2})}{\boldsymbol{\varepsilon}(\boldsymbol{n^2}+2)^2} = \frac{4\pi N_A \mu^2}{9kT}\,. \qquad (2.6)$$

Модель Онзагера — это диполь с моментом *м,* совпадающий с центром сферы радиуса молекулы *r*, находящийся в сплошной среде, имеющей статическую диэлектрическую проницаемость $\boldsymbol{\varepsilon}$**.** При этом сам диполь находится одновременно под воздействием электрического поля полости сферы молекулы, и вместе с тем он же (диполь) поляризует окружающую его сплошную среду, и этим вызывает поле реакции, действующее в обратном направлении, создающее поляризующее действие на диполь.На величину диэлектрической проницаемости сплошной среды, влияет частота, в момент измерения. Эти явления зависимости величины диэлектрической проницаемости объясняются теорией, описывающей

комплексную диэлектрическую проницаемость сплошной среды $\dot{\varepsilon}$ и нашли отражение в формуле Дебая:

$$\dot{\varepsilon} = \varepsilon + j\acute{\varepsilon}, \quad (2.7)$$

где, $\acute{\varepsilon}$ - мнимая часть (2.7), определяющая поглощение энергии в диэлектрике, находящемся в переменном электрическом поле;

ε - действительная часть (относительная диэлектрическая проницаемость).

Тогда для определения тангенса угла потерь можно записать:

$$tg\delta = \frac{\acute{\varepsilon}}{\varepsilon}. \quad (2.8)$$

Было исследовано влияние частоты переменного электрического поля на действительную ε и мнимую $\acute{\varepsilon}$ диэлектрические проницаемости (рисунок 2.1). Как видно из рисунка 2.1 до частоты 10^8 Гц действительная часть ε диэлектрической проницаемости практически не изменяется [149].

Проведем анализ полученных зависимостей (рисунок 2.1). Как видно при частоте переменного тока $\omega = 0$ диэлектрическая проницаемость ε имеет максимальное значение и называется квазистатическое ε (0) состояние. При увеличении частоты переменного тока, действительная часть ε сохраняется на значении ε (0), до области аномальной диэлектрической дисперсии, а потом медленно снижается, уменьшаясь до постоянной величины $\varepsilon(\infty)$. Для анализа полученной зависимости воспользуемся уравнения Максвелла [149]:

$$\varepsilon(\infty) = n^2. \quad (2.9)$$

Из уравнения видно, что между постоянной величины $\varepsilon(\infty)$ и показателем оптического преломления **n** существует зависимость, которая будет справедлива в случаях, если атомной поляризацией вещества диэлектрика можно пренебречь. Коэффициент оптического преломления определяется на длине волны, желтой линии спектра натрия (λ = 0,586 мкм). На предельных частотах диэлектрическая проницаемость, а также коэффициент оптического преломления можно выразить следующими выражениями:

$$\varepsilon(\infty)\ \frac{\varepsilon(\infty)-1}{\varepsilon(0)+2} = A\frac{n^2-1}{n^2+2}, \quad (2.10)$$

где, коэффициент А= 1,05...1,15 применим для случаев с учетом влияния атомной поляризации диэлектрика.

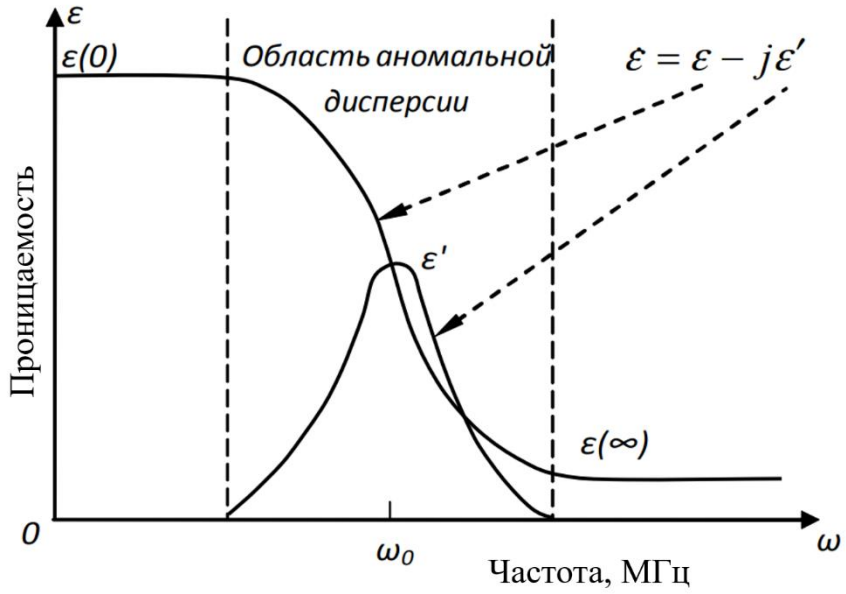


Рисунок 2.1 – Влияние частоты переменного электрического поля на действительную $\boldsymbol{\varepsilon}$ и мнимую $\boldsymbol{\acute{\varepsilon}}$ диэлектрические проницаемости [149]

Из представленных зависимостей (рисунок 2.1) видно, что при низких частотах атомы, постоянные диполи и электроны успевают изменять свою ориентацию, так электрическое поле меняется медленно [18]. С увеличением его частоты постоянные диполи уже не успевают за изменениями поля. Это приводит к отставанию ориентации диполей, следовательно, к изменению ориентационной поляризации, которая уже не существенно влияет на полную поляризацию. Такое отставание ориентации диполей, относительно осцилляций поля, можно оценить аномальной дисперсией диэлектрической проницаемости, которая в свою очередь оценивается временем релаксации $\boldsymbol{\tau}$:

$$\boldsymbol{\tau} = \frac{\boldsymbol{4\pi\eta\alpha^3}}{\boldsymbol{kT}}, \tag{2.11}$$

где, $\boldsymbol{\eta}$ - вязкость жидкого диэлектрика, *см²/с*;

$\boldsymbol{\alpha}$ – радиус молекул, пм;

$\boldsymbol{T}$- абсолютная температура, *К*.

У этих молекул, при температуре перехода в твердое состояние, резко падает диэлектрическая проницаемость. Однако уравнение (2.11) не будет справедливо

для веществ, состоящих из молекул эллипсоидной формы, поскольку каждая из осей эллипсоида имеет индивидуальное время релаксации.

При наибольшей разности времени релаксации по осям, у таких молекул на дисперсионных кривых выделяются три области аномальной дисперсии. Если разница времен релаксации по осям минимальна, то дисперсионная область представляет собой размытой. Такое явление можно наблюдать если молекулы вещества имеют сферическую форму. Время релаксации молекул вещества составляют (10^{-9}…10^{-12}) *сек*. Для проведения корректных замеров диэлектрической проницаемости вещества в дисперсионной области требуется увеличение частота электрического поля до 10^{12} Гц.

Кардинально отличается поведение показателя мнимой диэлектрической проницаемости $\boldsymbol{\acute{\varepsilon}}$**.** В области квазистатической и высокочастотной части спектра величина мнимой части диэлектрической проницаемости $\boldsymbol{\acute{\varepsilon}}$ практически незначительна. Однако в части аномальной области дисперсии, значение мнимой части диэлектрической проницаемости $\boldsymbol{\acute{\varepsilon}}$ становится существенным, а при критической частоте электрического поля $\boldsymbol{\omega_0}$ увеличивается до его максимального значения [18, 149].

Таким образом, на основании вышеизложенного и автором предложено использовать математическую модель на основе уравнения Дебая, для определения гранулометрических и гравиметрических (весовых) параметров механических примесей и влагосодержания в потоке авиатоплива. Для этого автором предложено проводить измерение комплексной диэлектрической проницаемости, которая является суммой:

$$\dot{\boldsymbol{\varepsilon}} = \boldsymbol{\varepsilon} - \boldsymbol{j\acute{\varepsilon}} = \boldsymbol{\varepsilon}(\infty) + \frac{\boldsymbol{\varepsilon(0)-\varepsilon(\infty)}}{\boldsymbol{1+j\omega\tau}}, \qquad (2.12),$$

где, $\boldsymbol{\varepsilon}(\infty)$- диэлектрическая проницаемость, при высокой (оптической) частоте измерения.

Преобразуем формулы (2.12) с целью выделения действительной части диэлектрической проницаемости от ее мнимой части, получим:

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{\varepsilon}(\infty) + \frac{\boldsymbol{\varepsilon(0)-\varepsilon(\infty)}}{\boldsymbol{1+j\omega^2\tau^2}} = \boldsymbol{\varepsilon}(\infty) + \frac{\boldsymbol{[\varepsilon(0)-\varepsilon(\infty)]\omega_0^2}}{\boldsymbol{\omega_0^2+\omega^2}}, \qquad (2.13)$$

$$\acute{\varepsilon} = [\varepsilon(0) - \varepsilon(\infty)]\frac{\omega\tau}{1+\omega^2\tau^2} = \frac{[\varepsilon(0)-\varepsilon(\infty)]\omega\omega^2}{\omega_0^2+\omega^2} \quad . \qquad (2.14)$$

Из уравнений Дебая построим зависимости диэлектрической проницаемости и проводимости авиатоплива от частоты колебаний электрического поля. Произведя замену:

$\omega_0 = \frac{1}{\tau}$ в формуле (2.13) получаем:

$$\varepsilon(\omega) = \frac{\varepsilon(\infty)\omega^2+\varepsilon(0)\omega_0^2}{\omega_0^2+\omega^2} = \frac{n^2\omega^2+\varepsilon(0)\omega_0^2}{\omega_0^2+\omega^2}. \qquad (2.15),$$

С целью удобства применения уравнений (2.13 и 2.14) приравниваем и преобразуем их правые части, в результате отношение проводимости авиатоплива к частоте примет вид:

$$\sigma(\omega) = \frac{\omega_0\omega^2\varepsilon_0[\varepsilon(0)-\varepsilon(\infty)]}{4\pi(\omega_0^2+\omega^2)} = \frac{\omega_0\omega^2\varepsilon[\varepsilon(0)-n^2]}{4\pi(\omega_0^2+\omega^2)}, \qquad (2.16)$$

где $\varepsilon_0 = 8.85416 \cdot 10^{-12}[\Phi/м]$ - диэлектрическая проницаемость вакуума.

Формула (2.16) верна, при условии, что $\sigma(0) = 0$, что не совсем соответствует истине. На частоте оптического диапазона, проводимость авиатоплива практически равна нулю, что уже отмечалось выше в работе. Следовательно уравнение (2.16) будет являться достоверным для определения изменение проводимости вещества при изменении частоты электрического поля в диапазоне, выше критической: $\omega \geq \omega_0$ [1]. Для определения зависимости электропроводимости вещества от частоты ниже критической, при $\omega \leq \omega_0$ в уравнение (2.17) добавим значение $\sigma(0)$:

$$\sigma(\omega) = \sigma(0) + \frac{\omega_0\omega^2\varepsilon_0[\varepsilon(0)-\varepsilon(\infty)]}{4\pi(\omega_0^2+\omega^2)} = \sigma(0) + \frac{\omega_0\omega^2\varepsilon[\varepsilon(0)-n^2]}{4\pi(\omega_0^2+\omega^2)}. \qquad (2.17)$$

Зависимость проводимости от частоты на всем диапазоне частот, может быть получена умножением выражения (2.17) на величину $\frac{\omega_0^2}{\omega_0^2+\omega^2}$:

$$\sigma(\omega) = \sigma(0)\frac{\omega_0^2}{\omega_0^2+\omega^2} + \frac{\omega_0^3\omega^2\varepsilon_0[\varepsilon(0)-\varepsilon(\infty)]}{4\pi(\omega_0^2+\omega^2)^2}. \qquad (2.18)$$

Зависимость проводимости авиатоплива от частоты электрического поля при различных начальных значениях проводимости представлен графиком на рисунке 2.2. При вычислениях использованы числовые значения для

авиатоплива - эталонного компонента ТС-1: $\boldsymbol{\varepsilon(0) = 1,961}$; $\boldsymbol{\varepsilon(\infty) = 1,958}$; $\boldsymbol{\omega_0 = 0,204 \cdot 10^9}$ $\mathbf{1}$/сек ($\boldsymbol{\tau = 4,9 \cdot 10^{-9}}$сек) [18, 149].

На графике видно, что максимум проводимости соответствует критической частоте $\boldsymbol{\omega_0}$, и не зависит от величины начальной проводимости.

Уравнение (2.18) хорошо согласуется с теориями о частотной зависимости проводимости : при $\boldsymbol{\omega = 0}$, $\boldsymbol{\sigma(\omega) = \sigma(0)}$ - статическая проводимость при постоянном токе; при $\boldsymbol{\omega = \infty}$, $\boldsymbol{\sigma(\omega) = 0}$, потому что диполи не способны менять направление своей ориентации, синхронно переменному электрическому полю бесконечной частоты [18, 149].

При $\boldsymbol{\omega = \omega_0}$, поляризационная проводимость достигает максимального значения.

$$\boldsymbol{\sigma(\omega) = \frac{\sigma(0)}{2} + \frac{\varepsilon_0 \omega_0 [\varepsilon(0) - \varepsilon(\omega_0)]}{16\pi}}. \qquad (2.19)$$

Как видно из зависимостей, представленных на рисунке 2.3, величина максимального значения проводимости вещества зависит от значения критической частоты электрического поля, а пик ее величины и график смещаются в зависимости от величины критической частоты. На графике наблюдается значительное увеличение проводимости в диапазоне частот от1 до 10МГц.

Выражая из уравнения (2.15) $\boldsymbol{\varepsilon(\infty)}$ подставим его в уравнение (2.18).

$$\boldsymbol{\varepsilon(\infty) = \frac{\varepsilon(\omega)(\omega^2 + \omega_0^2) - \omega_0^2 \varepsilon(0)}{\omega^2}}, \qquad (2.20)$$

$$\boldsymbol{\sigma(\omega) = \frac{\omega_0^2 \sigma(0)}{\omega^2 + \omega_0^2} + \frac{\omega_0^3 \varepsilon_0 [\varepsilon(0) - \varepsilon(\omega)]}{4\pi(\omega_0^2 + \omega^2)}}, \qquad (2.21)$$

Выразим из уравнения (2.14) $\boldsymbol{\varepsilon(0)}$ и подставим в уравнение (2.16)

$$\boldsymbol{\varepsilon(0) = \frac{\varepsilon(\omega)(\omega_0^2 + \omega^2) - \omega^2 \varepsilon(\infty)}{\omega_0^2}}, \qquad (2.22)$$

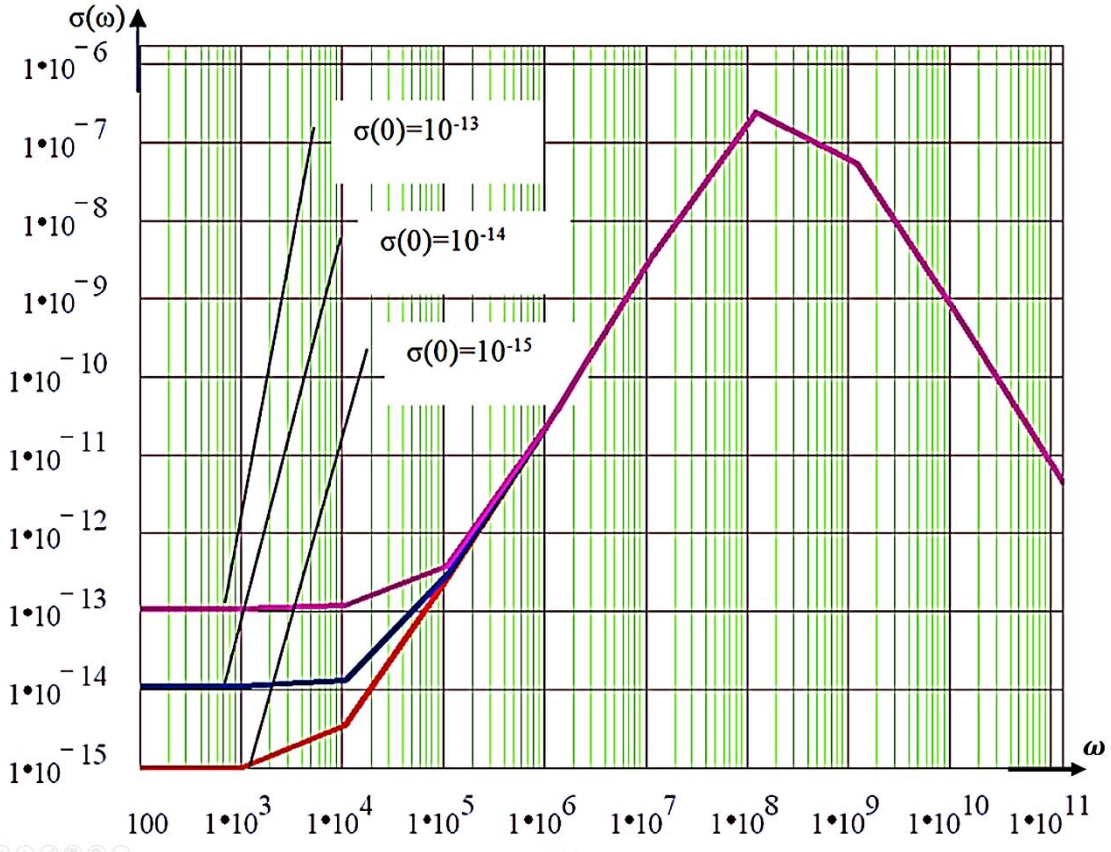


Рисунок 2.2 – Зависимость проводимости авиатоплива от частоты поля

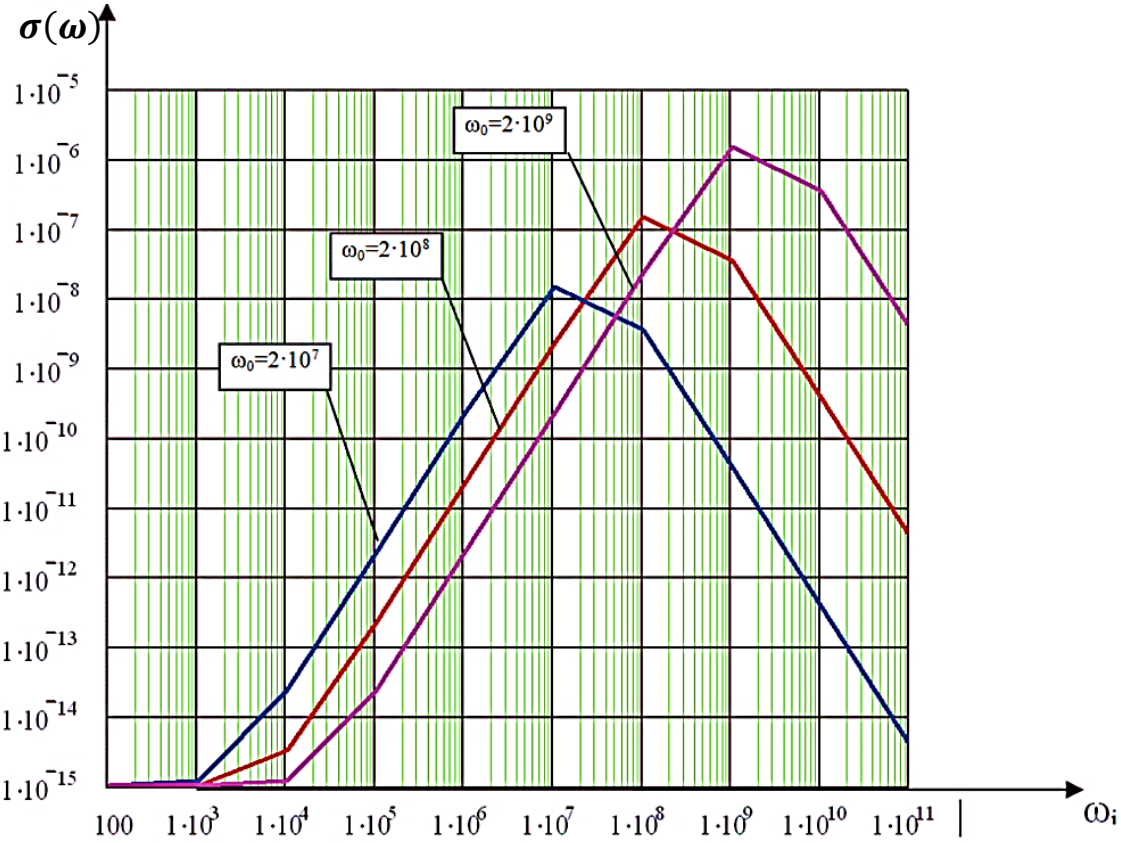


Рисунок 2.3 – Графики зависимости проводимости авиатоплива от частоты для разных значений критической частоты $\boldsymbol{\omega_0}$

$$\boldsymbol{\sigma(\omega) = \frac{\omega_0^2 \sigma(0)}{\omega^2+\omega_0^2} + \frac{\omega_0 \omega^2 \varepsilon_0 [\varepsilon(\omega)-\varepsilon(\infty)]}{4\pi(\omega_0^2+\omega^2)}}. \quad (2.23)$$

В формулах (2.20 и 2.22) выражена взаимосвязь проводимости и диэлектрической проницаемости при разных значениях частоты внешнего электрического поля, Однако для частот $\boldsymbol{\omega \leq \omega_0}$, использовать лучше формулу (2.20) , а для частот $\boldsymbol{\omega \geq \omega_0}$ точнее будет уравнение (2.22) [149].

В тоже время зависимость тангенса угла потерь от частоты можно описать уравнением комплексной абсолютной диэлектрической проницаемости (2.1), представленной в виде:

$$\boldsymbol{tg\delta(\omega) = \frac{4\pi\sigma(\omega)}{\omega\varepsilon_A(\omega)} = \frac{4\pi\sigma(\omega)}{\omega\varepsilon_0\varepsilon(\omega)} = \frac{\{4\pi(\omega^2+\omega_0^2)\sigma(0)+\varepsilon_0\omega_0\omega^2[\varepsilon(0)-\varepsilon(\infty)]\}\omega_0^2}{\varepsilon_0\omega[\omega^2\varepsilon(\infty)+\omega_0^2\varepsilon(0)](\omega^2+\omega_0^2)}} \quad (2.24)$$

Или с учетом $\boldsymbol{n^2 = \varepsilon(\infty)}$

$$\boldsymbol{tg\delta(\omega) = \frac{\{4\pi(\omega^2+\omega_0^2)\sigma(0)+\varepsilon_0\omega_0\omega^2[\varepsilon(0)-n^2]\}\omega_0^2}{\varepsilon_0\omega[\omega^2 n^2+\omega_0^2\varepsilon(0)](\omega^2+\omega_0^2)}}. \quad (2.25)$$

Проведенный численный эксперимент показал, что от разности между оптической и квазистатической диэлектрическими проницаемостью вещества, в значительной мере зависит тангенс угла потерь, определяющий величину диэлектрических потерь.

Как было в работе отмечено выше применяемое на ВС авиатопливо является плохим проводником электрического тока. При увеличении пределов выкипания авиатоплива при перегонке нефти его удельная электрическая проводимость σ увеличивается до $\boldsymbol{10^{-17} \div 16^{-17}}$[Ом$^{-1}$м$^{-1}$]. Если авиатопливо получено в процессе прямой перегонки нефти, то проводимость составляет $\boldsymbol{(0,1 \div 1,0) \times 10^{-16}}$[Ом$^{-1}$м$^{-1}$]. Для предотвращения накопления статического электричества в баках ВС при производстве авиатоплива в него добавляют антистатические присадки, повышающие электропроводность. Для предотвращения льдообразования в топливных баках и ТРА ВС в него добавляют ПВКЖ, что также увеличивает его электропроводность [72]. Если произвести измерения проводимости авиатоплива с учетом добавленных в него присадок, при различных значениях частоты электрического тока, то получим

различные значения проводимости. Как видно из рисунка 2.2, проводимость такой топливной смеси при температуре 20 °С и при частоте измерения 100 - 1000 Гц будет составлять порядка $(\mathbf{3} \div \mathbf{10}) \times \mathbf{10^{-16}}[\text{Ом}^{-1}\text{м}^{-1}]$. Увеличение частоты электрического тока до максимальных значений приведет к снижению проводимости до нуля.

В настоящее время на рынке оборудования появилось достаточно большое количество приборов, для измерений электропроводимости авиатоплива. Существенным недостатком таких приборов является, что их принцип действия основан на измерениях под действием постоянного тока, что не позволяет измерить комплексную диэлектрическую проницаемость, а также тангенс диэлектрических потерь.

На основании изложенного можно сделать вывод, что предлагаемый автором способ измерения гравиметрических показателей чистоты авиатоплива, от механических примесей и свободной воды, на основе измерений его комплексной диэлектрической проницаемости и тангенса диэлектрических потерь, дают широкие возможности создания сенсоров и датчиков для динамических и экспресс методов измерения параметров качества авиатоплива в потоке во время заправки ВС, а также непрерывного мониторинга качества авиатоплива на всех стадиях его подготовки к применению. Более точно рассчитывать и конструировать датчики аппаратуры, основанной на использовании изменений параметров $\boldsymbol{\sigma}$, $\boldsymbol{\varepsilon}$ в широком диапазоне частот. Кондиционность авиатоплива и ее изменение в процессе эксплуатации приводят к изменению его электрических параметров: критическую частоту $\boldsymbol{\omega_0}$, квазистатическую $\boldsymbol{\varepsilon(0)}$ и оптическую $\boldsymbol{\varepsilon(\infty)}$ диэлектрические проницаемости, а также проводимость $\boldsymbol{\sigma}$.

На основании проведенных исследований представляется возможным создать прибор, способный измерять концентрацию и плотность механических примесей с точностью до 0,5% за счет измерения изменения диэлектрической проницаемости авиатоплива в потоке.

2.2 Теоретическое обоснование разработки метода устройства динамического мониторинга чистоты авиатоплива на основе каскадной фильтрации и диэлектрической проницаемости

Возможность определения значений показателей уровня механических примесей (вес, количество, и размеры) с помощью применения устройства на основе каскадной фильтрацией автором ранее рассмотрены [20, 21, 24, 117, 118, 119, 120], а также в работах других авторов [76, 181]. Сочетание диэлькометрического метода измерений гравиметрических показателей чистоты авиатоплива, и метода каскадной фильтрации, реализующего измерение гранулометрических показателей чистоты АТ, позволяет разработать экспресс метод динамических измерений, в одном приборе, производящем одновременно измерения и для гравиметрических, и для гранулометрических показателей чистоты авиатоплива в потоке контролируемого авиатоплива.

С целью повышения точности измерений диэлькометрического метода измерения гравиметрических показателей чистоты авиатоплива, рассмотрим теоретические вопросы возможности измерения содержания механических примесей другими способами. В частности, методом резонансного измерения диэлектрической проницаемости авиатоплива, как неполярного диэлектрика.

С целью разработки метода динамического измерения гравиметрических параметров содержания механических примесей в авиатопливе, автором предлагается применить диэлькометрический метод измерения основанный на использовании зависимости комплексной диэлектрической проницаемости, от величины значений плотности и концентрации механических примесей в потоке перекачиваемого авиатоплива [17, 18, 67, 78, 95, 104, 140]. Известно, что комплексная диэлектрическая проницаемость дисперсной системы авиатопливо-механические примеси, пропорциональна уровню содержания механических

примесей в авиатопливе и косвенно характеризует величину количества, концентрации и значение плотности механических примесей в авиатопливе.

Автором предлагается к разработке высокочувствительный датчик на основе высокочастотного измерителя импеданса пористой фильтрующей перегородки в потоке авиатоплива, задерживающей и накапливающий в своем объеме, отфильтрованные из потока прокачиваемого авиатоплива, частицы механических примесей.

Принцип действия датчика, заключается в размещении фильтрующей пористой перегородки, между двумя электродами-обкладками классического конденсатора, измерения электрической емкости которого служат для расчета комплексной диэлектрической проницаемости, известный также как метод трёх контактов (стандарт ASTM D15012) показан на рисунке 2.4.

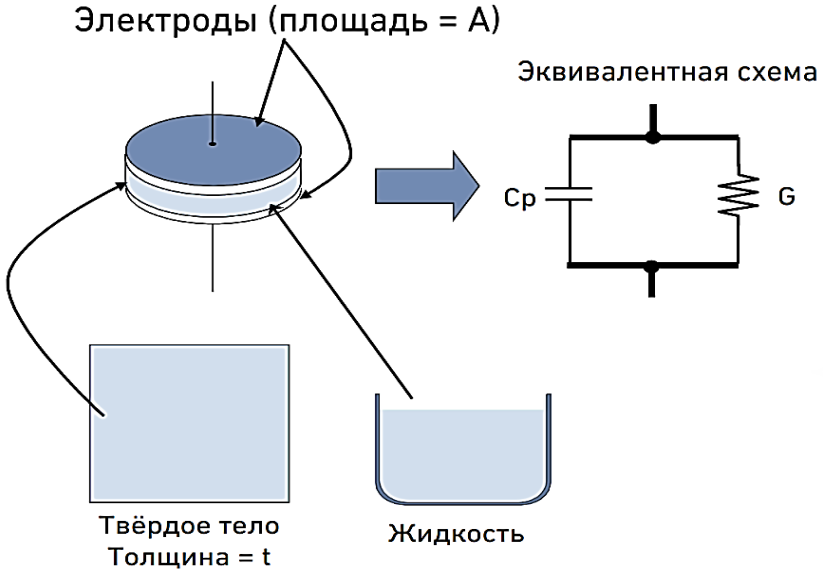


Рисунок 2.4 – Метод параллельных пластин ASTM D15012

Основные параметры метода параллельных пластин описываются уравнениями (2.26-2.29):

$$Y = G + j\omega C_{\text{p}} = j\omega C_0 \left(\frac{C_{\text{p}}}{C_0} - j\frac{G}{\omega C_0}\right), \qquad (2.26)$$

где:

A – площадь пластин конденсатора, м;

t – расстояние между пластинами конденсатора, м;

$C_р$– ёмкость с диэлектриком, Ф;

C_0 – ёмкость(воздуха) без диэлектрика, Ф;

G – электропроводность, См ($Ом^{-1}$);

j-плотность тока, $А/м^2$;

ω-– частота переменного тока в цепи, МГц;(ГГц)

$$\varepsilon^* = \frac{C_р}{C_0} - j\frac{G}{\omega C_0}, \tag{2.27}$$

$$\varepsilon_r' = \frac{t \cdot C_р}{А \cdot \varepsilon_0}, \tag{2.28}$$

$$\varepsilon_r'' = \frac{t}{\omega \cdot R_P \cdot A \cdot \varepsilon_0}, \tag{2.29}$$

где:

ε_r- относительная диэлектрическая проницаемость;

$\varepsilon = \varepsilon^* = \varepsilon_0 \varepsilon_r$ - абсолютная диэлектрическая проницаемость;

$\varepsilon_0 \approx \frac{1}{36\ п} \times 10^{-9}$ ≈8,85·10^{-12} -диэлектрическая проницаемость вакуума, Ф/м;

ε_r'- мнимая часть диэлектрической проницаемости; Ф/м.

Для практического определения импеданса, используются два электрода и измеряют векторные компоненты ёмкости (C) и рассеяния (D), а затем вычисляют диэлектрическую проницаемость и тангенс угла потерь. Для измерения по методу параллельных пластин применяют анализатор импеданса для измерения свойств диэлектриков, работающий на частотах до 1 ГГц [136, 140].

При разработке метода автором предложена упрощенная модель дисперсной системы «механические примеси – жидкий неполярный диэлектрик», в которой величина массового (весового) содержания механических примесей авиатоплива w является функцией диэлектрических проницаемостей загрязненного авиатоплива ε_2 и «чистого» авиатоплива ε_1 :

$$w = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{3 \cdot \varepsilon_1}; \tag{2.30}$$

где ε_1 - диэлектрическая проницаемость «чистого» авиатоплива;

ε_2 - диэлектрическая проницаемость загрязненного авиатоплива;

ε - абсолютная диэлектрическая проницаемость;

В основе экспериментальной установки применялся резонансной метод измерения диэлектрической проницаемости ε_1 и ε_2, пористой фильтрующей перегородки – так называемый, диэлькометрический фильтроэлемент емкостного типа, далее диэлькометрический фильтроэлемент, установленный в поток прокачиваемого исследуемого авиатоплива, сначала чистого, а затем поток авиатоплива с различным количеством загрязнителей механических - примесей различной природы и концентрации.

Для проведения измерений диэлектрической проницаемости в диэлькометрическом фильтроэлементе резонансным методом, разработана схема с использованием измерительного генератора и усилителя с обратной связью.

В результате измерения, диэлектрических проницаемостей ε_1 и ε_2, были найдены четыре варианта значений частоты измерительного генератора: 1 - частота измерительного генератора с отключенным диэлькометрическим фильтроэлементом; 2 - частота измерительного генератора с сухим диэлькометрическим фильтроэлементом, 3 - частота измерительного генератора с диэлькометрическим фильтроэлементом заполненным чистым авиатопливом; 4 - частота измерительного генератора с диэлькометрическим фильтроэлементом после прокачивания, через него определенного количества авиатоплива содержащего механические примеси различной природы в концентрациях определяемых экспериментом.

Таким образом, в результате измерений в диапазоне частот от 100 кГц до 2 МГц удалось решить практическую задачу косвенного определения плотности и концентрации механических примесей в авиатопливе в диапазоне 0,1 % < w < 10 %.

Однако в ходе эксперимента, обнаружилось значительное влияние паразитных параметров данного схемного решения исследовательского стенда, что негативно отразилось на точности метода диэлькометрических измерений очень малых величин значения содержания механических примесей в авиатопливе: - 2 г/тн или процентной концентрации - 0,0002 % массы.

Для повышения чувствительности, метода резонансной диэлькометрии необходимо: проводить измерения на более высоких частотах, при этом принять меры к снижению влияния паразитных емкостей, и индуктивностей элементов

схемы в составе диэлькометрического фильтроэлемента, измерительного генератора и усилителя с отрицательной обратной связью, также требуется обеспечить высокую стабильность частоты генератора при измерениях [137, 140].

С целью обеспечения перечисленных условий эксперимента, автором разработан диэлькометрический фильтроэлемент представленный как классический конденсатор с распределенными параметрами, состоящий из параллельных перфорированных токопроводящих пластин (обкладок) и размещенной между ними пористой фильтрующей перегородки, через которые прокачивается исследуемое авиатопливо, частицы мехпримесей в результате фильтрации накапливаются на фильтрующей перегородке, тем самым вызывая изменение диэлектрической проницаемости (емкости) и импеданса, пропорционально массовому (весовому) содержанию мехпримесей, уже упомянутый выше, метод параллельных пластин, известный также как метод трёх контактов (стандарт ASTM D15012) [204] . Схема и принцип действия диэлектрического монитора механических примесей в потоке авиатоплива на рисунке 2.5.

В процессе проведения эксперимента по измерению резонанса диэлькометрического фильтроэлемента, при частотах до 1,8 ГГц. [138, 140], были выявлены преимущества измерителя диэлектрической проницаемости авиатоплива, выполненного в виде диэлькометрического фильтроэлемента, по сравнению известными измерительными системами сверхвысокочастотного диапазона на основе четвертьволнового резонатора.

В целях проверки теоретических предположений последующих теоретических исследований применения диэлькометрического фильтроэлемента, в методах резонансного измерения диэлектрической проницаемости авиатоплива, как неполярного диэлектрика [139, 140] методами математического анализа, были исследованы электрофизические процессы в происходящие в работе разработанного измерителя диэлектрической проницаемости, проведено имитационное моделирование в среде SOLIDWORKS Simulation и MicroCap.

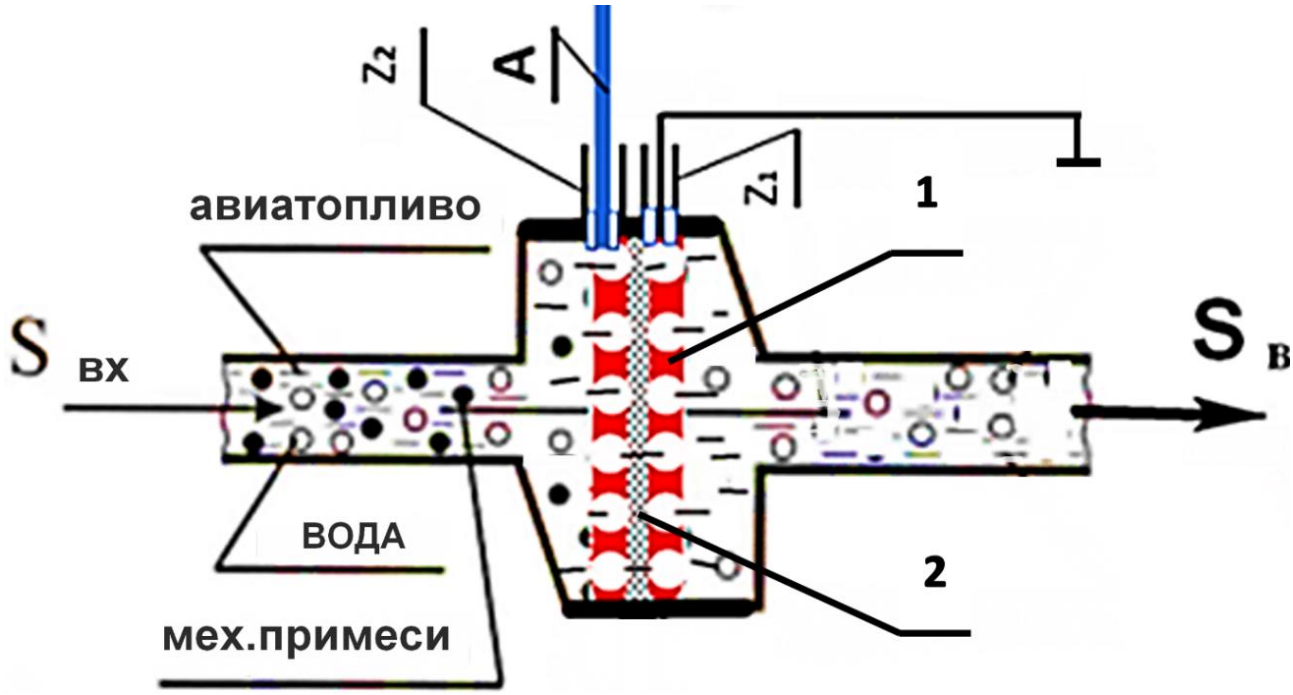


Рисунок 2.5 – Схема датчика диэлькометрического измерения плотности механических примесей в потоке авиатоплива: 1 - перфорированные металлические электроды (пластины эквивалентного конденсатора); 2 - пористый фильтрующий диэлектрик; А - электрод измерителя комплексной диэлектрической проницаемости (КДП) [140]; Sвх - поток загрязненного и обводненного авиатоплива; $S_{вых}$-поток очищенного авиатоплива; Z_1-герметичный изолятор[140] вывода заземлителя; Z_2 – высокочастотный изолятор измерительного электрода; авиатопливо-неполярный диэлектрик; Вода – полярный диэлектрик (условно); Мех примеси - с разной удельной диэлектрической проницаемостью

С учетом полученных данных, разработана методология эксперимента, при которой уровень содержания механических примесей в авиатопливе определяется по разнице диэлектрических проницаемостей чистого и загрязненного авиатоплива, путем последовательного измерения диэлектрических проницаемостей диэлькометрического фильтроэлемента, подключенного к измерительному генератору. С учетом частотной дисперсии диэлектрической проницаемости механических примесей в диэлькометрическом

фильтроэлементе, выбирается максимально возможная частота измерительного генератора [139, 140]. Блок-схема измерительного стенда представлена на рисунке 2.6. Датчик механических примесей, диэлькометрический фильтроэлемент, подключен к генератору резонансных частот.

Частота генерации генератора резонансной частоты измеряется частотомером F, а температура ДФ – датчиком температуры Т. Расход прокачиваемого авиатоплива измеряется Кориолисовым массовым расходомером. Конструктивно стенд состоит из датчика -1 с электронной платой первичного преобразователя -2, измерительного оборудования -7,-8 и гидравлической части: - насоса плунжерного -4, расходомера роликолопастного-3. Структурная схема сенсора резонансного диэлькометрического преобразователя показана на рисунке 2.8.

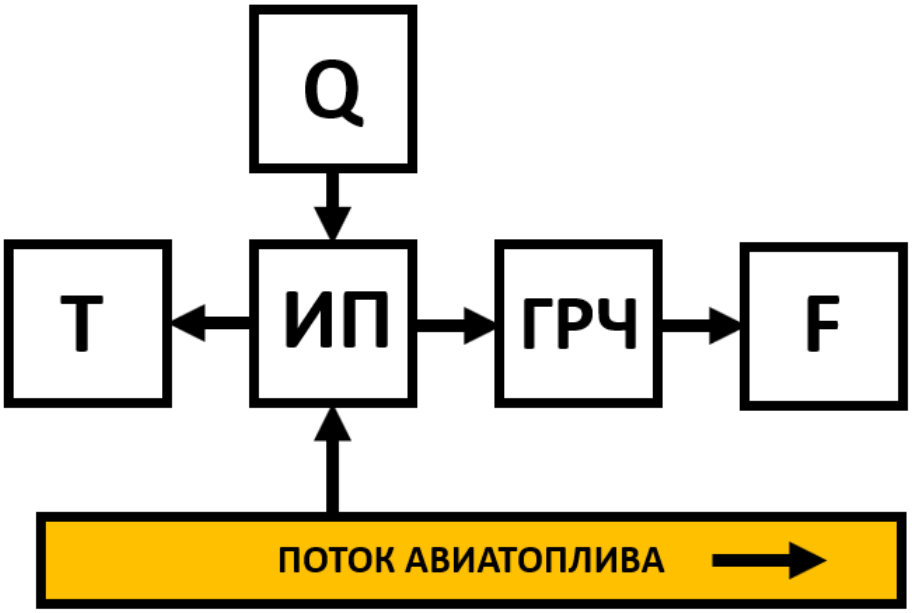


Рисунок 2.6 – Блок-схема измерительного стенда: ИП- измерительный преобразователь; ГРЧ-генератор резонансной частоты ; Q-счетчик-расходомер авиатоплива; Т-датчик температуры; F- частотомер

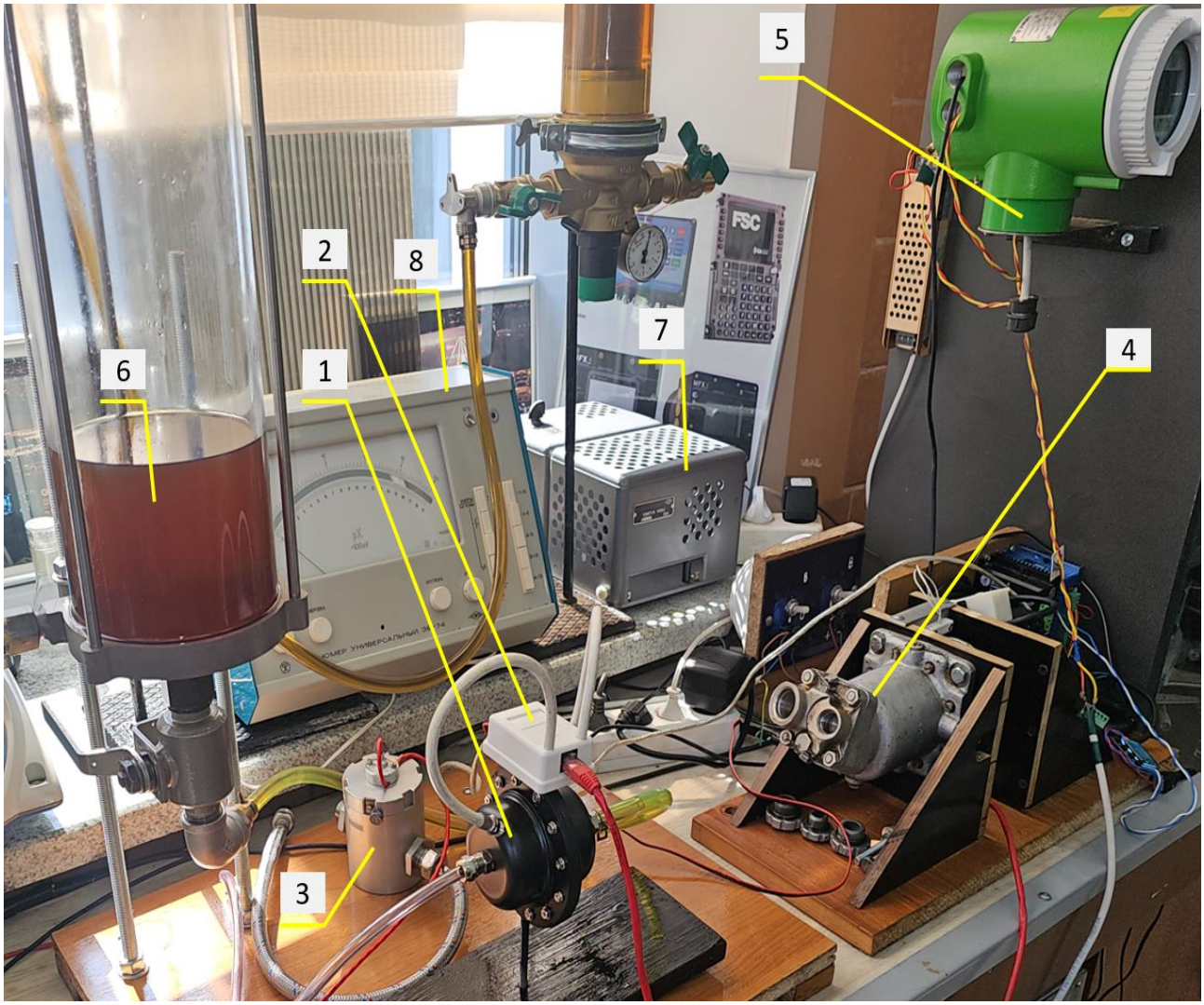


Рисунок 2.7 –Измерительный стенд: 1-сенсор диэлькометрический; 2 – измерительный преобразователь; 3- ролико-лопастной расходомер-Q; 4-плунжерный насос-НП-25; 5-массовый расходомер Кориолиса «Эми МАСС»; 6-резервуар с исследуемым авиатопливом; 7- ГРЧ-генератор резонансной частоты; 8- иономер универсальный

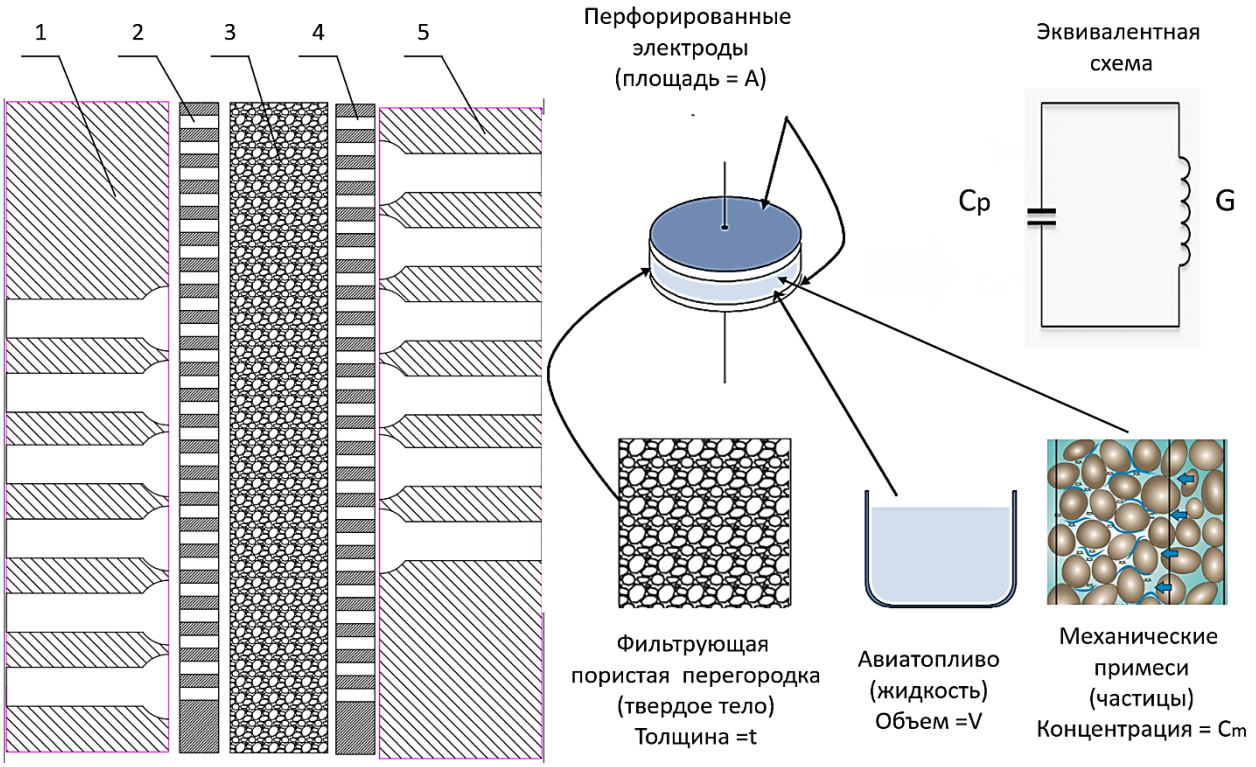


Рисунок 2.8 – Структурная схема сенсора резонансного диэлькометрического преобразователя: а) - конструкция диэлькометрического фильтра-монитора: 1-опорная сетка; 2-перфрированный электрод; 3- фильтрующая пористая перегородка; 4-перфрированный электрод; 5-опорная сетка;
б) - эквивалент схемы сенсора, состав диэлектрика

2.3 Разработка информационно-управляющей системы мониторинга показателей качества авиатоплива топливозаправочного комплекса, концептуальный облик информационно управляющей системы

В настоящее время в ТЗК применяется система контроля качества авиатоплива (рисунок 1.3) рассмотренная в главе 1. Из проведенного анализа (см. главу 1) существующей системы контроля чистоты авиатоплива было

установлено, что она имеет ряд существенных недостатков. Наиболее существенными являются применение «ручных» методов контроля качества авиатоплива, основанных на точечном отборе пробы.

С целью исключения указанных недостатков, а также перехода контроля чистоты авиатоплива от дискретных методов к непрерывным, от статических к непрерывным, а также повышения достоверности о чистоте авиатоплива перед автором стояла задача разработки ИУС.

В целях реализации предложенной концепции перехода на новую методологию управления качеством авиатопливообеспечения, автором предложено построение информационно-управляющей системы на основе разработанных датчиков сенсоров (см. выше) и широко используемых в построении систем автоматизации SCADA – систем (от англ. supervisory control and data acquisition — диспетчерское управление и сбор данных).

Автором, в целях автоматизации управления качеством, разработана ИИУС, на основе широко известных SCADA – систем (исполняющих функции сбора, обработки, архивирования, журналирования информации и управления технологическими процессами ТЗК) и разработанных датчиков сенсоров непрерывного измерения параметров показателей уровня чистоты авиатоплива, установленных на всех этапах жизненного цикла авиатоплива. Причем датчик установлен до фильтра и после, что позволяет оценивать и контролировать процесс очистки, ее эффективность, эффективность работы оборудования в режиме реального времени, а также повышения эффективности работы оборудования ТЗК за счет рационального использования, своевременного обслуживания, прогнозирования неисправностей и принятия обоснованных решений о его применении при заправке ВС.

На основе полученных от датчиков-сенсоров аналоговых сигналов, данных об измерении показателей чистоты авиатоплива датчиками непрерывного ее измерения, преобразованных в цифровые для принятия решения по устранению всех несоответствий с качеством продукции или отдельных звеньев системы качества.

Информационно управляющая система качества ТЗК построена таким образом, чтобы полностью выполнить заявленную заправочным комплексом политику в области качества авиатоплива.

С целью формирования управленческих решений. Формирования паспорта качества, на основе исторических данных, о составе мехпримесей, выбирать наиболее эффективные технологии и оборудование, создана база данных и интеграция с ЛИМС.

Обеспечение полноты и непрерывности контроля качества авиатоплива в части измерений показателей чистоты авиатоплива (грануло- и гравиметрических измерений) от приемки до отпуска и обеспечение формирования достоверного баланса оценки уровня чистоты на объектах ТЗК авиатопливообеспечения.

Повышение достоверности измерений чистоты за счет уменьшения влияния «человеческого фактора» на результаты измерений.

Создание условий по обеспечению необходимого уровня качества с соблюдением выполнения требований действующего законодательства, технических регламентов, ГОСТов, отраслевых и корпоративных нормативных требований.

Автоматизация деятельности лабораторий в соответствии с требованиями нормативных документов к компетенции испытательных лабораторий, к точности (правильности и прецизионности) методов и результатов измерений, к внутреннему контролю качества результатов испытаний, создание единого источника достоверных и оперативных данных контроля качества авиаГСМ, передаваемых на различные уровни управления производством на основе автоматизированной базы данных; повышение уровня сохранности данных по контролю качества и оперативности доступа к ним.

На основе разработанных автором датчиков (сенсоров), устройств и методов динамической оценки уровня чистоты авиатоплива, а также разработанной (созданной) адаптивной ИИУС динамического мониторинга качества авиатоплива технологических процессов ТЗК, стало возможным

автоматизировать технологические процессы контроля качества авиатоплива, которые до настоящего времени являлись не автоматизированными, требующими квалифицированного ручного труда авиатехников, операторов, и лаборантов, подверженного негативному влиянию человеческого фактора и тем самым сдерживающему производительность ТЗК и технологическую интенсификацию аэропортового комплекса.

Распределенная автоматизированная система управления технологическими процессами мониторинга и управления качеством топливозаправочного комплекса авиатопливообеспечения аэропорта, представлена в приложении А (рисунок А.1). Она реализует функции контроля качества авиатоплива по его показателям и параметрам [216] и показателям, управления операциями приема, хранения, выдачи авиатоплива ТС-1, Jet A-1, противоводокристаллизационной жидкости, регулирования параметров режима по заданному закону, формирования блокирующих воздействий в аварийных ситуациях и отображения обрабатываемой информации.

Создание системы предназначено для реализации следующих задач:

- повышение эффективности оперативного управления технологическими процессами ТЗК, обусловленное увеличением информационного обеспечения, его обработки и представления эксплуатации;

-повышение точности, достоверности измерений средствами автоматизации;

- повышение безопасности процессов за счет применения средств автоматизации;

- уменьшение вероятности возникновения аварийных ситуаций, повышение надежности работы самой системы управления, за счет применения современных технических устройств на основе электронных и вычислительных средств и наличия самодиагностики;

- облегчение условий и повышение культуры труда технологического персонала за счет предоставляемого системой сервиса;

- уменьшение количества выполняемых технологическим персоналом функций за счет их автоматизации[204];

- повышение производительности объектов за счет улучшения качества регулирования и управления технологическим процессом;

- повышение информационного обеспечения технологического и эксплуатационного персонала;

- уменьшение материальных и энергетических затрат [204] на эксплуатацию производства.

Автор применил современные микропроцессорные, технические и программные средства, для построения ИУС, распределенной системы качества ТЗК и ее интеграции в производственную информационную сеть аэропортового комплекса, диспетчерскую сеть наземного обслуживания аэропортового комплекса (аэрологистика), а также интеграции с информационными системами оперативного управления движением нефтепродуктов (СОУДН) вертикально интегрированных компаний (ВИНК), тем самым обеспечивая многоуровневую систему контроля и управления качеством авиатоплива на всех этапах его жизненного цикла в технологических процессах ТЗК , от приема , подготовки до заправки ВС, которая представлена в приложении А на рисунке А.2.

Для обеспечения технологических операций авиатопливообеспечения ВС помимо операций контроля и мониторинга качества авиатоплива, ряд функций по переключению трубопроводных коммуникаций автоматизируются. В частности, автоматизированной системой управления, предусматривается:

- дистанционное управление запорной арматурой узла переключения резервуаров для перераспределения потоков авиатоплива;

- автоматическое закрытие приемной линии резервуаров при переполнении;

- автоматический сброс отделившейся воды из фильтров водоотделителей в дренажную систему;

- автоматическое поддержание заданных параметров чистоты потоков авиатоплива в гидрантную систему ЦЗС и на предперонный пункт налива ТЗ;

- измерение гранулометрических и гравиметрических показателей чистоты поступившего и выданного авиатоплива и его передача в базу данных[216];

- непрерывная оценка чистоты авиатоплива на всех этапах его подготовки;

- автоматическое формирование балансов механических за выбранный отчетный период

При сливе продуктов с ж/д цистерн автоматизированы:

- отбор проб из ж/д цистерн;

-экспресс анализ, аэродромный инструментальный контроль, приемный;

- дистанционное переключение трубопроводов на приемный резервуар;

- останов насосов по окончании слива ж/д цистерн;

- останов насосов при заполнении резервуара;

- сброс отделившейся воды из водоотделителя;

При подаче авиатоплива в систему ЦЗС и на ППН

Автоматически выполняются следующие операции:

-отбор проб из расходного резервуара;

- отбор проб из ж/д цистерн;

-экспресс анализ, аэродромный инструментальный контроль, приемный

- дистанционное переключение трубопроводов на расходный резервуар;

- пуск/останов насосов по режиму расхода топлива в ЦЗС и на ППН;

- останов насосов при опорожнении резервуара;

- сброс отделившейся воды из водоотделителя;

- регулирование давления в напорном коллекторе изменением производительности насосов.

- Заправка ВС авиатопливом через гидрантные колонки и диспенсеры.

Автоматизированы функции по обеспечению безопасности

- контроль давления в наливном рукаве, прекращение заправки при заполнении топливного бака, контроль оператора,

- контроль перепада давления на фильтрах, прекращение заправки при возникновении ненормативных параметров,

- динамический отбор ходовых проб в потоке авиатоплива[216];

- непрерывный экспресс анализ, аэродромный инструментальный контроль, приемный контроль, прекращение заправки при отклонениях от нормативных параметров,

- учет выданного количества, и распечатка накладной.

Налив авиатоплива в топливозаправщики [216].

-автоматически выполняются функции по обеспечению безопасности операции налива ТЗ (перелив цистерны, повышение давления в контуре налива, некондиционное авиатопливо),

- динамический отбор ходовых проб в потоке авиатоплива;

- непрерывный экспресс анализ, аэродромный инструментальный контроль, приемный контроль, прекращение заправки при отклонениях от нормативных параметров,

- учет выданного количества и распечатка накладной. Предусматривается автоматическое дозировании ПВКЖ в заданном количестве при наливе топлива ТС-1 в топливозаправщик.

Перекачка нефтепродуктов из резервуара в резервуар.

Перекачка нефтепродуктов из резервуара в резервуар может выполняться в штатном и аварийном режиме. При этом ручными операциями являются подключение насоса по схеме перекачки и его пуск.

Автоматически дистанционно выполняется открытие соответствующих электрифицированных задвижек.

Помимо обеспечения технологического процесса АСУТП предусматривает выполнение функций по обеспечению безопасности:

- контроль за состоянием воздушной среды;

- аварийный останов насосных агрегатов по команде персонала;

- сигнализация звуковая и световая при диагностике загазованности территории [216].

Структурно ИУС качества чистоты авиатоплива ТЗК и объектов авиатопливообеспечения аэропорта представлена как распределенная

информационная система, в которой выделено 3 удаленных местных пункта управления (МПУ) и центральный пункт управления:

- 1-й МПУ в аппаратной насосно-фильтрационной станции системы ЦЗС (НФСЦЗС) - ввод/вывод данных средств контроля и управления оборудования, устанавливаемого в насосной, передача данных по каналу интерфейсной связи с центральный пункт управления;

- 2-й МПУ в аппаратной насосно-фильтрационной станции сливной эстакады (НФССЭ) - ввод/вывод данных средств контроля и управления оборудования, устанавливаемого в насосной, оборудования дренажных емкостей, узла переключения, пунктов приема/выдачи нефтепродуктов и спецжидкости в/из автомобильного транспорта, передача данных по каналу интерфейсной связи с центральный пункт управления;

- 3-й МПУ в аппаратной предперронного пункта налива - ввод/вывод данных оборудования, устанавливаемого на ППН.

Для организации обмена данными между МПУ 2 вида интерфейса связи:

- канал связи Ethernet - передача данных с удаленных модулей ввода МПУ в ЦПУ, предназначенных для мониторинга ситуации (информационная сеть);

- дублированный канал связи Profibus - передача/прием данных с удаленных модулей ввода/вывода и передача управлений (управляющая сеть).

Пользователями ИУС Система качества ТЗК, распределенной автоматизированной системы управления являются в первую очередь операторы, управляющие технологическими объектами комплекса авиатопливообеспечения, начальник смены, отвечающий за работу всего комплекса в целом и начальник склада ГСМ (руководитель технической службы), контролирующий работу технологических бригад, и достигнутые технико-экономические показатели.

В качестве основного вычислительно средства, используемого на нижнем уровне управления (уровень МПУ) применяется программируемые логические контроллеры (ПЛК), объединяемые в информационную сесть по протоколу CANbus.

Для верхнего уровня управления в центральной диспетчерской применен резервируемый ПЛК, контроллер SIMATIC S7 фирмы Siemens.

Для связи ПЛК контроллеров верхнего и нижнего уровня выбран оптоволоконный канал связи по протоколу стандарта Ethernet.

В целях организации автоматизированных рабочих мест (АРМ), для формирования интерфейса для оператора (отображение оперативной информации о технологическом процессе, обработка действий оператора, мнемосхемы, панели и т.д.) визуализации параметров и конфигурации системы применяются 4 монитора визуализации.

Для обеспечения диспетчерского управления и сбора данных технологических процессов ТЗК, автором выбрана, SCADA- система (supervisory control and data acquisition) и использован пакет WinCC фирмы Siemens (Германия). Которая осуществляет:

- обмен данными с ПЛК или другими устройствами;
- формирование интерфейса для оператора (отображение оперативной информации о технологическом процессе, обработка действий оператора, мнемосхемы, панели и т.д.);
- формирование сигнализаций по технологическим параметрам;
- управления сигнализациями, формирование журнала сигнализаций (технологических, системных);
- формирование журнала действий оператора;
- формирование пользовательских отчетов;
- накопление и предоставление оператору исторических данных о технологическом процессе (тренды);
- обеспечение интерфейса внешних приложений к оперативным и историческим данным.

Структурная схема оборудования визуализации изображена рисунке А.3 в приложении А.

Состав оборудования визуализации диспетчерского пункта ППН представлен в приложении А на рисунке А.4.

Для обеспечения взаимодействия элементов автоматизированной системы (контроллеры, терминалы, устройства связи, серверы, рабочие станции и т.д.), в процессе выполнения своих функций, используются локальные вычислительные сети Ethernet, Profibus, Modbus и CAN.

ИУС качества авиатоплива ТЗК показана в приложении А на рисунке А.5, состоит из подсистем, выполняющих соответствующие функции и связанных между собой соответствующими сетями:

1) подсистема контроллеров показана в приложении А на рисунке А.5,

2) подсистема контроля резервуаров показана в приложении А,

3) подсистема контроля ПЛК гидрантной системы ЦЗС показана в приложении А,

4) подсистема контроля качества приложении А на рисунке А.5,

5) подсистема измерений ПЛК приложении А.

В диспетчерской установлены резервированные серверы COTAS, рабочие станции WinCC и контроллеры, которые обеспечивают сбор данных, передачу управляющих команд и информационное взаимодействие подсистем.

Структура подсистемы контроллеров, представленная на рисунке 3, является наиболее сложной по топологии и составу и включает в себя три сетевых кольца, подключенных к контроллерам диспетчерской:

1) подсеть контроллеров гидрантной системы ЦЗС,

2) подсеть контроллеров насосно-фильтрационных станций,

3)подсеть контроллеров ППН.

Подсеть контроллеров гидрантной системы ЦЗС предназначена для управления технологическими камерами гидрантной системы ЦЗС (сбора информации и передачи управляющих команд) и используется в процедуре системы контроля качества авиатоплива, для передачи данных и команд.

Сеть Profibus обходит все технологические камеры (8 шт.), в каждой из которых установлены по два оптических преобразователя с оптоволокна на витую пару. Подсеть контроллеров насосно-фильтрационных станций предназначена для управления насосно-фильтрационными станциями сливной эстакады и системы ЦЗС

(сбора информации о их состояниях и передачи управляющих команд). Подсеть представляет собой два оптоволоконных кольца, использующих протокол Profibus. Сеть обходит ПЛК, установленные в насосно-фильтрационной станции системы ЦЗС, а также ПЛК, расположенные в насосно-фильтрационной станции сливной эстакады.

Подсеть контроллеров ППН предназначена для управления ППН и представляет собой два оптоволоконных кольца, использующих протокол Profibus.

Таким образом, сбор информации и оперативное управление в подсистеме обеспечивают два контроллера ПЛК, установленные в диспетчерской. Данные контроллеры в свою очередь через отдельные сетевые модули подключены к хабам Ethernet диспетчерской для обмена информацией с рабочими станциями WinCC 1 и WinCC2.

Общая сеть диспетчерской имеет топологию «звезда», центром которой является хаб Switch, к которому подключены серверы COTAS, сервисная рабочая станция, сервер контроля резервуаров «Tank-Master», а также через оптоволоконную связь клиент WinCC, установленный в ППН.

Подсистема контроля резервуаров предназначена для сбора информации с датчиков, установленных в резервуарах, мнемосхемы подсистемы изображены на рисунках Б.2 и Б.3 в приложении Б.

Датчики подключаются с помощью витых пар к коммуникационному модулю и передают ему данные по протоколу Modbus. Используются четыре подсети Modbus обходящие радарные уровнемеры в вертикальных и горизонтальных резервуарах.

Данные от уровнемеров через коммуникационный модуль и оптическую линию связи поступают в сервер «Tank-Master».

Подсистемы контроля ПЛК гидрантной системы ЦЗС Мнемосхема подсистемы изображена на рисунке Б.6.и Б.7 в приложении Б.

Подсистема предназначена для контроля режимов работы гидрантной системы ЦЗС и включает в себя кольцевую подсеть, обходящую технологические камеры системы, представляет собой три оптоволоконных кольца: два кольца для сети Profibus и одно для Ethernet.

Подсистемы контроля качества, Структура подсистемы представлена на на рисунке Б.1и Б.8 в приложении Б и предназначена для контроля качества топлива, поступающего из железнодорожных цистерн и отгружаемого через ППН.

Данные о качестве топлива, поступающего из железнодорожных цистерн, по беспроводной связи передаются от передатчиков, установленных в насосной сливной эстакады. Данные через сеть Ethernet по оптоволокну поступают в общую сеть диспетчерской и далее регистрируются в серверах COTAS и отображаются на рабочих станциях WinCC и COTAS.

Данные о качестве топлива, отгружаемого через ППН, передаются в общую сеть диспетчерской аналогично посредством хаба, установленного в ППН. Там же в ППН установлена рабочая станция COTAS для отображения поступающих данных на мнемосхемах, показанных на рисунках Б.1. - Б.11 в приложении Б.

Системы, входящие в состав общей автоматизированной системы, объединены посредством общей сети диспетчерской. Описанные выше подсистемы распределены территориально и используют для передачи данных оптоволоконные линии связи. Для сбора данных в ППН, гидрантной системе ЦЗС и насосно-фильтрационных станциях сливной эстакады и ЦЗС проложены оптоволоконные кольца.

Все подсети объединены в единую сеть посредством хабов (для сетей с протоколом Ethernet) и через резервированные контроллеры (для сетей с протоколом Profibus).

Сеть диспетчерской административного здания использует протокол Ethernet.

При управлении операциями приема, хранения, выдачи авиатоплива, используются следующие программные подсистемы:

- SIMATIC WinCC - SCADA - система визуализации и диспетчеризации технологического процесса;

- COTAS (Computer Operated Terminal Automation System) -системы учета материальных потоков;

- AFMS - система диспетчеризации и управления движением средств заправки воздушных судов;

- TCS (Tightness Control System) -система обнаружения утечек трубопровода гидрантной системы ЦЗС.

Информационно управляющая система мониторинга показателей качества авиатоплива топливозаправочного комплекса (концептуальный облик информационно управляющей системы) — это система динамического мониторинга показателей чистоты авиатоплива, адаптивного управления и координации технологических процессов ТЗК на основе SCADA -системы и платформы Windows. Система руководит и автоматизирует все обращения масс авиатоплива в пределах резервуарного парка и заправочных процедур ТЗК. Система поддерживает пользователя начиная от обработки данных клиента, измерительного учета и подачи присадки и заканчивая созданием накладных и учётом наличия.

В состав информационного обеспечения информационно управляющей системы, для контроля и управления данными АСУТП объектов комплекса авиатопливообеспечения аэропорта, входит программный пакет SIMATIC WinCC фирмы SIEMENS (далее WinCC) и система автоматизации COTAS. Данное программное обеспечение функционирует на базе операционной системы Windows и предназначено для разработки и выполнения прикладных программ по сбору данных, оперативному контролю и управлению. В состав пакета программного обеспечения входит ряд программ, из числа которых используются в построении информационно-управляющая система ИИУС динамического мониторинга качества авиатоплива:

WinCC - программа, включающая в себя средства выполнения готовых проектов (программа устанавливается на рабочих станциях WinCC);

COTAS - система автоматизации процессов перекачки массовых потоков (устанавливается на сервере и рабочих станциях COTAS);

STEP7 - программное обеспечение программирования контроллеров S7 (устанавливается на сервисной рабочей станции);

MFX_4-Explorer - программное обеспечение наблюдения за переменными системы MFX_4 (устанавливается на сервере системы COTAS);

Microsoft SQL Server - программное обеспечение системы управления базами данных;

OPC-Server - программное обеспечение для организации OPC-связей между программами системы;

OPC-Explorer - программа для наблюдения за передачей информации по OPC-связям;

Windows 2003 Server - операционная система сервера COTAS;

Windows XP Professional SP3 - операционная система рабочих станций;

HP Desktop Tools, HP Server Tools - программы управления выводом документов на печать.

UPC-Logger и UPC-Viewer - программная система ведения документов.

Перечисленные программные продукты устанавливаются на компьютеры, объединенные в локальную сеть.

Организация внутри машинной информационной базы данных: структура построения данных основывается на единой базе данных и конфигураций реального времени, расположенной на резервированном сервере и доступной для всех узлов системы АСУТП.

База данных включает в себя:

• Библиотеку управляющих модулей и функциональных блоков.

• Созданные модули.

• Общесистемные данные.

Помимо основной базы данных (базы конфигураций), существуют локальные (физически привязанные к рабочим станциям) базы данных. Кроме того, такая централизованная база данных предоставляет доступ ко всей информации о переменных системы, начиная от архива и заканчивая конфигурированием стратегий управления. Доступ к любой информации в системе обеспечивается по имени тэга, поскольку прозрачность системы гарантирует, что все узлы “знают” обо всех остальных узлах, и “знают” их физическое расположение.

Работа с базой данных ИУС качества авиатоплива обеспечивается с использованием языка SQL (Structured Query Language - Язык структурированных запросов) -машинный язык базы данных, разработанный для поиска и управления данными в реляционной базе данных управления системами, базе данных создания схем и модификаций, базе данных объектного доступа при управлении.

Поскольку язык SQL был стандартизирован сначала организацией ANSI, а позже ИСО, поэтому большинство систем управления базами данных использует этот язык в той или иной спецификации. SQL обеспечивает поиск, введение, обновление и удаление данных

В базе данных ИУС качества авиатоплива хранятся мастер-данные и данные о движении материальных потоков. Мастер-данные — это основные данные о продуктах, операторах, клиентах и т.д. К данным о движении материальных потоков относятся: вид перекачиваемого нефтепродукта, дата перекачки, время начала и окончания перекачки, имя оператора, имя клиента, объем, температура, плотность и др.

Состав базы данных WinCC.

База данных WinCC располагается на двух рабочих станциях WinCC, которые выполняют функции серверов данных для остальных компьютеров, использующих данные WinCC. Доступ к данным обеспечивается по принципу «клиент-сервер», как показано на рисунке 2.9. На рисунке обозначены: 1 - компьютеры-клиенты, 2 - серверы (рабочие станции) WinCC.

Сообщения системы WinCC архивируются на каждом сервере. Компьютеры-клиенты имеют доступ к данным сообщениям, хранящимся на любом сервере. Функции серверов распределены между ними. Каждый сервер контролирует собственную часть процесса и управляет собственной системой сообщений и системой архивирования данных.

Функция управления архивами WinCC дает возможность архивировать переменные процесса и сообщения для целей документирования хода процесса и сбоев. Ведение базы данных обеспечивается с помощью программного продукта Microsoft SQL Server.

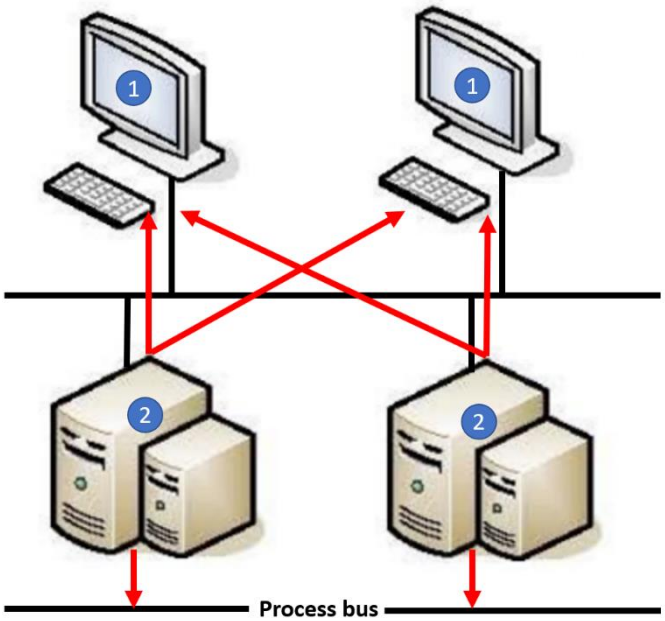


Рисунок 2.9 – Архитектура базы данных WinCC: 1 -компьютеры-клиенты, 2 - серверы (рабочие станции) WinCC

Целью архивации переменных процесса является обеспечение доступа ко всем ранее сохраненным переменным и последующей их обработки. Данные процесса, полученные таким образом, могут быть использованы для расчета технических и технико-экономических показателей. Процесс архивации представлен на рисунке 2.10.

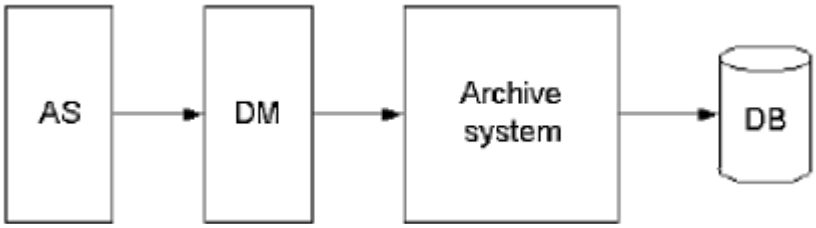


Рисунок 2.10 – Процесс архивации

Система архивирования WinCC включает в себя следующие подсистемы:

AS - Automation System - система управления, в которую поступают переменные процесса через коммуникационные драйверы устройств;

DM - Data Manager - обрабатывает полученные переменные процесса и передает их далее в виде тэгов;

Archive System - математически обрабатывает полученные значения, например, вычисляя средние (метод обработки указывается в конфигурации);

DB - Database - база данных реального времени, сохраняющая заархивированные значения.

В базе данных WinCC хранятся списки значений переменных процесса и сообщения.

Переменные процесса являются важной информацией о процессе на установках и насосных агрегатах. К ним относятся данные о давлениях, расходах, давлениях и др. Значения этих переменных выводятся также на экраны рабочих станций в виде отчетов и трендов.

Для целей визуализации сообщений они разделены на группы:

- аварийные сообщения (ошибки и сигнализации),
- предупреждения,
- информационные сообщения,
- сообщения о статусе,
- сообщения о выполняемых операциях.

В каждом сообщении указывается время.

К сообщениям об ошибках относятся сообщения типа «Защита привода выключена», «В датчике давления удалена перемычка» и т.д. К сообщениям сигнализации относятся сообщения типа «Аварийный останов», «Превышение температуры максимального уровня» и т.д.

Сообщения статуса генерируются автоматически. К ним относятся, например, сообщения о состоянии оборудования: «Задвижка открывается», «Задвижка открыта» и т.д.

К сообщениям о выполняемых операциях относятся сообщения типа «Процесс слива из ж/д цистерны начат».

Основные буквенные обозначения измеряемых величин и функциональных признаков приборов, используемых в работе, приведены в таблице 2.1. В системе ИУС качества авиатоплива, видеокадры называются мнемосхемами, показаны на рисунках Б.1-Б.11, которые соответствуют отдельным подсистемам или аппаратам.

Таблица 2.1. Обозначения функционального назначения приборов и показателей

Обозначение	Измеряемая величина	Функциональный признак прибора[204]
A		Сигнализация
C		Авт. Регулирование, управление
D	Плотность	Разность, перепад
H	Ручное воздействие (кнопка)	Верхний предел изм. величины (если указана в конце), обозначение насоса (если указана величина в начале)
I	Сила тока потребления (для насосов)	Показание
L	Уровень	Нижний предел изм. величины
P	Давление	
Q	Концентрация газов	
R		Регистрация величины
S		Включение, отключение, переключение, блокировка
T	Температура	
HS		Кнопка пожарной сигнализации
VX, VD		Исполнительные устройства (клапаны, моторы и т.д.)
%	Объемная концентрация	Показание
LQ	Вес мех. примесей	Нижний предел изм. величины
L W	Уровень обводнения	Нижний предел изм. величины

На мнемосхемах используется также цветовое кодирование состояний оборудования (насосов, задвижек, клапанов):

- зеленый цвет - нормальный режим работы оборудования,
- синий - останов,
- серый - отсутствие связи с объектом, желтый - процесс пуска/останова, красный - авария.
- Цветовое кодирование состояний измеряемых величин:
- черный (белый) - нормальный режим,
- желтый и красный - выходы за пределы (сигнализация), серый - отсутствие связи.

На мнемосхемах отображаются текущие значения технологических параметров, получаемые от контроллеров, состояния сигнализации, тренды и т.д. Также через мнемосхемы можно получать доступ к виртуальным панелям управления некоторыми технологическими объектами для осуществления ручного управления ими, а также для изменения настроечных параметров систем регулирования. Для отображения виртуальной панели управления необходимо

щелкнуть левой кнопкой мыши по соответствующему технологическому аппарату. С помощью виртуальных панелей управления можно производить:

- включения/выключения насосных агрегатов, скидов,
- открытие/закрытие задвижек с дистанционным управлением,
- наблюдение за текущими значениями технологических параметров,
- изменение настроечных параметров регуляторов,
- установку заданий для регуляторов,
- квитирование сигналов сигнализации.

На мнемосхемах показываются:

- схематичное изображение технологического аппарата,
- основные материальные потоки,
- основная запорно-регулирующая арматура,
- поля для отображения текущих значений технологических параметров с указанием их позиционных обозначений и, где это возможно, единиц измерения.

Щелчок левой кнопкой мыши по любому полю текущего значения технологического параметра вызывает панель с детализированными данными по данному параметру: обозначением, комментариями, пределами измерения, уставками сигнализации, единицей измерения и др. Если по данному параметру системой осуществляется автоматическое регулирование, то, кроме перечисленного, выводится текущее значение задания для регулятора и его управляющее воздействие.

Кроме того, на мнемосхемы по мере необходимости могут быть выведены тренды по технологическим параметрам, указываемым операторами-технологами и/или начальником смены.

На мнемосхемах могут не изображаться вспомогательные подсистемы, по которым не производится телеизмерений, например, трубопроводы дренажа, узлы отбора проб, фильтры и др.

Материальные потоки отображаются на мнемосхемах соответствующими цветами.

Предусмотрены переходы между мнемосхемами посредством меню, либо с помощью щелчков левой кнопкой мыши по стрелкам-указателям, изображенным на мнемосхемах.

Основные мнемосхемы представлены в приложении Б:

- мнемосхемы разгрузки ж/д цистерн (рисунок Б.1),
- мнемосхемы горизонтальных резервуаров (рисунки Б.3,
- мнемосхемы вертикальных резервуаров (рисунки Б.2),
- мнемосхемы насосов (рисунки Б.6),
- мнемосхемы трубопроводов (рисунки Б.6),
- мнемосхемы загрузки автоцистерн и емкостей утечек и антиобледенителя,
- мнемосхемы трубопроводов (рисунки Б.9).

Кроме мнемосхем в системе WinCC используются также отдельные экраны для отображения трендов (см. рисунок Б.11) в приложении Б и настроек.

Технологические отчёты процесса реализованы в виде генератора отчетов Report Designer и применяются для выдачи периодического отчета заданного типа. Система WinCC поддерживает отчеты часовые, суточные, месячные, за конец месяца, квартальные и годовые. В проекте реализована полная поддержка выдачи отчетов о периодических процессах на основе оперативной и архивной информации. Файлам отчетов присваиваются такие же имена, как и периодическим процессам.

В таблице 2.2 представлена форма суточного отчета технологического процесса налива и откачки из резервуаров резервуарного парка.

Математическое обеспечение и описание алгоритмов:

Используемые алгоритмы, реализуются в программном обеспечении контроллера. Алгоритмы контроллера используется для контроля технологического оборудования, открытия и закрытия задвижек, управления процессами перекачки нефтепродуктов и т.д.

Алгоритмы разделяются на несколько групп:

- алгоритмы управления основными технологическими процессами,
- алгоритмы управления процессами гидрантной системы,

- алгоритмы управления насосами гидрантной системы,
- алгоритмы управления насосами ППН,
- алгоритмы управления перекачкой нефтепродуктов из ж/д цистерн в резервуары,
- алгоритмы приема нефтепродуктов по трубопроводу,
- алгоритмы управления вертикальными резервуарами,
- алгоритмы управления горизонтальными резервуарами,
- алгоритмы управления межрезервуарными перекачками.

Таблица 2.2. Форма суточного отчета технологического процесса налива и откачки из резервуаров резервуарного парка.

Резервуар	Вахта	8-16 ч.		16-24 ч.		0-8 ч.		Итого	
	Продукт	налив	откачка	налив	откачка	налив	откачка	налив	откачка
01.08.2010	Ед.изм	Тонн	Тонн	Тонн	Тонн	Тонн	Тонн	Тонн	Тонн

Полный перечень алгоритмов приведен в таблице В.1 и на рисунках В.1-В.100.

В качестве входной информации используются данные от датчиков на технологических объектах, уставки и команды управления от системы сбора данных и визуализации, работающей на рабочих станциях WinCC и COTAS.

В алгоритмах используются обозначения сигналов с датчиков и сигнализаторов:

- сигнал с сигнализатора уровня;
- сигналы с датчиков давления;
-сигналы положения задвижек ЦЗС:

Выходной информацией являются управляющие сигналы на регулирующие клапаны, задвижки, насосы и т.д.

Выводы по главе 2

1. На основании проведенных в работе теоретических и расчетных исследований установлена возможность измерения плотности вещества механических примесей методом измерения комплексной диэлектрической проницаемости дисперсной среды авиатоплива в объеме пористой перегородки.

2. Разработана математическая модель с использованием Дебаевских уравнений и формул Клаузиуса — Моссотти, позволяющая производить измерения уровня влагосодержания и концентрации механических примесей в авиатопливе.

3. Установлены зависимости комплексной диэлектрической проницаемости авиатоплива от частоты электромагнитных колебаний и проводимости авиатоплива при различных значениях критической (резонансной) частоты, что позволяет реализовать динамическое измерение массы механических примесей в потоке авиатоплива.

4. Получена зависимость диэлектрической проницаемости водной эмульсии от ее концентрации в авиатопливе, позволяющая количественно оценить(измерить) содержание свободной воды в потоке авиатоплива.

5. Установлены зависимости изменения резонансных характеристик измерительного преобразователя от уровня содержания, природы и плотности мехпримесей в потоке авиатоплива.

6. Проведено теоретическое обоснование применения диэлькометрической ячейки для определения количества воды и ПВКЖ с применением в качестве твердого диэлектрика пористого поливинилформаля.

7. На основе разработанных датчиков(сенсоров) и SCADA-системы разработана концепция адаптивной измерительной информационно-управляющей системы для интеграции в систему управления технологическими процессами ТЗК, а также концепция математического обеспечения - алгоритмы управления

технологическими процессами приема, хранения, и контроля качества авиатоплива и. подготовки авиатоплива к заправке ВС.

Глава 3 Разработка методов непрерывного мониторинга кондиционности авиатоплива

3.1 Расчет размеров и выбор конструктивных элементов датчика контроля механических примесей в потоке авиатоплива

Основываясь на положениях результатов теоретических исследований (см. глава 2), автором разработано устройство динамического мониторинга кондиционности авиатоплива на основе измерения диэлектрической проницаемости дисперсионной среды на основе авиационных керосинов.

Устройство динамического мониторинга, далее «емкостной датчик», представляет собой многослойный фильтропакет, состоящий из перфорированных пластин-электродов, являющихся обкладками конденсатора и фильтрующего слоя диэлектрика, расположенного между пластинами-электродами конденсатора. Схема датчика представлена на рисунке 3.1.

Принцип действия датчика основан на изменении емкости между двумя плоскими параллельно расположенными проводниками. В качестве диэлектрика конденсатора используется пористая фильтрующая перегородка, расположенная между перфорированными обкладками конденсатора. Верхняя и нижняя перфорированные металлические пластины конденсатора представляют собой обкладки конденсатора, которые проходит поток контролируемого авиатоплива. При абсорбировании фильтропакетом влаги и забивкой его механическими примесями изменяется его диэлектрическая проницаемость. Это изменение прямо пропорционально относительной влажности обводнённого авиатоплива, количеству и плотности вещества механических примесей.

Таким образом, измерив изменение емкости, можно определить количественное содержание мехпримесей и нерастворенной воды (эмульсионной и мицеллярной) в авиатопливе.

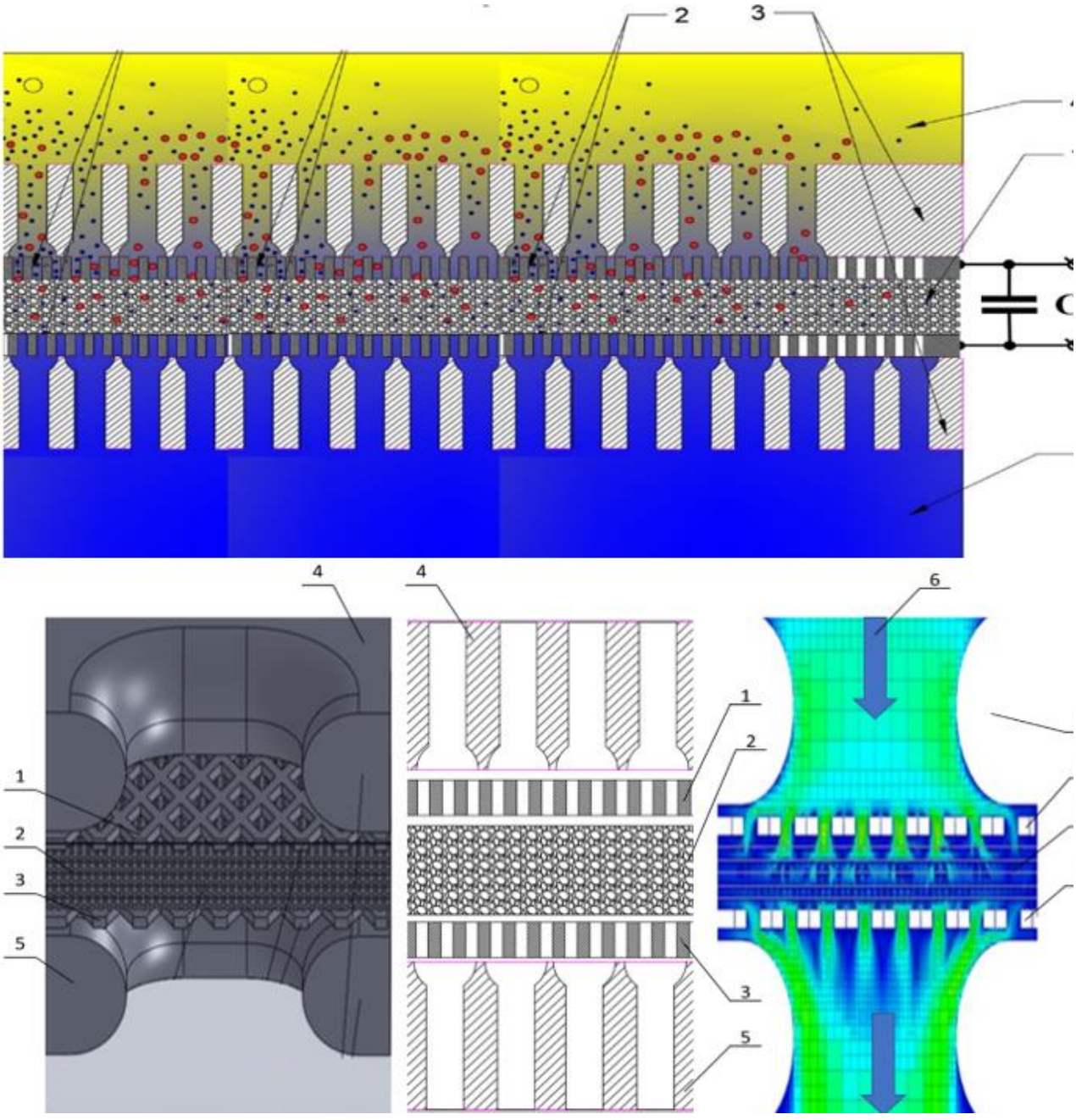


Рисунок 3.1 – Структурная схема сенсора-фильтропакета, измерителя комплексной диэлектрической проницаемости потока авиатоплива: 1-пористый фильтрующий диэлектрик; 2 – перфорированные металлические пластины; 3 -опорный перфорированный каркас; 4 – топливо с мех примесями; 5 – топливо очищенное; C_1- эквивалентная схема

Рассмотрим конструкцию ячейки. Контрольная ячейка представляет собой диэлькометрический фильтроэлемент (ДФ) для измерения импеданса (КДП) (рисунок 3.2).

В качестве измерительной схемы для реализации метода может быть использована любая схема, позволяющая проводить диэлькометрические измерения [17, 18, 78, 95]. Применение неравновесного четырехплечего моста с высокой фазовой чувствительностью, представляется самым эффективным методом исследования диэлектрических свойств диэлькометрического фильтроэлемента[204].

На основе теориии мостовых методов измерения [204], применение указанной измерительной схемы значительно облегчает разработку ключевых теоретических принципов метода многопараметрического анализа концентрации веществ.

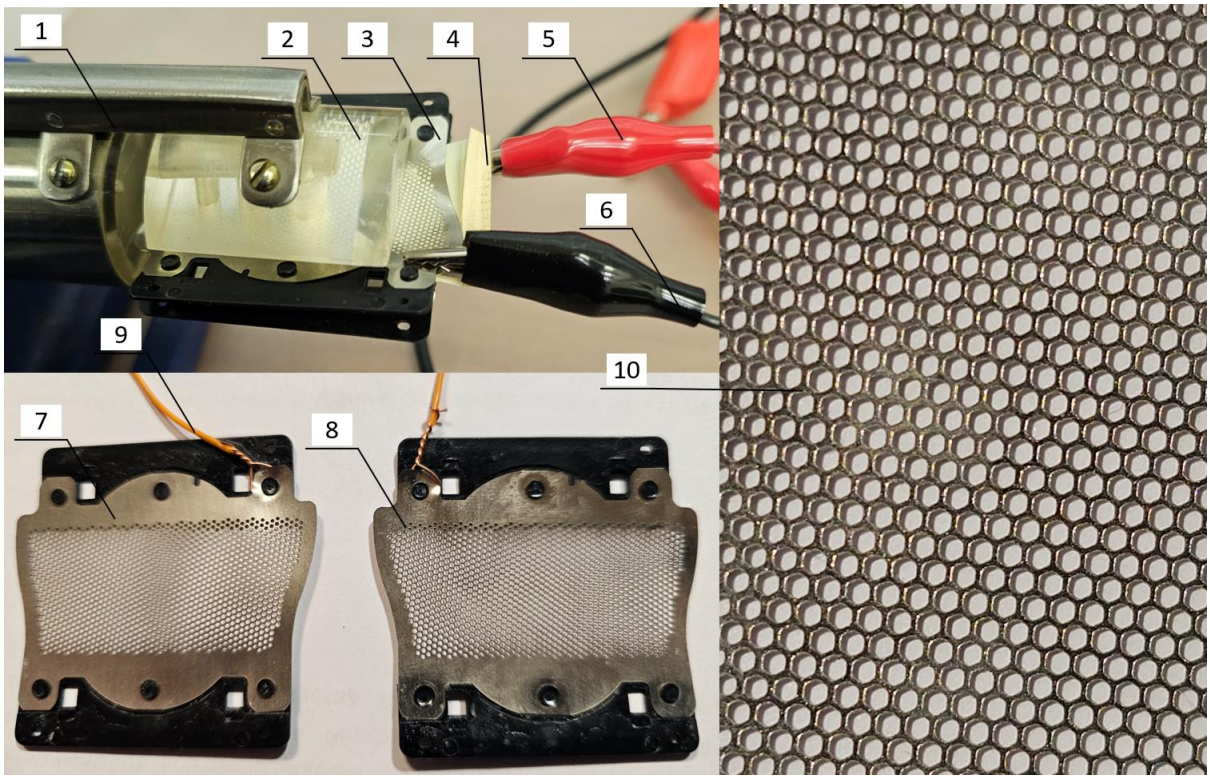


Рисунок 3.2 – Диэлькометрический фильтроэлемент; 1-приспособление ПОЗ-Т; 2-крышка; 3- ;7-;8- перфорированные пластины -электроды конденсатора; 4- пористый фильтрующий диэлектрик; 5-;6-; 9-измерительные провода; 10 – перфорированная пластиина(увеличено)

Сущность метода заключается в измерении величины разбаланса моста, являющейся функцией емкости датчика. С уменьшением измеряемой емкости частота питающего генератора должна быть увеличена. Напряжение генератора балансируют относительно земли. Высокую точность можно получить, если измеряемую емкость подключить параллельно конденсатору, уравновесить мост с его помощью, отсоединить измеряемую емкость и снова уравновесить мост. Разность показания конденсатора дает искомую емкость.

Диэлектрическая проницаемость исследуемого авиатоплива равна

$$\varepsilon = (C_1 - C_2)/C_0 \,, \tag{3.1}$$

где, C_1 – ёмкость датчика заполненного авиатопливом ; C_2 - паразитная ёмкость; C_0 - ёмкость пустого датчика.

Простота методики определения и малые габариты измерительного устройства позволяют использовать мостовой метод для быстрого определения содержания механических примесей и воды авиатопливе. При разработке устройства необходимо, чтобы датчик и измерительное устройство обеспечивали измерение диэлектрической проницаемости в диапазоне от 2 до 10 единиц, имели достаточную чувствительность, стабильность, портативность и высокую надежность в различных эксплуатационных условиях. Выпускаемые промышленностью приборы этим условиям отвечают не полностью. Они требуют периодической калибровки эталонными жидкостями. Их размеры и масса велики, а надежность мала. Громоздкость аппаратурного исполнения ограничивает возможности их использования в условиях ТЗК.

Предлагаемый автором метод, в отличии от существующих методов, измеряющих только электропроводность, основан на одновременном измерении трех параметров: электропроводности, диэлектрической проницаемости, а также тангенса угла диэлектрических потерь. Это дает больше возможностей для интерпретации зависимостей вышеперечисленных параметров от плотности, количества, а также природы вещества механических примесей. Таким образом предлагаемый автором метод измерения существенно повысит точность и надежность измерений основного показателя качества авиатоплива – массы механических примесей [204].

Для анализа зависимости показателей чистоты авиатоплива от диэлькометрических параметров вещества механических примесей автор использовал схему четырехплечего моста представленного на рисунке 3.3, собранного на резисторах Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, к входу которого подключается задающее напряжение $U_{вх}$, а на выходе производится измерение напряжения $U_{вых}$ [204].

В целях повышения чувствительности мостовых схем [37, 78, 84], обычно используют один резистор Z_3 , представляющий собой активное и реактивное сопротивление, и три резистора которые имеют только активную составляющую комплексного сопротивления $Z_1 = R_1$, $Z_2 = R_2$, $Z_3 = R_3$, $Z_4=R_4$. В месте с тем два противоположных плеча должны быть идентичны:

$$Z_1 = Z_4 \tag{3.2}$$

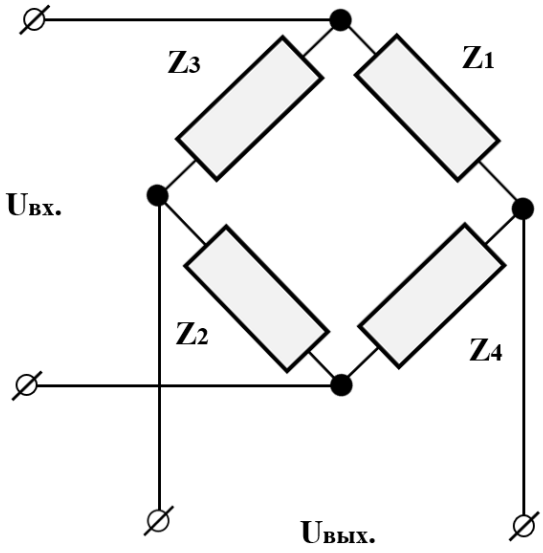


Рисунок 3.3 – Схема измерительного моста сопротивлений

Резистор Z_3 в представленной мостовой схеме, является эквивалентом сопротивления диэлькометрического фильтроэлемента в потоке контролируемого авиатоплива с содержанием механических примесей, и сопротивление этого диэлькометрического фильтроэлемента будет иметь как активную так и реактивную составляющую [76, 78, 83]. В месте с тем, эквивалент резистора Z_3 представляет собой последовательное соединение сопротивления и емкости, как схема, наиболее

соответствующая для измерения емкости диэлькометрического фильтроэлемента. В случае измерения электропроводности диэлькометрического фильтроэлемента лучше подойдет эквивалент схемы резистора Z3, с параллельным соединением сопротивления и емкости [35, 76, 78, 83]. При этом измерения на выходе, должны производится высокоомными приборами.

Согласно теории мостовых четырехполюсников, напряжение на входе и выходе мостовой схемы, описывается уравнением:

$$U_{\text{вх}} = A_{11} U_{\text{вых}} \quad , \tag{3.3}$$

где, A_{11} - коэффициент матрицы мостового четырехполюсника, представленный в виде:

$$A_{11} = \frac{(Z_1+Z_4)\cdot(Z_2+Z_3)}{Z_3 Z_4 - Z_1 Z_2} . \tag{3.4}$$

Поскольку два плеча моста идентичны: $Z_1 = Z_4$, можно подставить (3.2) в (3.4) и тогда коэффициент матрицы мостового четырехполюсника примет вид:

$$A_{11} = \frac{2(Z_2+Z_3)}{Z_3 - Z_2} . \tag{3.5}$$

Комплексное сопротивление резистора Z3 диэлькометрического фильтроэлемента, представляет собой эквивалент схемы последовательного соединения емкости и резистора, которое может быть, выраженно через активную и реактивную составляющие:

$$Z_3 = \frac{R}{I+i\omega RC} , \tag{3.6}$$

где R - активное сопротивление диэлькометрического фильтроэлемента;

ω - частота;

C - электрическая емкость диэлькометрического фильтроэлемента.

Продолжив подстановки (3.6) в (3.5), коэффициент матрицы мостового четырехполюсника, примет вид:

$$A_{11} = 2\frac{R_2+i\omega RCR_2+R}{R-R_2-i\omega RCR_2}. \tag{3.7}$$

Избавляясь от мнимости в знаменателе, сокращая одноименные члены, получаем:

$$A_{11} = 2\frac{R^2-R_2^2-\omega^2R^2C^2R_2^2}{(R^2-R_2)^2+\omega^2R^2C^2R_2^2} + 4i\frac{\omega^2R^2CR_2}{(R^2-R_2)^2+\omega^2R^2C^2R_2^2} + A + iB. \tag{3.8}$$

Разделим числитель и знаменатель на $\omega^2 R^2 C^2 R_2^2$ и заменим:

$I/_{\omega C} = X_c$, получим зависимости для *A* и *B*:

$$A = 2\frac{\left(\frac{X_C}{R_2}\right)^2 - \left(\frac{X_C}{R}\right)^2 - 1}{\left(\frac{X_C}{R_2} - \frac{X_C}{R}\right)^2 + 1}; B = 4\frac{\frac{X_C}{R}}{\left(\frac{X_C}{R_2} - \frac{X_C}{R}\right)^2 + 1}. \quad (3.9)$$

Поскольку соотношение напряжения на входе четырехполюсника к напряжению на его выходе определяется коэффициентом A_{11} матрицы (3.3), получаем с учетом выражения (3.9) его модуль будет равен:

$$|A| = (A^2 + B^2)^{0,5} = 2\frac{\left\{\left[\left(\frac{X_C}{R_2}\right)^2 - \left(\frac{X_C}{R}\right)^2 - 1\right]^2 + 4\left(\frac{X_C}{R_2}\right)^2\right\}^{0,5}}{\left(\frac{X_C}{R_2} - \frac{X_C}{R}\right)^2 + 1} \quad (3.10)$$

При этом угол сдвига фаз между напряжением на входе и выходе измерительного моста:

$$\varphi = arctg\frac{2X_C/R_2}{\left(\frac{X_C}{R_2}\right)^2 - \left(\frac{X_C}{R}\right)^2 - 1} \quad (3.11)$$

На основе полученных выражений определим зависимость электрофизических параметров - *R* и *Xc* диэлькометрического фильтроэлемента от выходных характеристик измерительного моста и активного сопротивления резистора R_2. Для этого уравновесим измерительный мост подбором активной составляющей комплексного сопротивления R2 = R, тогда модуль коэффициента A_{11} – передаточное число четырехполюсника примет вид:

$$|A| = (A^2 + B^2)^{0,5} = 2\left[I + 4\left(\frac{X_c}{R}\right)^2\right]^{0,5}, \quad (3.12)$$

а угол сдвига фаз между напряжением на входе и выходе измерительного моста:

$$\varphi = arctg2X_c/R. \quad (3.13)$$

Таким образом уравнения (3.12) и (3.13) выражают зависимость выходных параметров измерительного моста от электрофизических характеристик диэлькометрического фильтроэлемента.

Таким образом, метод измерения тангенса угла диэлектрических потерь, на основе мостовой измерительной схемы [76, 78], может быть использован для прямых динамических измерений гравиметрических показателей уровня чистоты авиатоплива, количества, плотности, а также природы вещества механических примесей, одновременно по трем параметрам: электропроводности, диэлектрической проницаемости и тангенсу угла диэлектрических потерь.

Принципиальная схема измерителя электро-физических параметров диэлькометрического фильтроэлемента (ДФ) в составе с измерительным генератором (ИГ) показана на рисунке 3.4, на которой измерительный преобразователь в виде диэлькометрического фильтроэлемента состоит из двух идентичных коаксиальных проводников Z_1 и Z_2 и двух металлических перфорированных пластин образующих обкладок конденсатор с размещенным между ними диэлектриком из пористого фильтрующего материала [140]. Посредством индуктивной петли *A* измерительный преобразователь соединен с измерительным генератором (ИГ) выполненый на транзисторах Q_1, Q_2, схеме: «общая база» на выходе измерительного генератора (ИГ) и «общий коллектор» на входе измерительного генератора ИГ [140]. Предлагаемое схемное решение измерительного генератора (ИГ) обусловлено целью уменьшения влияния паразитных наводок от измерительного генератора (ИГ) на параметры диэлькометрический фильтроэлемент (каскад с «общей базой» имеет более высокое выходное сопротивление, по сравнению чем каскад с «общим коллектором» характеризующийся максимальным входным сопротивлением) [140]. Сигнал после эмиттерного повторителя на транзисторе Q_2 подается на вход (эмиттер) каскада усиления на транзисторе Q_1, подключенного своим выходом к диэлькометрическому фильтроэлементу (ДФ) посредством индуктивной петли связи *A*. Выходной сигнал измерительного генератора (ИГ) через «развязывающий» усилитель на транзисторе Q_3 подключен к входу цифрового делителя частоты U3, включенного по схеме деления на 80 [140]. К выходу делителя частоты через цепь «развязки» на эмиттерном повторите на транзистора Q_4 подключен частотомер[140].

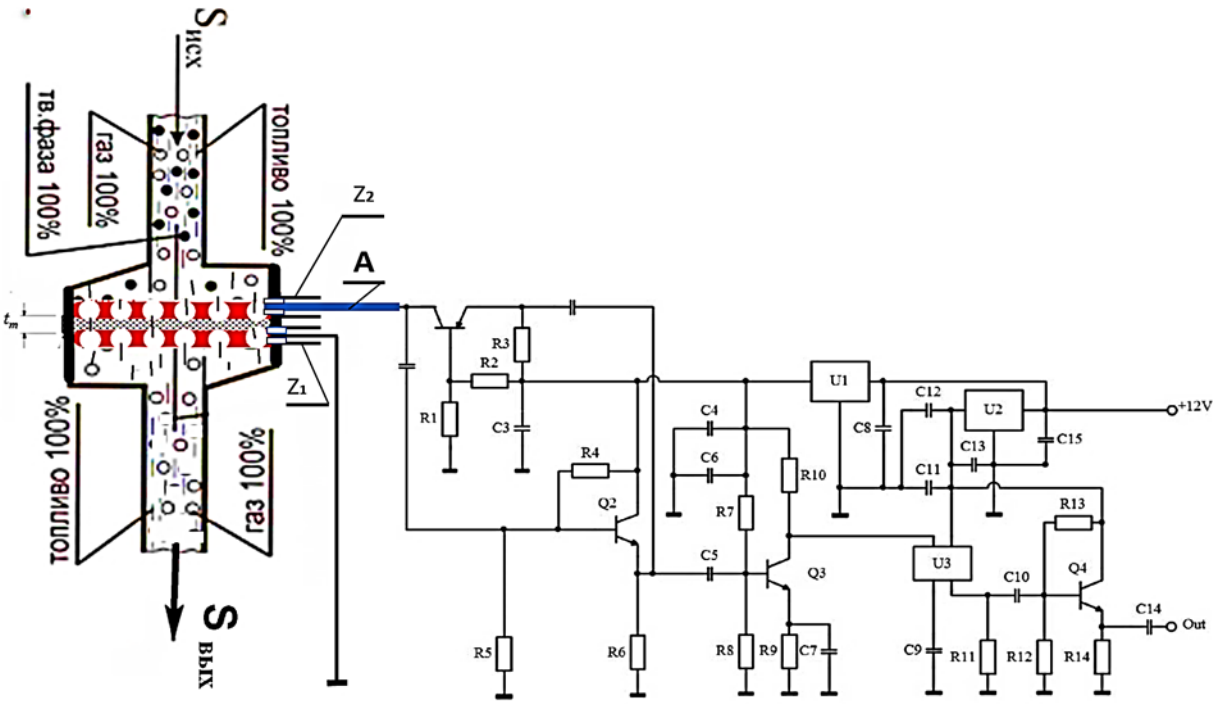


Рисунок 3.4 – Принципиальная схема измерителя диэлькометрического фильтроэлемента совместно (ДФ) с измерительным генератором (ИГ)

В целях поддержания стабильной частоты (ИГ), генерирующие (Q_1 - Q_3) и цифровые каскады (U3, Q_4) запитаны от отдельных источников с линейными стабилизаторами напряжения U1 (9 В) и U2 (5 В) соответственно [140]. Диэлькометрический фильтроэлемент (ДФ) в составе с с измерительным генератором (ИГ) смонтирован во взрывозащищенном корпусе на испытательном стенде, состоящем из приемного и расходного резервуаров, а также испытуемых диэлькометрических фильтров, соединенных трубопроводом на «кольцо» по которому шестеренным насосом прокачивается исследуемое авиатопливо [140].. Вид вид стенда из 2-х собранных диэлькометрических фильтров для измерения концентрации механических примесей показан на рисунке 3.5 [140].

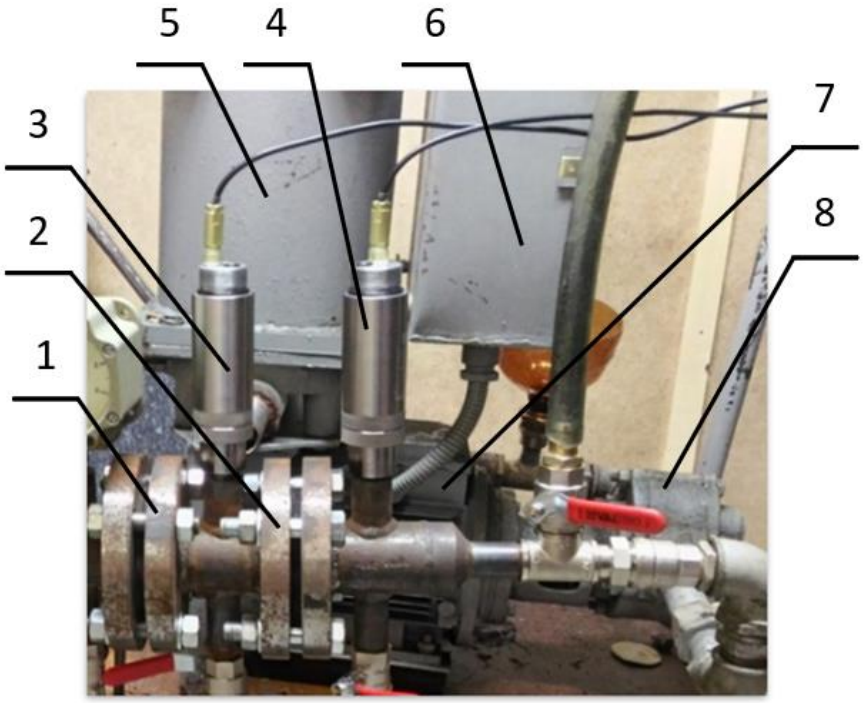


Рис. 3.5 Общий вид стенда из 2-х собранных диэлькометрических фильтров для измерения уровня содержания механических примесей: 1-, 2-диэлькометрический датчик;3-,4- первичный преобразователь; 5-резервуар приемный 6-резервуар расходный; 7-электродвигатель; 8- насос шестеренный

Такое конструктивное исполнением диэлькометрического фильтроэлемента (ДФ) и измерительного генератора (ИГ) может использоваться как в стационарном режиме, так и в режиме потока исследуемого авиатоплива. Кроме того, предлагаемое схемное решение минимизирует влияние паразитных наводок от измерительного генератора (ИГ) на частоту резонанса диэлькометрического фильтроэлемента (ДФ), которая определяется геометрическими размерами линий Z_1 и Z_2 и величиной диэлектрической проницаемости исследуемой жидкости) за счет следующих факторов [140]:

1. От коэффициента связи эквивалентного колебательного контура, образованного линиями Z_1 (индуктивный элемент) и Z_2 (емкостной элемент) с измерительним генератором (ИГ), не превышающей значения 0,08. Поэтому, паразитные параметры измерительного генератора (ИГ), которые «привносятся»

измерительным генератором (ИГ) в этот контур, по величине не превосходят (0,08) 2 = 0,0064. В сочетании с высокими величинами импеданса входной (на Q_2) и выходной (на Q_1) части измерительного генератора (ИГ) это обеспечивает высокую добротность колебательной системы и малое влияние измерительного генератора (ИГ) на частоту генерации измерителя [140].

2. Место подключения индуктивной петли связи А, максимально приближено к точке колебательной системы, имеющей нулевой потенциал. Это обеспечивает минимум искажений продольного электрического поля в диэлькометрический фильтроэлемент (ДФ).

3. Механическая фиксация центрального электрода линии Z1, обеспечивающет величину паразитной емкости диэлькометрического фильтроэлемента (ДФ) близкой к нулю, что также способствует повышению точности предложенного средства измерения концентрация механических примесей в авиатопливе.

Описанный измерительимеет следующие основные технические характеристики [140]:

1. Частота генерации диэлькометрического фильтроэлемента (ДФ) измерительного генератора (ИГ), заполненным воздухом, около 158 МГц.

2. Частота генерации диэлькометрический фильтроэлемент (ДФ) измерительного генератора (ИГ), заполненным авиатопливом, около 104 МГц.

3. Чувствительность измерителя - не хуже 1 $см^3/м_3$.

Результаты экспериментальных исследований.

Для подтверждения корректности выбранных технических и технологических решений на основе диэлькометрического фильтроэлемента (ДФ) и измерительного генератора (ИГ) был собран исследовательский стенд, гидравлическая схема, которого представлена на рисунке 3.6 и приведены результаты экспериментальных исследований в два этапа [140].

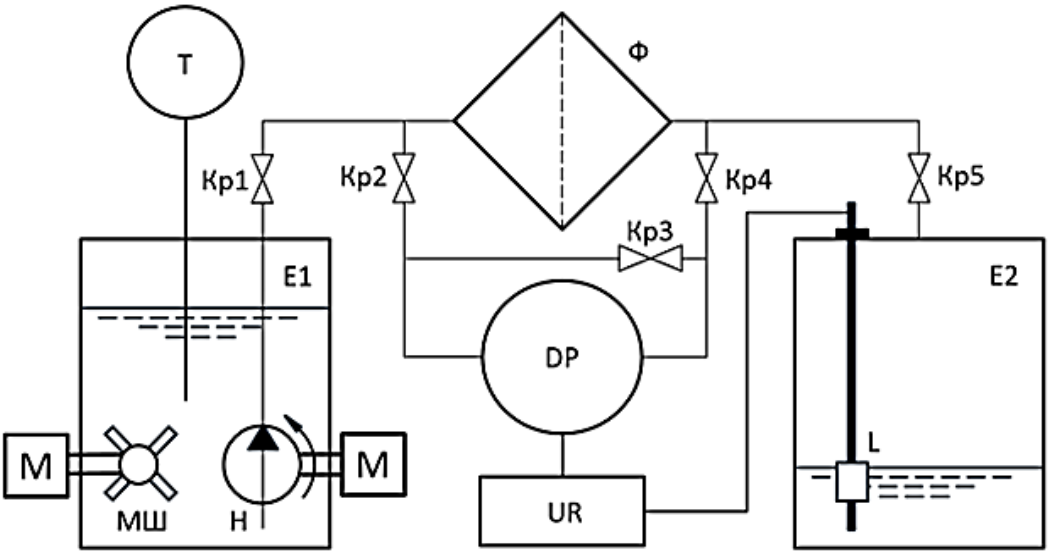


Рисунок 3.6 – Гидравлическая схема стенда для исследований измерительного фильтроэлемента: Ф-исследуемый фильтроэлемент; DP-дифференциальный манометр; Е1- расходный резервуар; Е2-приемный резервуар; L-уровнемер; Т-термометр; М-электродвигатель; Н- насос; МШ-гомогенизатор(мешалка)

На первом этапе исследований, с помощью измерителя амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) типа X_1 – 42 (рисунок 3.7) исследовались резонансные характеристики диэлькометрического фильтроэлемента (ДФ) [140], заполненного воздухом, и диэлькометрического фильтроэлемента (ДФ), заполненного чистым авиатопливом (3 этапа).

Блок - схема измерений АЧХ, для исследований резонансных характеристик диэлектрического фильтроэлемента (ДФ), с использованием измерителя амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) типа Х1 – 42, приведена на рисунке 3.8.Для устранения реакции измерителя Х1 – 42 на ДФ, выход Х1 – 42 согласован резистором 50 Ом, а для повышения входного импеданса на входе последовательная RC цепочка 100 кОм – 0,5 ПФ.

Результаты экспериментальных исследований диэлькометрического фильтроэлемента (ДФ) в виде АЧХ ИП приведены на рисунке 3.9 [140].

Рисунок 3.7 - Прибор для исследования амплитудно-частотных характеристик Х1-42 (измеритель АЧХ Х1-42) Госреестр: 5271-76

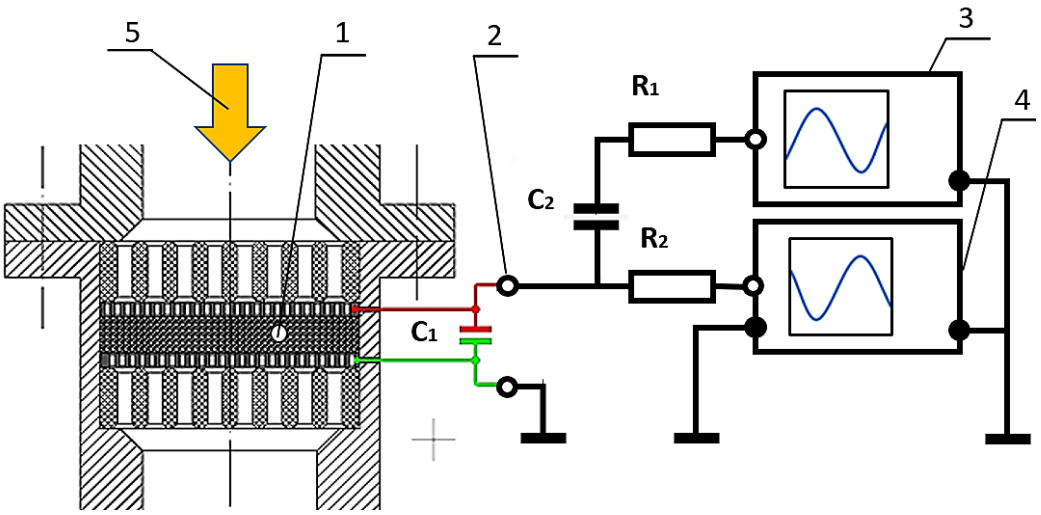
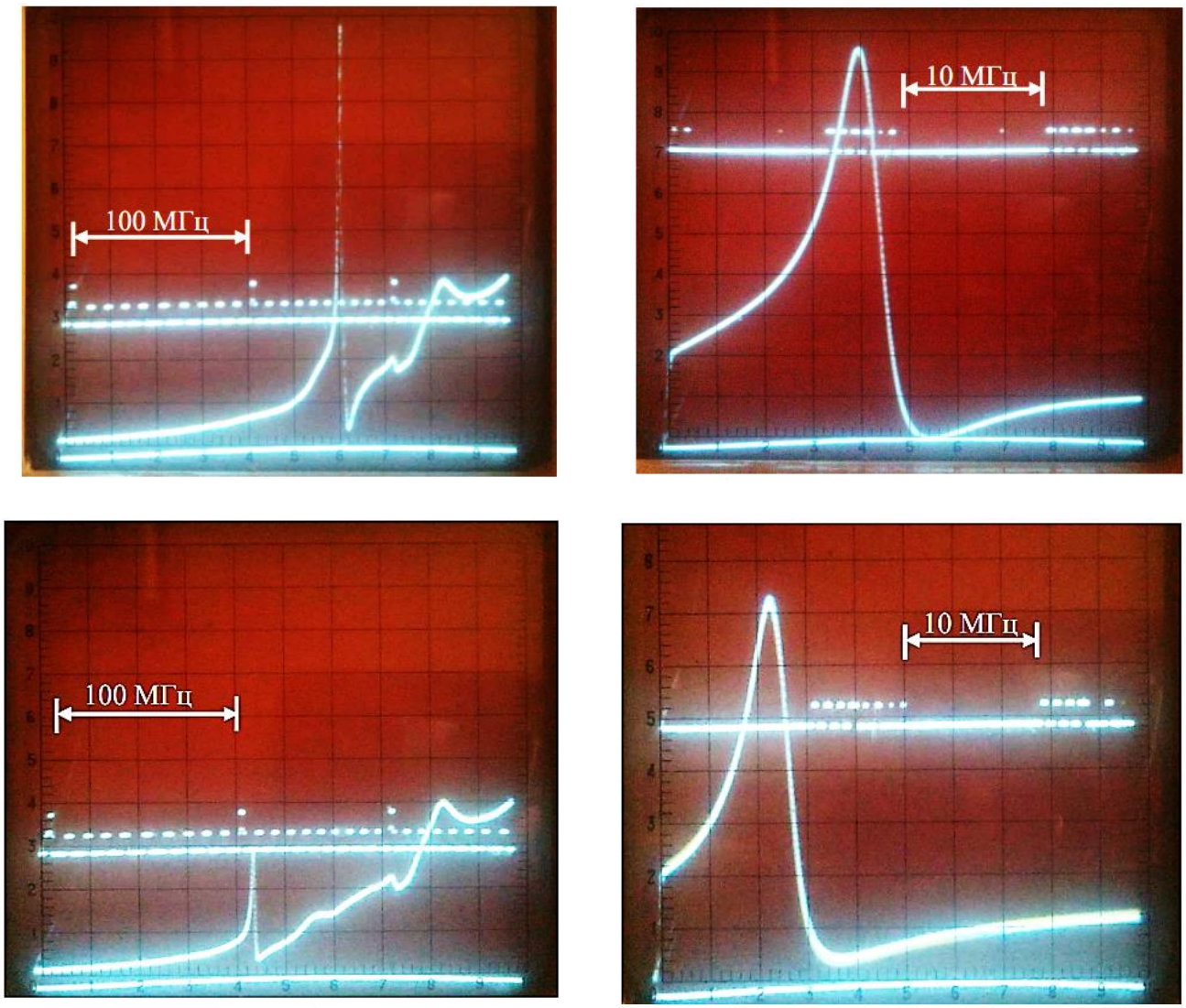


Рисунок 3.8 – Блок - схема измерений АЧХ диэлектрического фильтроэлемента (ДФ): 1– диэлькометрический фильтроэлемент (ДФ); 2– высокоомный (выносной) вход; 3 – измеритель АЧХ Х1-42, генераторная часть; 4 – измеритель АЧХ Х -42, измерительная часть; 5- поток авиатоплива; С1- эквивалент схемы электрической емкости фильтроэлемента; С2- 0,5 пФ; R1- 100 кОм; R2- 50 Ом

Определение величины нагруженной добротности Q измерительного преобразователя полчено путем рашифровки АЧХ. Нагруженная добротность (диэлькометрического фильтроэлемента (ДФ) с нагрузкой в 50 Ом) Q [140] определялась с помощью величины 2AF (ширина АЧХ на уровне - 3дБ) и F (центральная частота резонанса) [140].



а) **б)**

Рисунок 3.9 – Амплитудно-частотные характеристики диэлькометрического фильтроэлемента (ДФ): а) - прокачанного чистым авиатопливом, б) - прокачанного авиатопливом с загрязнителем

По результатам обработки с точностью до 5 % величина нагруженной добротности диэлькометрического фильтроэлемента (ДФ) с воздухом (Q_1, F_1) и с авиатопливом (Q_2, F_2) совпадает, что свидетельствует о незначительном влиянии авиатоплива на добротность диэлькометрический фильтроэлемент (ДФ) [140]:

$$Q_1 = \frac{F_1}{2\Delta F_1} = \frac{160 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^6} = 80;$$

$$Q_2 = \frac{F_2}{2\Delta F_2} = \frac{108 \cdot 10^6}{1{,}3 \cdot 10^6} = 83;$$

$$Q_1 \cong Q_2.$$

На втором этапе экспериментальных исследований были измерены величины массового (весового) содержания мехпримесей приготовленных смесей «авиатопливо - мехпримеси» в диапазоне содержания мехпримесей (1 -10) г/тн. В процессе проведения экспериментов, в предварительно очищенный авиакеросин объемом (500 ± 0,6) см^3 вводилось требуемое количество механических примесей. После этого приготовлялась однородная гомогенная суспензия с требуемым содержание мех-примесей. Затем для удаления газа из очищенного авиатоплива и приготовленной суспензии сосуды с ними помещались в вакуумную камеру. В дальнейшем через измерительный преобразователь прокачивалось авиатопливо и одновременно измерялась температура диэлькометрического фильтроэлемента (ДФ), а также частота измерительного генератора (ИГ). В процессе проведения исследований температура диэлькометрического фильтроэлемента (ДФ) и измерительного генератора (ИГ) поддерживалась постоянной с точностью ± 0,03 °С. При этом проводилось по 12 измерений частоты генерации измерительного генератора (ИГ), деленной на 80 для обезвоженного авиатоплива (F3) и исследуемой смеси (F4), и обрабатывались по стандартной методике для прямых измерений [140].

Для определения функциональной зависимости содержания механических примесей W от частоты воспользуемся формулой определения содержание мех-примесей для измерителя содержания мех-примесей, описанного в [135,138]:

$$W = \frac{1}{3} \cdot \frac{\frac{1}{F_4^2} - \frac{1}{F_3^2}}{\frac{1}{F_3^2} - \frac{1}{F_1^2}}, \qquad (3.18)$$

где, F_1 - частота резонанса при отключенном измерительном преобразователе диэлькометрический фильтроэлемент (ДФ); F_3 - частота резонанса для диэлькометрический фильтроэлемент (ДФ), заполненного очищенным авиатопливом; F_4 - частота резонанса при прокачанном через диэлькометрический фильтроэлемент (ДФ) исследуемым загрязненным авиатопливом [140].

Конструкция предложенного измерителя содержания механических примесей на основе диэлькометрического фильтроэлемента (ДФ) такова, что она содержит конструкционно диэлектрический материал, а исследуемая жидкость находится в пространстве между этими электродами. В этом случае конструкция измерительного преобразователя может быть представлена в виде короткозамкнутой четвертьволновой линии. Тогда измеритель влажности на основе диэлькометрический фильтроэлемент (ДФ) имеет частоту $F_1 = \infty$, а $1/F_1 = 0$ и выражение (2) преобразуется к виду:

$$W = \frac{1}{3} \cdot \frac{\frac{1}{F_4^2} - \frac{1}{F_3^2}}{\frac{1}{F_3^2}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{F_3^2 - F_4^2}{F_4^2} \ , \tag{3.19}$$

Для малых величин содержание мех-примесей W, когда выполняется неравенство вида:

$$\frac{F_3^2 - F_4^2}{F_4^2} < 0{,}1 \ , \tag{3.20}$$

формула (3) для содержания мех-примесей я W упрощается:

$$W \approx \frac{2}{3} \cdot \frac{F_3 - F_4}{F_4} \tag{3.21}$$

Результаты обработанных экспериментальных значений концентрация мехпримесей W, W_0 и частот F_3, F_4 представлены в табл.3.1.

Таким образом, для концентрации содержания механческих примесей в приготовленной суспензии W_0 = 1 г/м^3, величина измеренного содержание мех-примесей составляет W = 0,95 г/м^3, а величина A W = ± 0,5 г/м^3, что позволяет производить измерения содержания мех-примесей в диапазоне 10^{-4} % < W < 10^{-2} % с относительной погрешностью (определяемой как разница содержания мех-примесей приготовленной и измеряемой суспензии деленной на содержание мехпримесей приготовленной) не более 5,2 % [140].

Таблица 3.1. Обработанные результаты измерений

W_0, г/тн.	Частота, Гц		W, г/тн.	Относительная погрешность, %
	F_3	F_4		5,2
1 ±0,1	1335497,4±0,6	1335478,3±0,8	0,95±0,05	1,9
5±0,1	1335558,1±0,6	1335459,8±0,6	4,9±0,04	1,8
10±0,5	1304712,0±0,7	1304519,7±0,8	9,83±0,06	4,6
49,9±0,6	1335558,1±0,6	1334602,2±1,3	47,77±0,07	6,7
99,9±1,1	1304658,8±0,7	1302569,9±1,2	106,99±0,07	5,8
990,1±11,2	1304658,8±0,7	1286722,6±34,4	935,77±1,84	5,2

С целью уточнения функциональных зависимостей: диэлектрической проницаемости диэлькометрического фильтроэлемента и концентрации механических примесей загрязнителя в пористой перегородке диэлькометрического фильтроэлемента и проверки экспериментальным путем работоспособности разработанного метода динамического мониторинга чистоты авиатоплива в потоке, поставлены частные задачи и разработана методика экспериментальных исследований. Согласно разработанной методике эксперимента, были приготовлены растворы точно известной концентрации, с помощью которых проводилась калибровка, так называемые модельные смеси авиакеросина и загрязнителей - механических примесей, представляющих собой порошки имитаторы, близкие к производственным загрязнителям: 60% электрокорунда М5-М7 и 40% порошка карбида кремния М5-М7 по массе. Такой состав загрязнителей выбирали из тех соображений, что наибольшее число частиц механических примесей приходится на этот размерный интервал. Кроме того, более крупные частицы быстро осаждаются и дают значительное искажение результатов замеров. Было приготовлено 5 растворов модельной смеси с различной концентрацией загрязнителя: - 1 г/тн; - 1,5 г/тн; - 2г/тн; - 2,5 г/тн; и – 3 г/тн, точную концентрацию измеряли с помощью стандартных методик ГОСТ 10577-78.

Концентрацию загрязнителей топлива рассчитывали по следующей формуле:

$$x = G_1/G_2 \cdot 100\%, \qquad (3.22)$$

где G_1— масса порошка загрязнителя (или смеси нескольких порошков);

G_2 — масса используемого для анализа топлива ТС-1.

G_2 = Гр, $G_2 = V \cdot \rho$,

где V — объем топлива, $см^3$;

ρ = 0,780 $г/см^3$ — плотность топлива ТС-1.

Для градуировки готовили модельные смеси топлива с концентрацией твердой фазы от 1,7 до 26,0 мг/литр. Взвешивание порошков производили на аналитических весах с точностью 0,1 мг.

Из графиков на рисунке 3.10 видно, что по мере прокачивания смесей авиатоплива через ДЭФ, измеренное КДП растет от 2,5 до 17.

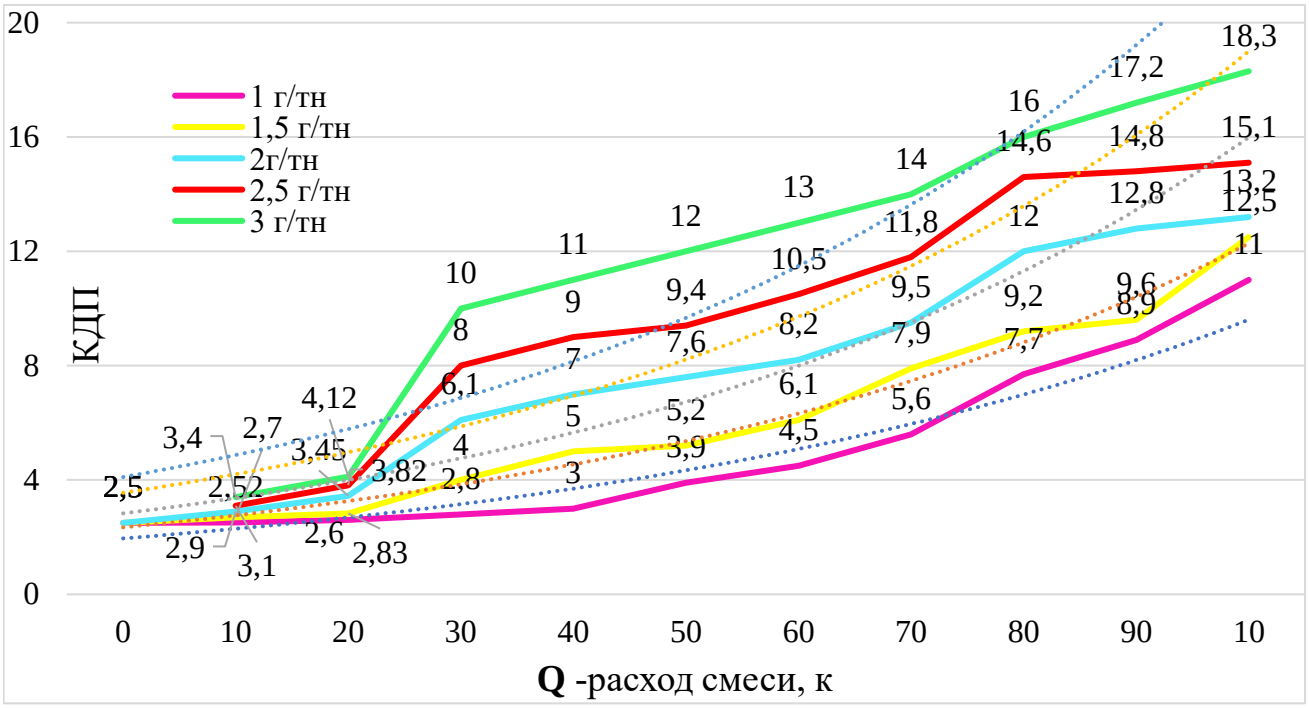


Рисунок 3.10 – Зависимость (КДП) от количества прокачанной смеси через диэлькометрический фильтроэлемент (ДЭФ) модельных смесей с различной концентрацией механических примесей: - 1г/тн; - 1,5г/тн; - 2г/тн; -2,5 г/тн; - 3г/тн.

Причем на участке от 0 до 2 литров разница в приросте КДП для разны концентраций загрязнителя, на порядок меньше чем на участке от 2 до 7 литров, далее после 7 литров КДП постепенно уравнивается и рост КДП уменьшается, а КДП при дальнейшей прокачке практически не изменяется. Это очевидно

свидетельствует о достижении максимального загрязнения ДЭФ, при котором КДП ДЭФ будет наиболее приближена к КДП частиц загрязнителя, и далее КДП ДЭФ изменяется незначительно.

Таким образом на этом участке обнаружена наибольшая чувствительность ДЭФ к различной концентрации частиц мехпримесей, на этом участке можно определить устойчивую зависимость КДП ДЭФ от процентной концентрации частиц загрязнителя. И составить калибровочную таблицу, для определения гравиметрических показателей контролируемого авиатоплива по величине диэлектрической проницаемости.

Для установления функциональных зависимостей (рис. 3.10) диэлектрической проницаемости диэлькометрического фильтроэлемента от плотности и природы вещества механических примесей загрязнителя в измерительной контрольной ячейке ДЭФ проведены исследования с загрязнителями различного состава и плотности (природы). Согласно разработанной методике эксперимента были приготовлены модельные растворы с точно известной концентрацией загрязнителей различного состава - механических примесей, представляющих собой:

1 - КВАРЦ – Стандартная тестовая пыль PTI Arizona Test Dust A4;

2 - БАРИТ – минерал бария из класса сульфатов, BaSO4;

3 - КАОЛИН – полиморфная модификация водного силиката алюминия $Al_2Si_2O_5(OH)_4$. Каолиновая глина, это минерал, состоящий из гидратированных алюмосиликатов (т.е. $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$)

4 - ОКСИД – гидроксид железа (III) ρ=3 г/см^3, естественный загрязнитель – ржавчина размером 5…10 мкм.

Такой состав загрязнителей выбирали из тех соображений типичности состава естественных загрязнений в реальных условиях деятельности организаций авиатопливообеспечения и проверки возможностей метода по идентификации природы (плотности) мехпримесей в потоке исследуемого авиатоплива. Для каждого состава смеси, также было приготовлено по 4 раствора модельной смеси с

различной концентрацией загрязнителя: - 1 г/тн; - 1,5 г/тн; - 2 г/тн; - 2,5 г/тн; и - 3г/тн. Точную концентрацию измеряли с помощью стандартных методик ГОСТ

Графики (рисунки 3.11…3.14), построенные по результатам исследований, проведенных на стенде (рисунок 3.6), визуально демонстрируют влияние состава дисперсной смеси (концентрации) на характеристики измерительной системы и показывают динамику изменения (накопления) твердой фазы в жидкостной дисперсной системе «керосин - мех примеси».

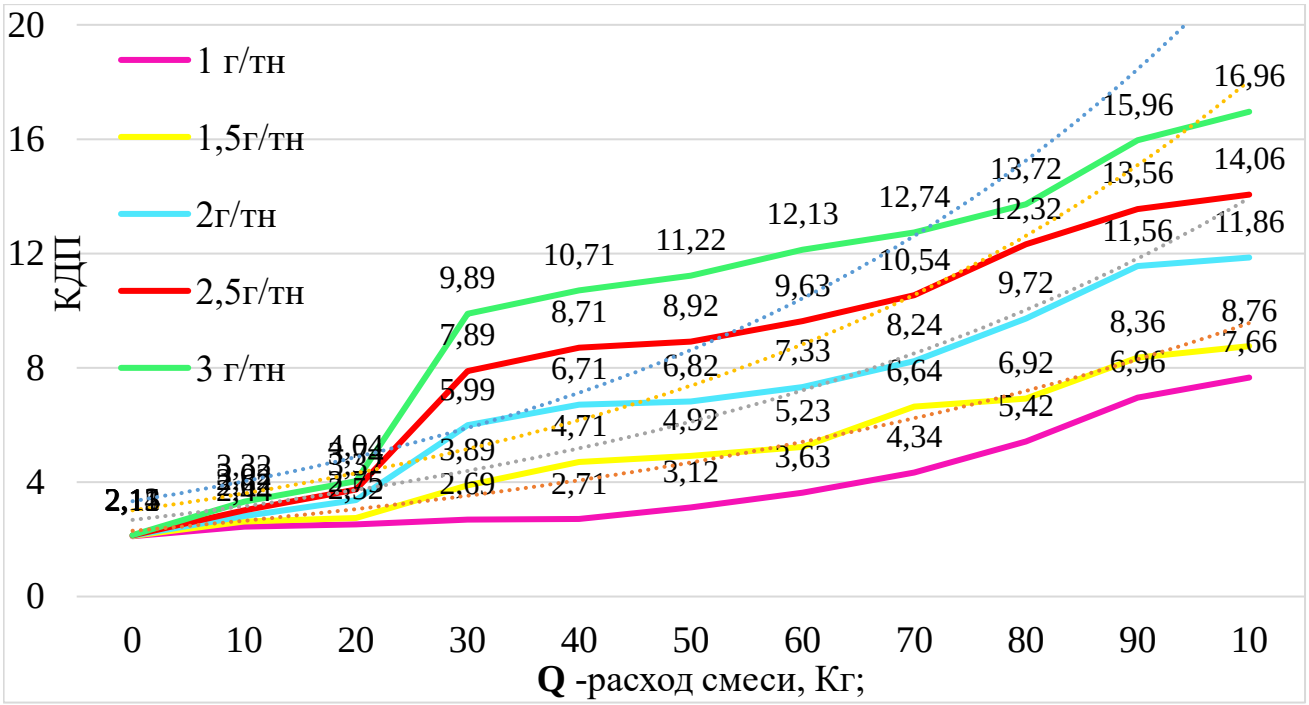


Рисунок 3.11 – Зависимость (КДП) от количества прокачанной смеси через диэлькометрический фильтроэлемент (ДЭФ) модельных смесей с загрязнителем КВАРЦ – Стандартная тестовая пыль PTI Arizona Test Dust A4; (плотность ρ=2,65 г/см3) и при различной его концентрации

Сплошная линия отражает влияние твердой фазы на показания регистрирующего прибора системы контроля изменения комплексной диэлектрической проницаемости пористого фильтроэлемента.

Так из графика на рисунке 3.11 видно, что по мере прокачивания через ДЭФ модельной смеси авиатоплива с загрязнителем на основе кварца, стандартной тестовой пыли PTI Arizona Test Dust A4 (плотность ρ=2,65 г/см^3), на участке от 0 до 2

литров прокачанной смеси с загрязнителем разница в приросте КДП для загрязнителей разной природы на порядок меньше чем на участке от 2 до 7 литров, а далее после 7 литров КДП постепенно уравнивается и рост КДП уменьшается. При

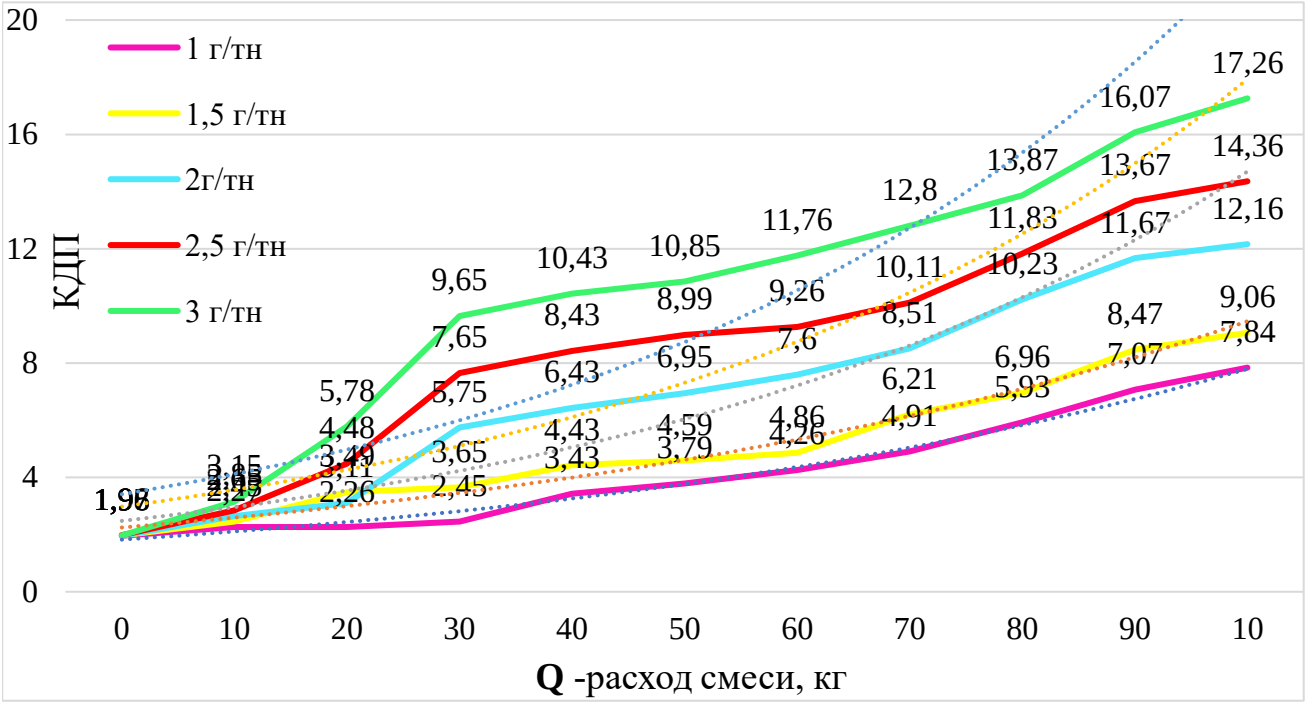


Рисунок 3.12 – Зависимость (КДП) от количества прокачанной смеси через диэлькометрический фильтроэлемент (ДЭФ) модельных смесей с загрязнителем - БАРИТ – минерал бария из класса сульфатов, BaSO4; (плотность ρ=4,48 г/см3) и при различной его концентрации

дальнейшей прокачке КДП практически не изменяется, это очевидно свидетельствует о достижении максимального загрязнения ДЭФ, при котором КДП ДЭФ будет наиболее приближена к КДП частиц загрязнителя, и далее КДП ДЭФ не изменится.

По мере прокачивания через ДЭФ модельной смеси авиатоплива с загрязнителем на основе барита $BaSO_4$ (плотность ρ=4,48 г/см^3) (рисунок 3.12) видно, что на участке от 0 до 2 литров прокачанной смеси с загрязнителем.

Разница в приросте КДП для загрязнителей разной природы, на порядок меньше, чем на участке от 2 до 7 литров, а далее после 7 литров КДП постепенно уравнивается и рост КДП уменьшается и при дальнейшей прокачке практически не изменяется.

Как видно из рисунков 3.13 и 3.14 изменения КДП при прокачивания через ДЭФ модельной смеси авиатоплива с загрязнителем на основе каолина $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ (плотность ρ=2,6 г/см^3) и гидроксида железа (III) (плотность ρ=3 г/см^3), имеет аналогичный характер протекания, что и при прокачке модельной смеси авиатоплива с загрязнителем на основе барита $BaSO_4$.

Таким образом, при прокачивании через ДЭФ модельной смеси авиатоплива с различными загрязнителями на участке от 2 до 7 литров обнаружена наибольшая чувствительность ДЭФ к различной плотности частиц мехпримесей.

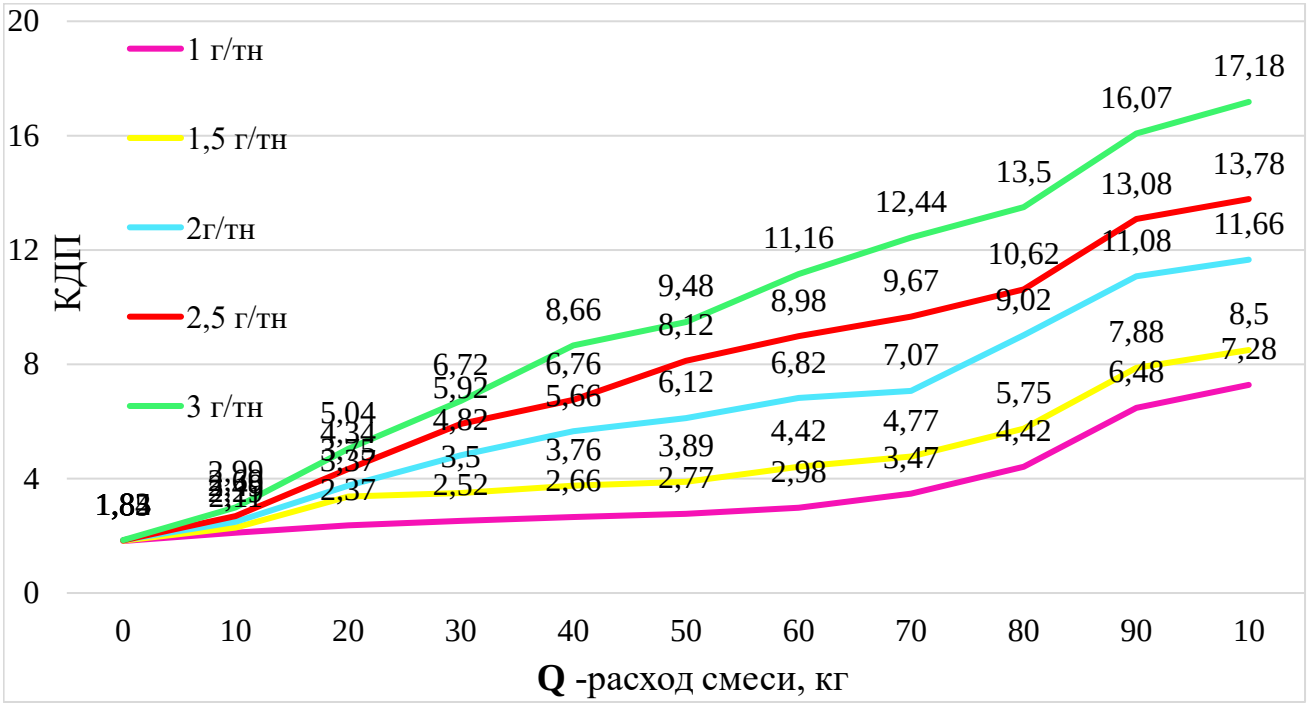


Рисунок 3.13 – Зависимость (КДП) от количества прокачанной смеси через диэлькометрический фильтроэлемент (ДЭФ) модельных смесей с загрязнителем - КАОЛИН – полиморфная модификация водного силиката алюминия $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ (плотность ρ=2,6 г/см3) и при различной его концентрации

Таким образом, при прокачивании через ДЭФ модельной смеси авиатоплива с различными загрязнителями на участке от 2 до 7 литров обнаружена наибольшая чувствительность ДЭФ к различной плотности частиц мехпримесей. На этом участке можно определить устойчивую зависимость КДП

ДЭФ от плотности частиц загрязнителя и составить калибровочную таблицу для определения плотности мех примесей в потоке контролируемого авиатоплива по величине диэлектрической проницаемости.

Из анализа проведенных исследований можно выделить 3 участка работы ДЭФ. На 1 участке в ДЭФ протекает эталонное топливо. На 2 участке происходит загрязнение фильтроэлемента при протекании через него модельных смесей с различной их концентрацией по массе (в соответствии с ГОСТ 1.00160). На 3 участке происходит «забивка» фильтроэлемента, его «насыщение» мех примесями, что означает предел грузоёмкости.

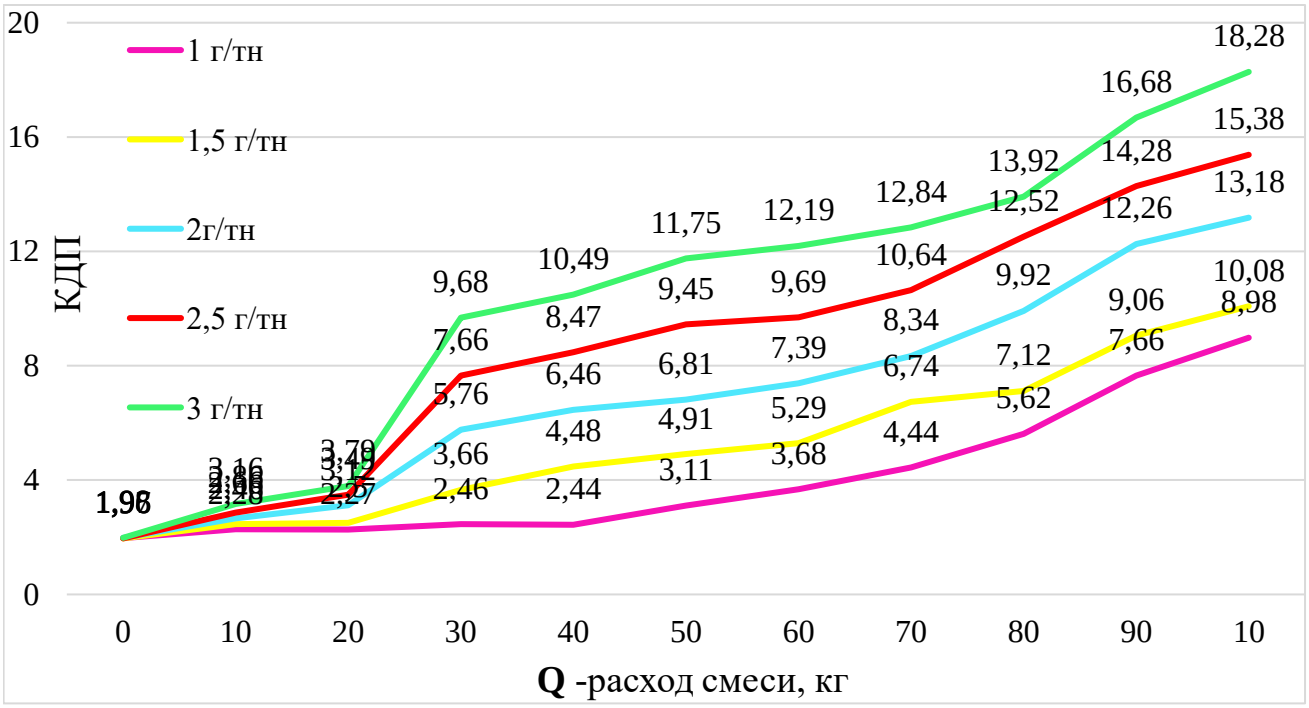


Рисунок 3.14 – Зависимость (КДП) от количества прокачанной смеси через диэлькометрический фильтроэлемент (ДЭФ) модельных смесей с загрязнителем - ОКСИД – гидроксид железа (III), естественный загрязнитель – ржавчина размером 5…10 мкм (плотность ρ=3 г/см3) и при различной его концентрации

Анализ результатов данных полученных в результате экспериментов показывает, что предлагаемый метод динамического измерения гравиметрических показателей уровня содержания мехпримесей в авиатопливе,

характеризуется относительной погрешностью определения содержания мехпримесей не более 4,6 % в диапазоне 1 г/м^3 $\leq$W $\leq$10 г/м^3.

Разработанный метод дает возможность контролировать чистоту перекачиваемого авиатоплива при заправке ВС с более высокой степенью точности по сравнению с существующим современными классическими, а также позволяет осуществлять контроль в динамических условиях, т.е. непрерывно в потоке, предоставляя мгновенные данные измерения гравиметрических (весовых) и гранулометрических параметров для принятия решения о кондиционности и пригодности авиатоплива к заправке ВС.

В результате экспериментальных исследований, выполнены измерения диэлектрических свойств диэлькометрического фильтроэлемента (пористой перегородки) с целью определения частоты резонанса для характерных механических примесей.

3.2 Обоснование построения гранулометрического анализатора, основанного на методе ситового анализа

Наиболее полно дисперсность авиатоплива характеризуется дисперсным составом. В этом случае устанавливается (определяется, измеряется) не только гравиметрические параметры (весовые массовые) но и удельное содержание частиц каждого размера. Для этого дисперсную фазу АТ - МП, разделяют на ряд отдельных фракций, понимая под фракцией совокупность частиц, размеры которых лежат внутри заданного интервала (мкм): до 1; 1…3; 5…10; 10…20 и т.д. Анализ результатов подсчета выполняется в соответствии с ГОСТ 17216 "Промышленная чистота. Классы чистоты жидкостей".

Содержание отдельных фракций и их распределение по классам промышленной чистоты, определяют фотометрическими методами, автоматическими счетными анализаторами механических примесей, предназначенными для определения уровня загрязненности жидкостей частицами механических примесей путем селективного подсчета числа частиц различных размеров, взвешенных в определенном объеме проверяемой жидкости., преимущества которых в бесконтактном способе измерения скорость эти методы являются универсальными, бесконтактными, быстрыми, позволяющие исследовать труднодоступные объекты не нарушая их исходного состояния, чувствительность, но имеющими ряд недостатков:

1 - когда размеры частиц не могут быть определены путем непосредственных измерений, за размер принимают диаметр, этот размер точно характеризует только шарообразные частицы, размер частиц не правильной геометрической формы принято выражать, через эквивалентный диаметр частицы. Следует отметить, что это допущение существенно отражается на точности измерения размеров частиц.

2 – нельзя определить природу вещества, (а это может быть воздух, вода, в нашем случае непременные спутники технологических процессов авиатопливообеспечения ВС),

3 - использование фотометрического метода в весовом анализе (гравиметрическом) дает большую погрешность, поскольку вес частиц вычисляется математически (полиномом), а плотность вещества частиц принимается средней (медианной).

Предлагаемый диэлькометрический фильтроэлемент ДФЭ, возможно использовать только для весового анализа. Использование одного ДФЭ, позволяет измерять общий вес механических примесей (без разделения по размерным группам), чего вполне достаточно для осуществления гравиметрического (весового) анализа МП в потоке АТ. В случаях, когда требуется исследовать механические примеси с определением класса промышленной чистоты или осуществить гранулометрический анализ, это возможно реализовать путем построения

диэлькометрического анализатора механических примесей (ДАМП), состоящего из цепи нескольких последовательно соединенных ДФЭ с различной тонкостью фильтрации, ступенчато уменьшающуюся от большей к меньшей степени фильтрации (рисунок 3.15).

Механические примеси в потоке авиатоплива, проходя через цепь последовательных ДФЭ и задерживаются на фильтрующих диэлектрических перегородках, соответствующего размера (тонкости фильтрации). Изменяя их электрическую емкость (КДП), по величине изменения этой электрической емкости на каждом ДФЭ (предварительно откалиброванном), определяется вес частиц механических примесей, задержанных каждой перегородкой. Таким образом, реализуется гранулометрический анализ с определением класса промышленной чистоты согласно таблице 3.2.

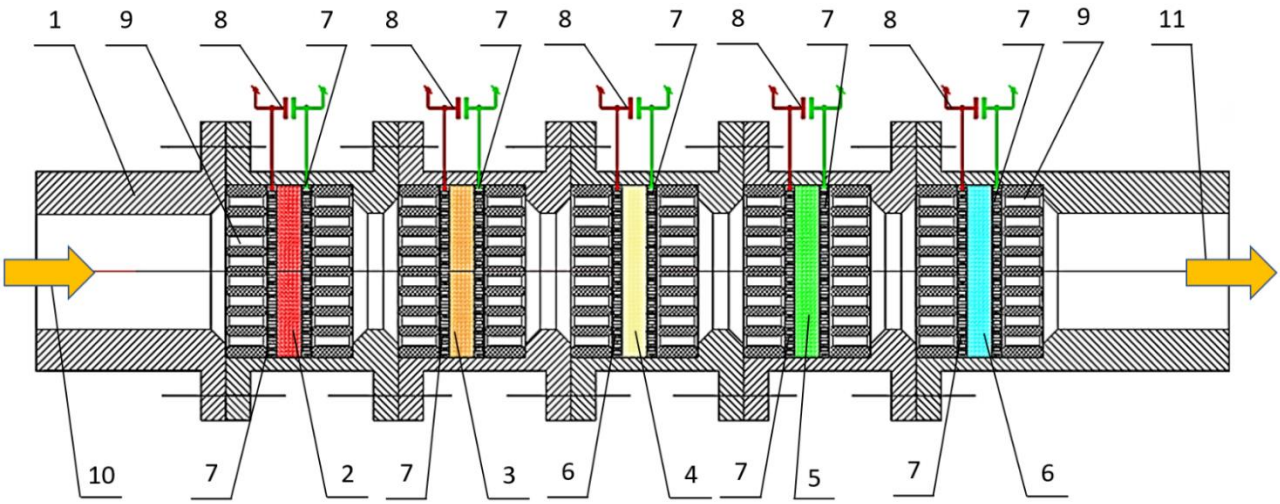


Рисунок 3.15 – Схема ДАМП – диэлькометрического анализатора механических примесей: 1 – корпус; 2 -; 3 -; 4 -;5 -; 6 -; пористые фильтрующие перегородки: 100; 50; 25; 10; 5мкм; 7 – перфорированные электроды (обкладки конденсатора); 8- эквивалент схемы; 9- опорные каркасы; 10-; 11- направление потока авиатоплива

Сущность этого метода, так называемого ситового распределения (анализа), широко известна, и уже использовалась в разработке метода,

основанном на изменении перепада давления на индикаторных фильтрующих перегородках различной тонкости [20, 21, 24]

Электрогидравлическая схема анализатора приведена на рисунке 3.16.

Анализируемая жидкость (8) поршневым насосом прокачивается через трубопровод (5). через систему последовательно установленных ДФЭ (10...16) с последовательно уменьшающейся тонкостью фильтрации [20].

Каждая из взвешенных в анализируемой жидкости частиц, проходя через цепь ДФЭ задерживается на соответствующих по степени тонкости фильтрации перегородках соответствующих размерных групп. При этом измерители электрической емкости (КДП) формируют изменение напряжения пропорциональное плотности (и весу) задержанных на соответствующих ДФЭ частиц механических примесей. Далее эти данные компаратором зачисляются в размерные группы (табл 3.2). Результаты имитационного моделирования в програмном пакете SOLIDWORKS Flow Simulation, потока смеси авиатоплива и мехпримесей в каскадном мониторе из 5-и элементов изображены на рисунке 3.17.

Таблица 3.2. Размерные группы распределения частиц по классам промышленной чистоты по ГОСТ 17216

Порог компаратора (мВ)	Эквивалентный диаметр учитываемых частиц (мкм)
80 ± 20%	$5 \leq d < 10$
320 ± 20%	$10 \leq d < 25$
1900 ± 20%	$25 \leq d < 50$
4850 ± 2%	$50 \leq d < 100$
10000 ± 2%	$100 \leq d$

Так как ГОСТ 17216 определяет класс чистоты в зависимости от числа частиц в 100 $см^3$ жидкости, а объем единичной пробы равен 10, 25 или 50 $см^3$, процессор умножает число импульсов, сосчитанных в каждой группе, на соответствующий коэффициент, сопоставляет результаты подсчёта с нормами стандарта и определяет класс чистоты анализируемой жидкости.

В работе автора [20], вопросы определения и расчеты грязеёмкости, чувствительности, монитора каскадного разделения, уже были в достаточной мере освещены и использованы в расчетах ДДАМП. Они основаны на стандартных методах, таких как определение показателя герметичности фильтроэлемента (давление проскока пузырька), перепад давления и уравнение Дарси и в свою очередь являются исходными данными для проектирования ДАМП.

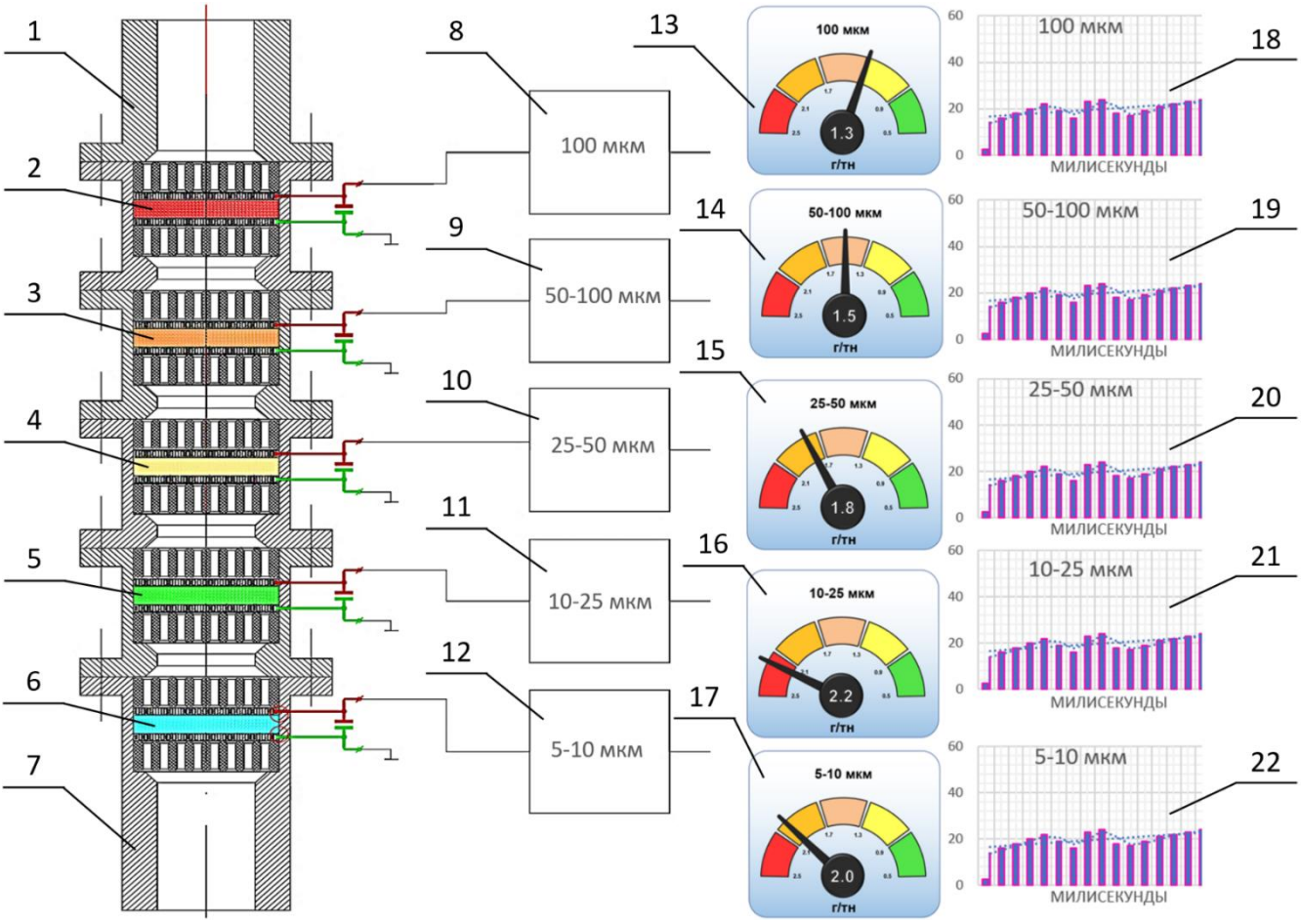


Рисунок 3.16 – Электрогидравлическая схема анализатора ДАМП –диэлектрический анализатор механических примесей: 1-вход ДАМП; 2 -,3 -,4 -,5 -,6 - фильтрующие перегородки: 100; 50 ;25; 10; 5мкм; 7-выход ДАМП; 8 -,9 -,10 -,11-,12- компараторы сигналов сенсоров-фильтров 100; 50 ;25; 10; 5мкм; 13 -, 14-,15 -,16-,17- индикаторы мгновенных значений массы частиц МП для размерных групп распределения по классам промышленной чистоты; 18 -, 19-,20 -,21-,22-тренды показателей гравиметрических измерений уровня чистоты авиатоплива

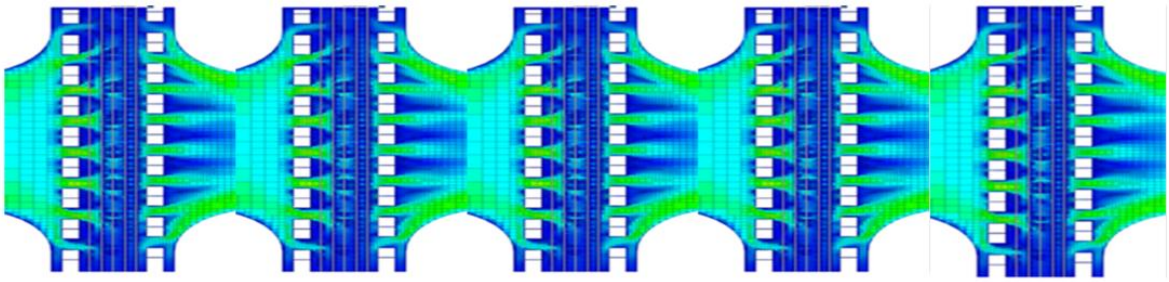


Рисунок 3.17 – Имитационное моделирование потока смеси авиатоплива и мехпримесей Flow Simulation в среде SOLIDWORKS, в каскадном мониторе из 5-и элементов

Для определения количественной оценки коэффициента удельного изменения электрической емкости, пропорциональной плотности и весу частиц мехпримесей в работе были проведены стендовые испытания перегородок. При стендовых испытаниях каждой индикаторной перегородки на чистом топливе определяем показатель коэффициент удельного изменения электрической емкости.

Испытания первой перегородки из полимерной сетки квадратного плетения проводились на образце площадью F=28,26 см^2[20]. Вторая индикаторная перегородка из полимерной сетки квадратного плетения испытывалась в аналогичных условиях той же площади образца. Третья индикаторная перегородка состоит из двух слоев полимерной сетки квадратного плетения смещенных относительно направления нитей на 45^0, что обеспечивает более равномерную поровую структуру и лучшие фильтрующие свойства. Четвертая индикаторная перегородка состоит из фильтрующей бумаги 15 мкм производства «Холин Ворс». Пятая индикаторная перегородка состоит из фильтрующей бумаги 5 мкм производства «Холин Ворс».

При испытаниях пакета пяти последовательно расположенных перегородок получаем что получаем, с расходом топлива Q = 0,62 л/с. Испытания индикаторных фильтрующих перегородок проводили на прокачном стенде, схема и внешний которого предсталены на рисунке 4.2 и 4.3 соответственно.

Стенд имеет перекачивающий насос (рисунок 3.18 поз. 2) с регулятором расхода топлива, устройством ввода механических примесей (рисунок 4.1 поз. 1, 3), устройством зажима иследуемых перегородк, состоящее из последовательно

соединненых фланцевых соединений в которых устанавливаются исследуемые пористые перегородки с эффективной площадью фильтрации ограниченной диаметром 60 мм.

Одна или несколько индикаторных фильтрующих перегородок устанавливаются в прокачной стенд последовательно между фланцами, для дальнейшего загрязнения и регистрации и измерения изменения электрической емкости. После включения прокачки топлива на ДФЭ стенда регистрируется значение электрической емкости при незагрязненом топливе, которое показывает точку нулевого загрязнения перегородки. Перед установкой все индикаторные перегородки взвешиваются. Затем в устройство подачи загрязнений вводится от 0,1 до 0,4 грамм загрязнителя в прокачиваемое топливо в необходимом количестве, до достижения перепада давления на перегородке не более 1,5 кг/см^2. Вслучае испытания несколько установленных последовательно перегородок, суммарный перепад давления так же не должен быть более значения 2,0 кг/см^2. Расход топлива при помощи крана регулировки подачи топлива, в среднем, поддерживается на уровне 40 л/мин. После прохождения перегородок макета монитора топливо возвращается в накопительную емкость.

После проведения испытаний, макет монитора размонтируется и индикаторные загрязненные перегородки акуратно вынимаются. Затем высушиваются в течении часа при температуре 105 C^o, и взвешиваются с целью определения веса задержаных частиц механических примесей. Из полученого веса вычитается вес чистой перегородки.

На испытательном стенде закрепляются пять индикаторных перегородок и через нее прокачивается топливо с введенным в поток естественным загрязнителем. По мере закупорки частицами механических примесей части площади каждой из перегородок электрическая емкость (КДП) на каждой из них изменяется.

Электроемкость всех ДФЭ регистрируется после введения всего количества загрязнения, и прокачка топлива останавливается.

После проведения испытаний на макете, получили на каждой перегородке данные по электрической емкости и весу отсеянных частиц механических примесей.

Внешний вид исследовательского прокачного стенда [20], разработанного прототипа устройства ДАМП представлен на рисунке 3.19.

Анализатор диэлькометрический (кондуктометрический) ситовый гравиметрический механических примесей (далее анализатор) АДГС-МП-1.5 предназначен для измерения в жидкостях массовой концентрации взвешенных частиц различных размеров, их классификации по размерным группам и определения классы чистоты жидкости в соответствии с нормами ГОСТ 17216-200 "Промышленная чистота. Классы чистоты жидкостей". На рисунке 3.20 показана схема работы анализатора.

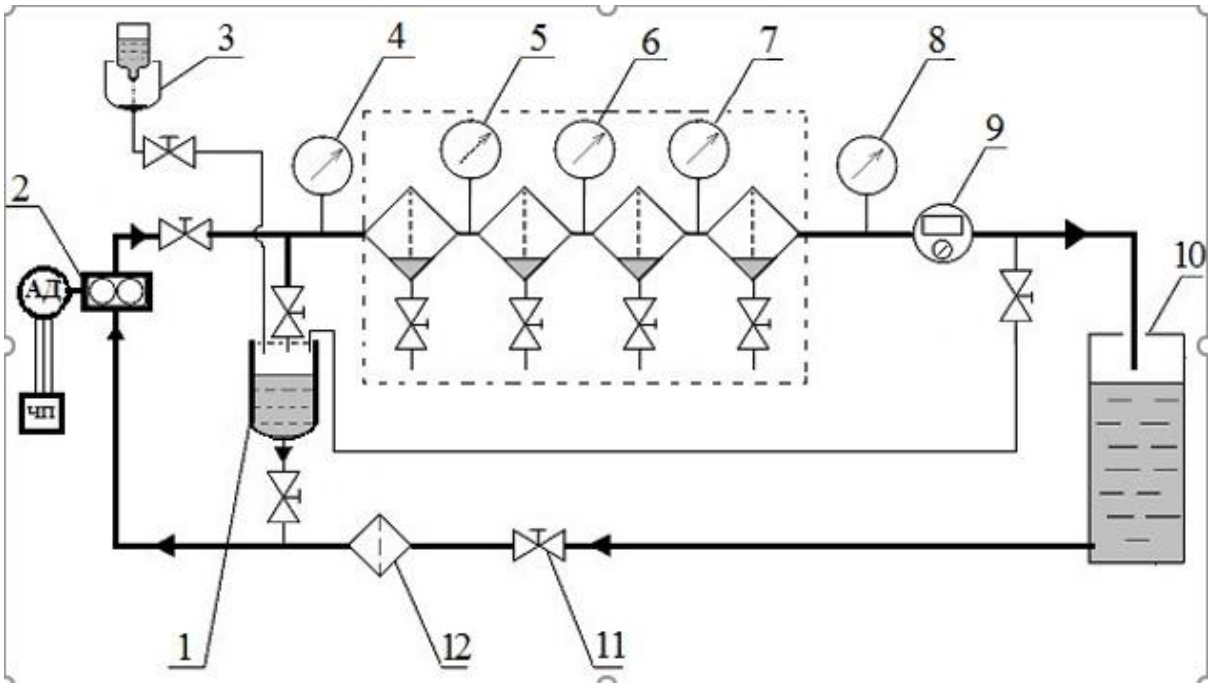


Рисунок 3.18 – Гидравлическая схема исследовательского прокачного стенда: 1 – устройство ввода загрязнителя; 2 – насос перекачки топлива; 3 – дозатор ввода загрязнителя; 4 – датчик давления МТУ-07 перед первой индикаторной перегородкой; 5 - датчик давления МТУ-07 между первой и второй индикаторными перегородками; 6 - датчик давления МТУ-07 между второй и третьей индикаторными перегородками; 7 - датчик давления МТУ-07 между третьей и четвертой индикаторными перегородками; 8 - датчик давления МТУ-07 после четвертой индикаторной перегородкой; 9 – расходомер жидкости; 10 – накопительная емкость топлива; 11 – кран регулировки подачи топлива; 12 – фильтр доочистки топлива[20]

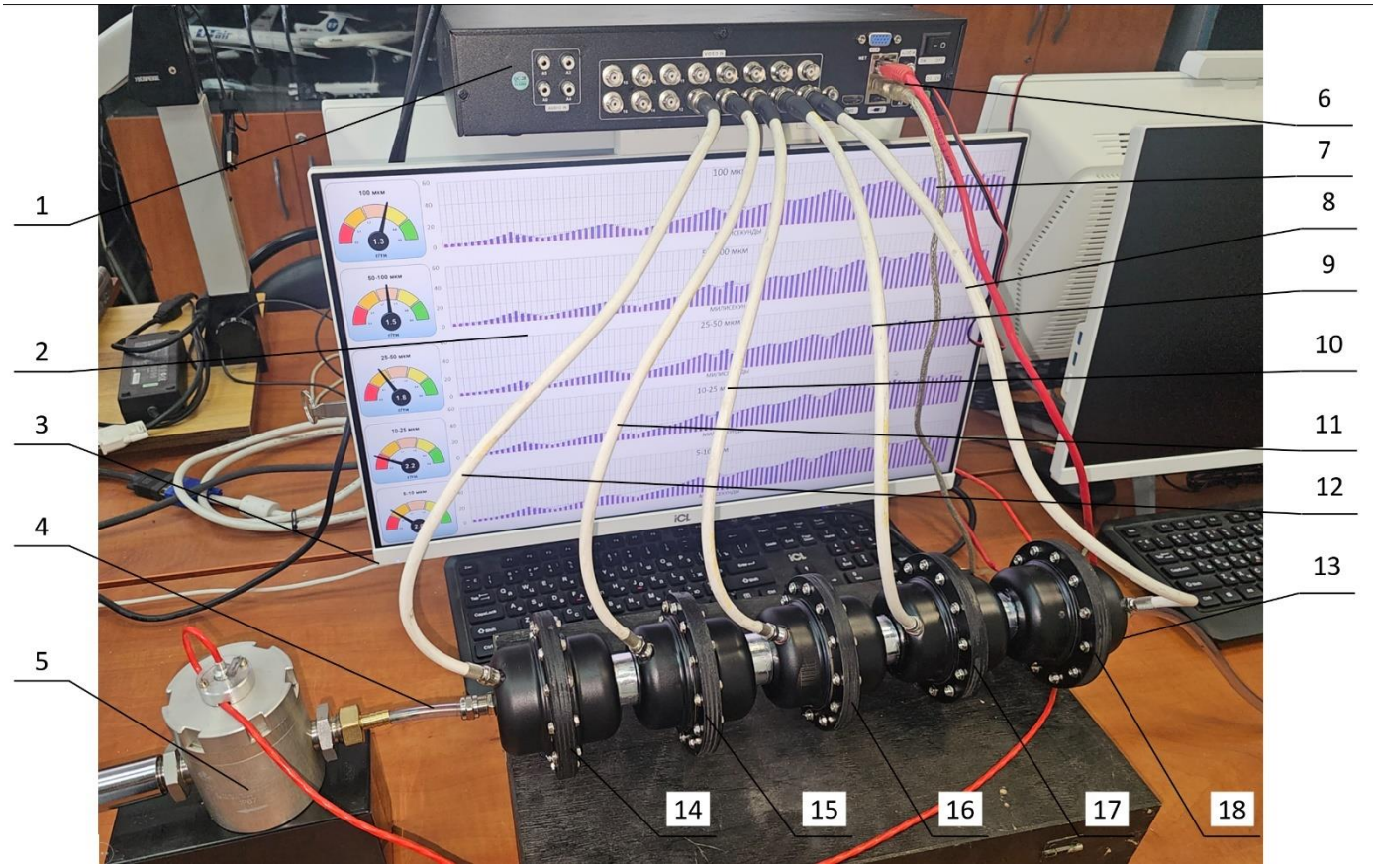


Рисунок 3.19– Каскадный диэлькометрический анализатор мех примесей: 1 – ПЛК с компараторами сигналов; 2 –дашборд (монитор пк) ; 3 - персональный компьютер (локальный); 4 – топливопровод Ø8мм; 5 – ролико лопастной расходомер авиатоплива 10л/мин $\pm$ 0,15%; 6 – TCP/IP -кабель витая пара, STP-4P-Cat.6a; 7 – кабель USB 2.0 экранированный; 8 -,9 -,10 -,11 -,12 - коаксиальный кабель DG-113 -75Ом, 5-2150 МГц: 100; 50 ;25; 10; 5мкм; 13-ДАМП; 14 -,15-,16 -,17 -,18 -диэлькометрические фильтры-преобразователи: 100; 50 ;25; 10; 5мкм

Таким образом, предложен новый метод контроля промышленной чистоты авиатоплива, позволяющий в режиме реального времени проводить измерения гравиметрических параметров (весового анализа) и гранулометрических показателей промышленной чистоты авиатоплива непрерывно в потоке.

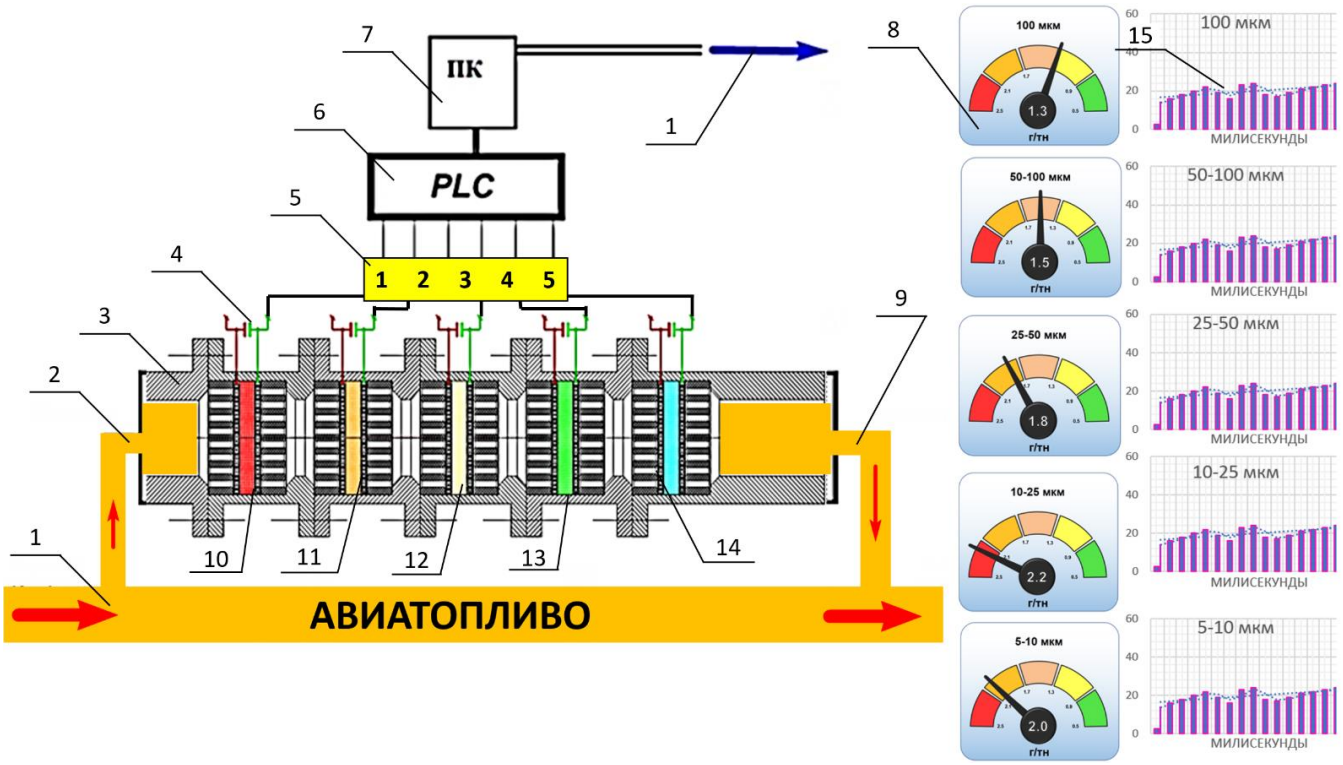


Рисунок 3.20 – Анализатор диэлькометрический (кондуктометрический) ситовый гравиметрический механических примесей (далее анализатор) АДГС-МП-1.5: 1-топливопровод ; 2 -вход ДАМП ; 3-корпус ДАМП; 4-эквивалент схемы диэлькометра; 5-компаратор; 6 – ПЛК; 7 – персональный компьютер (локальный) ; 8- дашборд; 9- выход ДАМП; 10 -,11 -,12 -,13 -,14 -, фильтрующие перегородки: 100; 50 ;25; 10; 5мкм;15-тренд показателей уровня чистоты авиатоплива

3.3 Разработка устройства мониторинга содержания свободной (эмульсионной) нерастворенной воды в потоке авиатоплива

Как отмечалось выше (глава 2) в топливе содержится вода, оказывающая влияние на ресурс ФЭ. При любых изменяющихся температурах содержание воды в топливах и маслах находится в динамическом равновесии с влажностью

окружающей атмосферы и насыщение или самопроизвольное удаление воды из нефтепродуктов происходит довольно быстро [20, 21, 72].

Разрабатываемое устройство динамического измерения количества свободной воды в авиатопливе может быть выполнено с применением уже известной системы каскадной фильтрации [20, 21, 72].

Для повышения чувствительности метода, эффективности обнаружения микрокапель, свободной (нерастворенной воды) в потоке авиатоплива, был выбран метод накопления влаги в пористой гидрофобной перегородке. Изменение количества накопленной влаги пропорционально изменению электроемкости этой перегородки, что и положено в принцип измерения содержания свободной влаги в потоке авиатоплива.

Экспериментальным путем был выбран материал [72] с высокой степенью гидрофильности. Для использования в конструкции диэлькометрического датчика определения воды в авиатопливе был выбран поливинилформаль - полимерный материал, обладающий трехмерной ячеистой структурой и высокой гидрофильностью полимерной основы, представлены на рисунке. 3.21 [72].

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.

Пористая ячеистая структура поливинилформаля позволяет создать объемный режим фильтрации авиатоплива, что усиливает эффективность очистки, так как при любом направлении потока авиатопливо 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 3.22 [72].

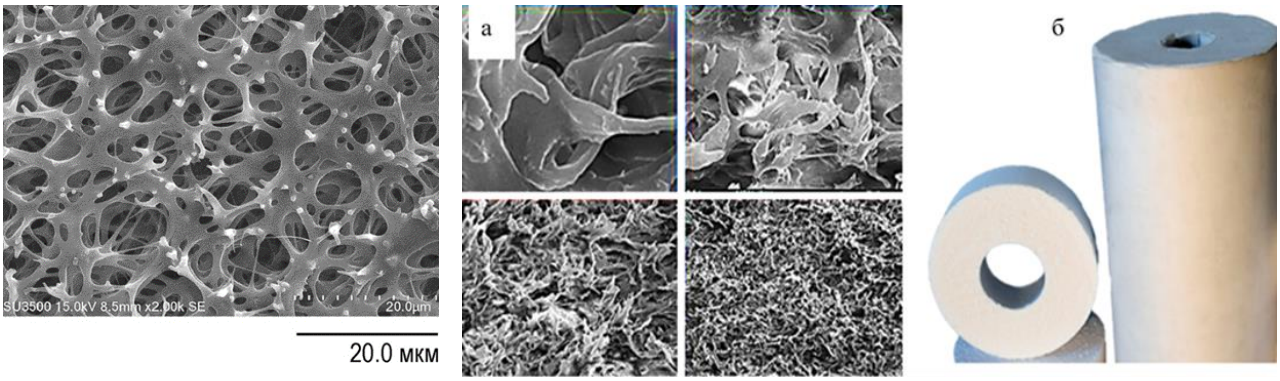


Рисунок 3.21 – Структура поливинилформаля (а) при различном увеличении и внешний вид (б) пористого поливинилформаля

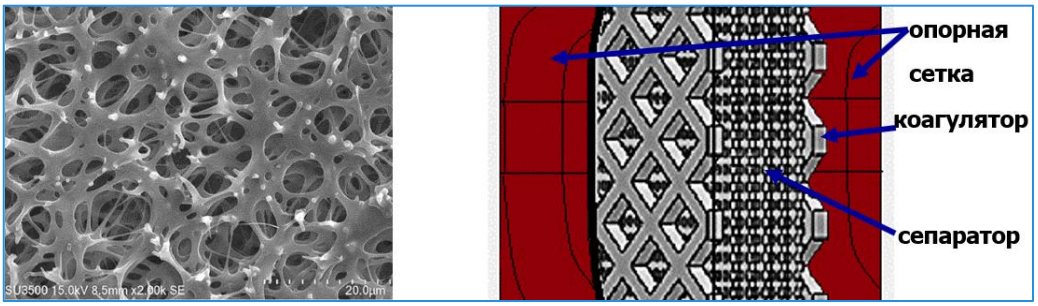


Рисунок 3.22–Конструкция фильтропакета датчика водоотделителя

Ввиду сложности структуры поливинилформаля при построении расчетной модели конструкции каскадной ступени было принято допущение, что его ячейка имеет форму шестигранника (рис. 3.22). Каждая 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 поливинилформаля [72].

Проведенное в работе численное моделирование потока авиатоплива через многоступенчатый монитор, для разрабатываемого метода мониторинга обводненности авиатоплива, позволило визуализировать струйное течение авиатоплива в объемной структуре поливинилформаля (рис. 3.23 а) и иметь представление о распределении скорости и давления авиатоплива при протекании через предлагаемую конструкцию ступенчатой фильтрации [72] (рис. 3.23).

В процессе работы водоотделителя, пористый поливинилформаль, до насыщения водой, имеет водосорбционные свойства и жесткую пористую структуру.

После насыщения водой материал переходит из стеклообразного в эластичное состояние, набухает и приобретает водокоагулирующие свойства. Далее для перевода системы в исходное состояние (регенерация), производится процесс осушения пористого поливинилформаля, потоком обезвоженного авиатоплива (с очень низким уровнем обводненности) и удерживаемая на перегородке вода переходит в топливо в молекулярном, растворенном состоянии, (с содержанием воды в топливе ниже 0,001% (по массе), и удаляется из перегородки.

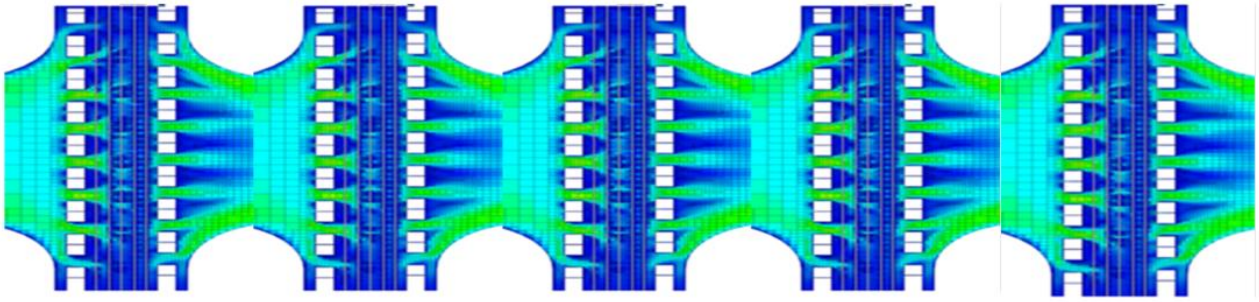


Рисунок 3.23– Имитационное моделирование потока обводненного авиатоплива в среде SOLIDWORKS Flow Simulation, в измерительном фильтроэлементе: а) - распределение скорости; б) - распределение давления

Сущность действия датчика определения уровня содержания свободной воды в авиатопливе состоит в измерении диэлектрической проницаемости влажного и сухого авиатоплива и определении по этой разности количества воды по заранее построенному графику или таблице в зависимости от температуры. (рисунок 3.24).

Принцип работы устройства, основан на свойстве пористого поливинилформаля изменять свою электрическую емкость при разной степени намокания в топливах с разным содержанием растворенной и эмульсионной воды. Пористый поливинилформаль широко использовался в топливных системах, в фильтрах водоотделителях на судах речного флота СССР. Пористая структура этого материала обладает свойствами коагулятора воды и укрупняет мелкодисперсную (мицеллярную) воду в топливе. При этом пористый поливинилформаль имеет пористость более 90% и низкое гидравлическое сопротивление [20].

Устройство (рисунок 3.25) представляет собой пять индикаторных ячеек ДЭФ, каждый из которых содержит перегородку из пористого поливинилформаля, опорную сетку на выходе и на входе перегородки сепарирующую сетку с покрытием из фторопласта и перфорированные металлические обкладки, все это образует электрический конденсатор (электрическую емкость) (полупеременные) конденсаторы.

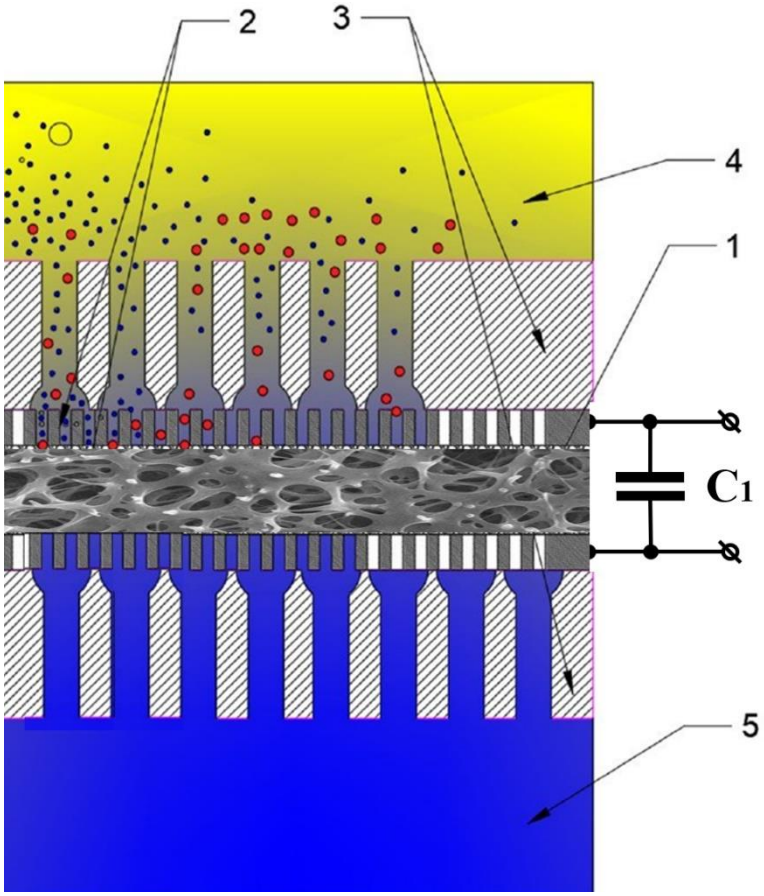


Рисунок 3.24 – Устройство датчика (сенсора) динамического измерения уровня обводнения в потоке авиатоплива: 1 - пористый фильтрующий диэлектрик, поливинилформаль; 2 - перфорированные металлические пластины; 3 - опорный перфорированный каркас; 4 – поток обводненного авиатоплива; 5 - топливо обезвоженное; C_1- эквивалентная схема

Особенностью этих конденсаторов является то, что их емкость изменяется в процессе обводнения. При насыщении водой изменяется диэлектрическая проницаемость пористого твердого материала, а, следовательно, и емкость

конденсатора. Как правило, минимальная емкость составляет несколько пикофарад, а при полном загрязнении емкость конденсатора будет максимальной — несколько десятков пикофарад. От перфорированных обкладок сделаны внешние выводы 3 и 4. Плотное прилегание обкладок к диэлектрику обеспечивается прижимной пружиной.

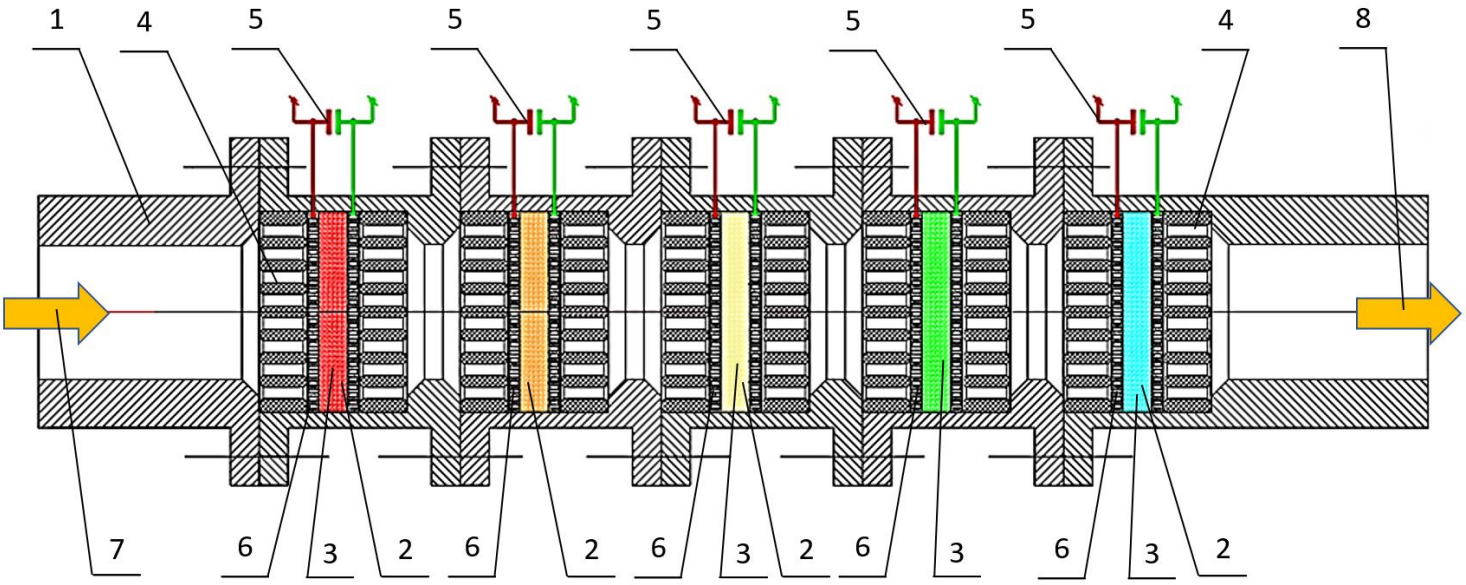


Рисунок 3.25 – Схема устройства ДАМП для определения влагосодержания в потоке авиатоплива, на основе измерений диэлектрической проницаемости поливинлформалевых перегородок; 1 – корпус; 2 – сепаратор; 3 – коагулятор; 4 – опорная сетка; 5 - эквивалентная схема ДЭФ, 6 - перфорированные металлические обкладки; 7-; 8-направление потока авиатоплива

При работе устройства каждая индикаторная ячейка - ДЭФ последовательно поглощает воду, и соответственно изменяет свою диэлектрическую проницаемость. Измерение диэлектрической проницаемости позволяет определить фактическое содержание воды в топливе на входе и выходе устройства [20].

Схемное решение для измерения влажности в диэлектрическом мониторе ДАМП.

В настоящее время существует большое количество схемных решений измерения импеданса, комплексной диэлектрической проницаемости (электроемкости и добротности), и угла диэлектрических потерь. В результате их изучения экспериментальных исследований, автором сделан обобщающий

вывод: для измерения изменения импеданса мех примесей целесообразно использование высокочастотных резонансных методов, а для определения степени обводненности целесообразно применение мостовых схем преобразователей электроемкости в напряжение.

На рисунке 3.26 представлена схема измерителя влажности.

Генератор прямоугольных импульсов, собранный на микросхеме D1, запускают ждущий мультивибратор на микросхеме D2. Длительность выходного сигнала мультивибратора пропорциональна емкости датчика влажности. На выходе 1 формируется широтно-импульсный сигнал, а на выходе 2 — сигнал постоянного напряжения. Преимущество схемы в том, что она проста и в то же время имеет цифровой и аналоговый выходы.

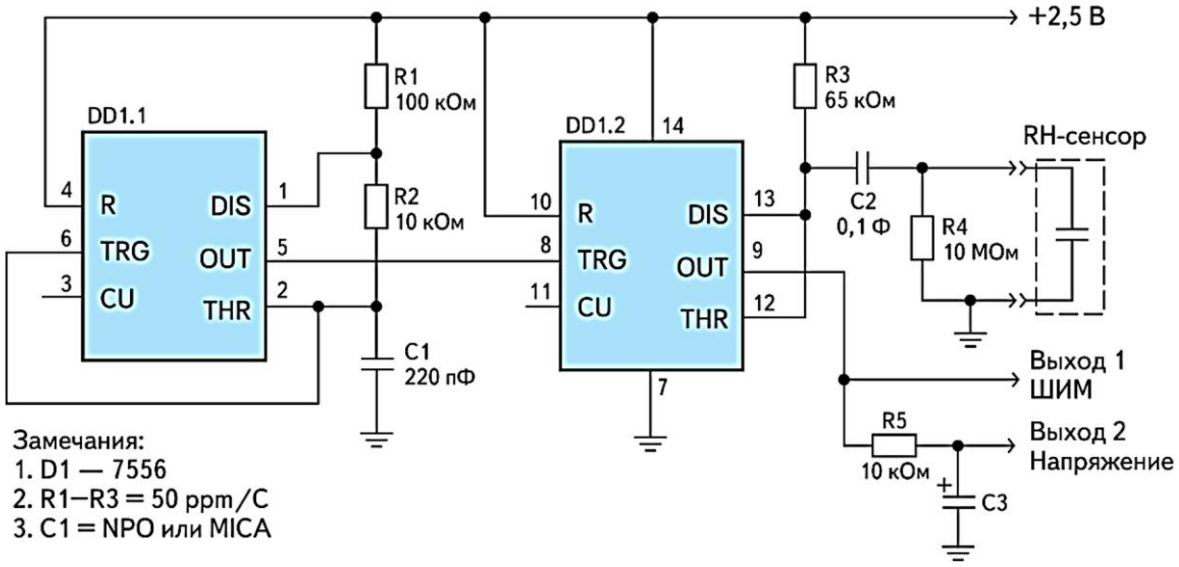


Рисунок 3.26 – Схема измерителя влажности авиатоплива

Существенный недостаток схемы- отсутствие коррекции при изменении температуры; и низкая точность измерений примерно 5…10 %. Принцип измерения температуры заключается в изменении температуры чувствительных элементов генератора в потоке авиатоплива, вызывающих пропорциональное изменение, частоты генератора, которое преобразуется в управляющий код.

Поскольку количество механических примесей и свободной воды в авиатопливе выражается через их массу (массу механических примесей и массу авиатоплива), это требует синхронного измерения массы механических примесей и

одновременного измерения значений мгновенного расхода авиатоплива, как функции градиента концентрации механических примесей и свободной (нерастворенной) воды в потоке авиатоплива**.** Для получения исходных данных о мгновенном расходе топлива могут быть использованы импульсные выходы штатных средств измерения коммерческого учета ТЗК, с известной ценой импульса (как объемные, так и массовые расходомеры, в т.ч. получившие в настоящее время массовые расходомеры кориолисовые). Возможно применение самостоятельного (отдельного) измерителя расхода авиатоплива, а также для измерения расхода может быть использован датчик числа оборотов объемного гидронасоса, с откалиброванной ценой импульса.

Таким образом, автором разработано устройство контроля фактического содержания свободной (эмульсионной) воды в авиатопливе для системы динамического (непрерывного) мониторинга потока авиатоплива.

Преимущество разработанного датчика - высокая чувствительность и разрешающая способность, дающая возможность определения и измерения количества, мицеллярной (мелкодисперсной) воды, которая не определяется визуально в потоке авиатоплива.

Устройство динамического контроля содержания воды может быть внедрено в систему динамического мониторинга чистоты авиатоплива в качестве самостоятельного модуля или в составе с диэлектрическими анализаторами механических примесей (ДАМП). Совместная работа этих систем в реальном масштабе времени (онлайн) дает полную и непрерывную картину оценки чистоты авиатоплива в системе авиатопливообеспечения ТЗК на всех этапах подготовки авиатоплива.

3.4 Обоснование и расчет размеров конструктивных элементов датчиков (сенсоров) мониторинга количества воды в потоке авиатоплива

Для исследования предлагается разработка устройства определения нерастворенной воды в АТ в динамических условиях с использованием измерений диэлектрических свойств поливинилформалевой фильтрующей ячейки. Представлена структурная схема, а также математическая модель измерения расхода и содержания нерастворенной воды в АТ, учитывающая особенности различных режимов течения жидкости и изменение температуры.

В ходе изучения источников научной и патентной информации выявлены технические решения, частично позволяющие контролировать качество топлив по виду воды Известен способ обнаружения эмульсионной воды в реактивном топливе с помощью прибора ПОЗ-Т, который основан на изменении цвета индикатора при пропускании через него пробы топлива. Индикаторный элемент имеет два слоя лент. Первый слой пропитан со стороны входа топлива солью трехвалентного железа и служит для определения в топливе механических примесей, второй - пропитан красной и желтой кровяными солями и служит для определения эмульсионной воды. Появление на втором слое индикатора более двух голубых пятен свидетельствует о наличии в реактивном топливе эмульсионной воды [143, 144, 145]. Недостатком этого способа является низкая точность определения (значительные расхождения при параллельных определениях) и возможность определения только эмульсионной воды (не более 0,003% масс), что не позволяет определить наличие мицеллярной воды в реактивном топливе**.**

Несмотря на все достоинства способа прототипа - доказано, что способ позволяет учитывать только максимально возможное содержание мицеллярной воды, определение которой не требуется, и поэтому основным недостатком этого способа является низкая точность и достоверность определения мицеллярной

воды (микроэмульсионной) при хранении и аэродромном контроле, что приводит к отказам авиатехники в условиях эксплуатации.

Определение уровня содержания свободной воды, в заправляемого авиатоплива производится визуально, и с помощью индикаторов ИКТ (инструментально), согласно регламентированных требований технологических процессов аэродромного контроля. Лабораторная оценка содержания воды в авиатопливе производится путем отбора проб по ГОСТ 2517-85 с анализом на титраторах по методу Карла Фишера, не целесообразна ввиду длительности исследования, и отсутствия актуальности результата на момент заправки ВС. Однако современные условия аэродромного контроля требуют динамических методов измерения содержания уровня свободной воды в авиатопливе. Это обуславливает необходимость разработки научно-методического аппарата и средств измерения количества нерастворенной воды в динамических условиях, принципы которых основаны на использовании электрофизических свойств авиатоплива. Исходя из анализа существующих средств измерения расхода жидкости, а также средств измерения электрофизических параметров жидких диэлектриков, автором предлагается динамический метод измерения количества содержания нерастворенной воды в потоке авиатоплива.

Разработанный автором метод динамического измерения уровня содержания свободной (эмульсионной) воды в потоке авиатоплива [75, 93] основан на одновременном измерении мгновенных значений массового расхода потока авиатоплива, его комплексной диэлектрической проницаемости и температуры.

Расход авиатоплива измеряется массовым расходомером Кориолиса (массомером). Импульсный выходной сигнал массомера представляет собой периодический прямоугольный сигнал. Передаваемой переменной могут быть выбраны значения массового и объемного расхода. При этом прохождение одного импульса будет соответствовать прохождению через расходомер объема или массы с заданной ценой. Максимально допустимое значение частоты на выходе – 12000 Гц. Текущая частота (Гц) на импульсном выходе, для расходомера равна:

$$f = \frac{Q}{(3{,}6 \cdot \xi_1 \cdot m)}, \quad (3.22)$$

Где, Q- текущее значение расхода (кг/ч или м^3/ч), m- цена импульса (г или л); ξ_1- коэффициент, учитывающий фазовые смещения кориолисового преобразователя массового расходомера.

Для плотности и температуры указывается значение передаваемой переменной, соответствующее максимальной частоте. Значение частоты на частотном выходе прямо пропорционально измеряемой переменной и описывается уравнением:

$$f = V_{ar} \cdot \frac{12000}{URV}, \quad (3.23)$$

где V_{ar}- текущее значение переменной, URV-значение измеряемой переменной соответствующее максимальной частоте. В этом режиме частота сигнала на выходе массомера в каждый момент времени пропорциональна текущему значению связанного с ним параметра.

$$f = f_{min} + k \cdot (V - V_{min}), \quad (3.24)$$

где $k = \frac{f_{max} - f_{min}}{V_{max} - V_{min}}$;

f_{max}- максимальная частота выходного сигнала;

f_{min}– минимальная частота выходного сигнала;

V_{ar}- текущее значение связанного параметра;

V_{max} – максимальное значение связанного параметра;

V_{min}- минимальное значение связанного параметра;

f - частота следования импульсов счетчика массового расходомера.

На основании сравнения, справочных значений относительной диэлектрической проницаемости обезвоженного авиатоплива, при температуре 20 °С, производится пересчет значения относительной диэлектрической проницаемости обезвоженного(сухого) авиатоплива, к значению диэлектрической проницаемости авиатоплива, содержащего свободную(эмульсионную) воду;

Диэлектрическая проницаемость авиатоплива ε_c -[65,73,79,112,178] будет равна:

$$\varepsilon_{C=}\frac{V_{\text{Н}}}{V_H+V_{\text{П}}}\cdot\varepsilon_{\text{н}}+\frac{V_{\text{П}}}{V_H+V_{\text{П}}}\cdot\varepsilon_{\text{п}}\,, \tag{3.25}$$

где $V_{\text{Н}}$ - объем обезвоженного авиатоплива;

$V_{\text{П}}$ - объем свободной (эмульсионной) воды в авиатопливе;

$\varepsilon_{\text{н}}$-относительная диэлектрическая проницаемость обезвоженного авиатоплива;

$\varepsilon_{\text{п}}$-относительная диэлектрическая проницаемость свободной (эмульсионной) воды.

Отсюда при нормальных условиях (температура 20 °C)

$$\eta\% = \frac{V_{\text{П}}}{V_{\text{Н}}} = \frac{\varepsilon_{\text{с}}-\varepsilon_{\text{н}}}{\varepsilon_{\text{п}}-\varepsilon_{\text{с}}}\,, \tag{3.26}$$

где $\eta\%$- содержание по объему включений примесей (не растворенной) воды.

На основании формулы Клаузиуса - Мосотти с учетом поправки Дебая [73,183] диэлектрическая проницаемость топлива $\varepsilon_{\text{н}}$, будет равна:

$$\varepsilon_{\text{нТ}} = \beta(t-20)+\varepsilon_{\text{н}}\,, \tag{3.27}$$

где β - коэффициент градиента температурного изменения диэлектрической проницаемости авиатоплива;

1/(°C) t - температура авиатоплива, °*C*.

Учитывая соотношения (3.24) и (3.26), математическая модель измерения расхода потока авиатоплива с учетом поправки на определение свободной(эмульсионной) воды может быть описана уравнением:

$$q_{\text{и}} = q_v(1-\ \eta\%) = q_v\left(1-\frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{Н}}}\right) = \frac{2\pi f}{\xi_1}\left(1-\frac{\varepsilon_c-\varepsilon_{\text{н}}}{\varepsilon_{\text{п}}-\varepsilon_{\text{с}}}\right), \tag{3.28}$$

А с учетом (3.27)

$$q_{\text{и}} = \frac{2\pi f}{\xi_1}\left(1-\frac{(\varepsilon_c-(\beta(t-20)+\varepsilon_{\text{н}}))}{\varepsilon_{\text{п}}-\varepsilon_{\text{с}}}\right), \tag{3.29}$$

где β - -коэффициент градиента температурного изменения диэлектрической проницаемости авиатоплива, определяемый по уравнению Клаузиуса - Мосотти,

1/(°C) t -температура авиатоплива, °C;

ε_c- диэлектрическая проницаемость авиатоплива;

$\varepsilon_н$-относительная диэлектрическая проницаемость обезвоженного авиатоплива;

$\varepsilon_п$-относительная диэлектрическая проницаемость свободной (эмульсионной) воды;

q_v - объемный расход авиатоплива.

Измерение диэлектрической проницаемости авиатоплива осуществляется первичным измерительным преобразованием электрической емкости в напряжение:

$$\varepsilon_c = f(U), \tag{3.30}$$

где U – напряжение первичного измерительного преобразователя.

Подставляя (3.30) в (3.29), получаем математическую модель измерения расхода потока авиатоплива с поправкой на содержание свободной (эмульсионной) воды:

$$q_и = \frac{2\pi f}{\xi_1}\left(1 - \frac{(f(U)-(\beta(t-20)+\varepsilon_н))}{\varepsilon_п - f(U)}\right), \tag{3.31}$$

Принцип действия устройства динамического измерения концентрации эмульсионной (нерастворенной) воды в потоке авиатоплива изображен на рисунке 3.27.

Массовый расходомер Кориолиса 2, преобразует результат динамического измерения массы потока авиатоплива в импульсный квадратурный сигнал (меандр), поступающий на цифровой вход №1 ПЛК.

Диэлькометрический фильтр-монитор 5, установлен в топливопроводе и его электрическая емкость, пропорциональна ε диэлектрической проницаемости авиатоплива и зависит от уровня содержания нерастворенной воды в авиатопливе. Измеренная электрическая емкость диэлькометрического фильтра-монитора конвертируется преобразователем 9 в напряжение, которое подается на аналоговый вход №1 ПЛК. Датчик температуры авиатоплива 4, подключен к цифровому входу № 2 ПЛК.

Для связи с сервером применяются стандартные интерфейсы: CAN- а до 1 км, или до 7 км - токовая петля, через стандартные конвертеры интерфейсов CAN-USB с использованием виртуального COM-порта [72, 73].

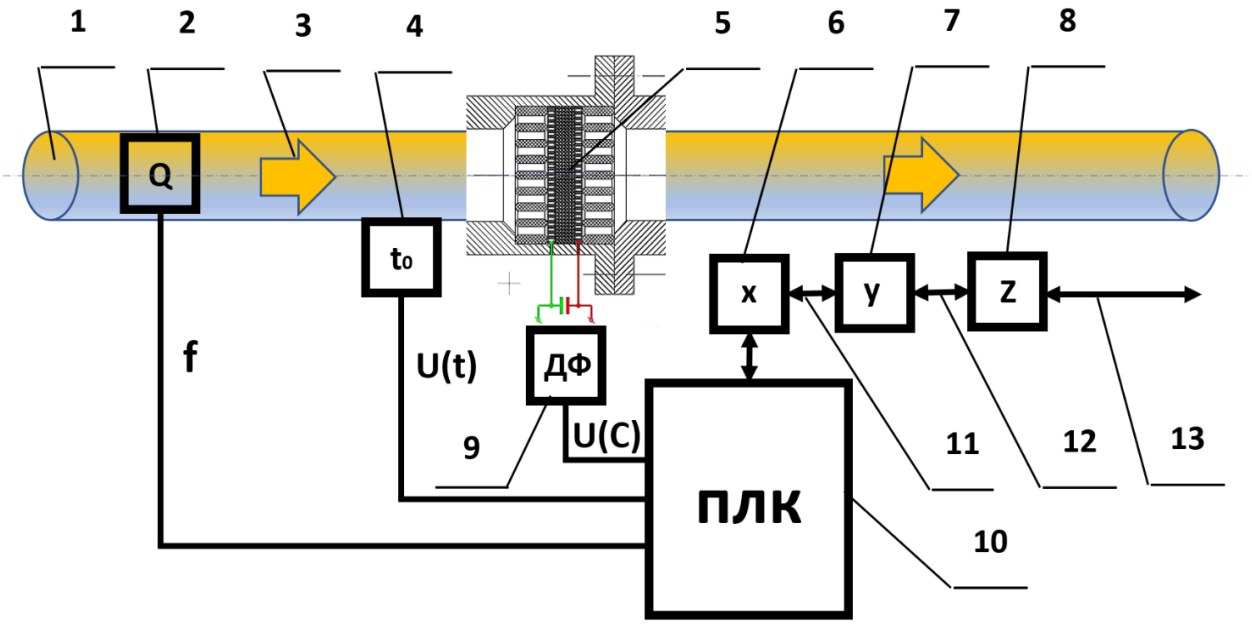


Рисунок 3.27 – Блок – схема устройства динамического измерения концентрации эмульсионной (нерастворенной) воды в потоке авиатоплива: 1 – трубопровод; 2 – массомер кориолисовый; 3 – поток авиатоплива; 4 – датчик температуры; 5- диэлькометрический фильтр-монитор; 6- конвертер интерфейсов ТТЛ- CAN; 7- конвертер интерфейсов CAN-USB; 8 – конвертер интерфейсов CAN-USB; 9- преобразователь «емкость -напряжение»; 10- программируемый логический контроллер; 11- линия связи с CAN-интерфейсом; 12- линия связи с USB-интерфейсом; 13- линия связи с USB-интерфейсом

Еще большие возможности дадут использование беспроводной связи LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) — с протоколом беспроводной связи, с низким энергопотреблением и большим радиусом действия. ПЛК по градуировочным таблицам, на основании измеренной диэлектрической проницаемости потока авиатоплива, программно вычисляет уровень содержания эмульсионной воды в авиатопливе.

На рисунке 3.28 изображена схема емкостного датчика для измерения уровня обводнения авиатоплива в динамических условиях на основе измерения диэлектрической проницаемости пористой поливинилформалевой перегородки в потоке контролируемого авиатоплива.

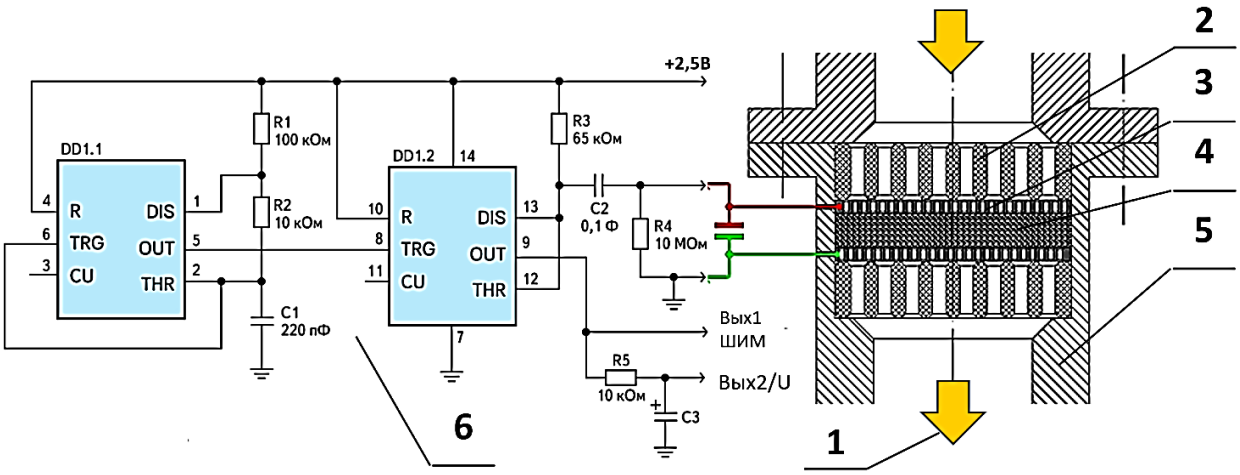


Рисунок 3.28– Схема емкостного датчика для измерения уровня обводнения авиатоплива в динамических условиях: 1-поток авиатоплива; 2- опорный каркас; 3-перфорипрванная металлическая обкладка; 4-пористый поливинилформаль; 5-корпус ДФ диэлькометрического фильтроэлемента; 6-типовая схема преобразователя влажности в напряжение или ШИМ-сигнал

Диэлькометрический фильтр-монитор 5, состоит из слоя пористого поливинилформаля 4, расположенного между перфорированными электродами обкладками 3, образующими конденсатор, подключенный схеме преобразователя влажности в напряжение.

Это обеспечивает измерение емкости. При этом емкость датчика определяется относительной диэлектрической проницаемостью топлива в трубопроводе. Опорный каркас препятствует деформации электродов, сохраняя неизменной величину зазора, обеспечивает его стабильные характеристики при изменении параметров потока авиатоплива (расход, давление, температура).

Преобразователь емкости датчика в напряжение представлен на рисунке 3.29. Эквипотенциальное экранирование центрального электрода 2 осуществляется «охранным» электродом 3.

Для калибровки устройства динамического измерения концентрации эмульсионной (нерастворенной) воды в потоке авиатоплива, в ПЛК загружаются данные значений напряжения датчика, соответствующие содержанию свободной воды в авиатопливе для различных концентраций (в пределах от 0 до 40 г/тн с шагом 1г/тн). Коэффициент поправки температуры подбирается экспериментально.

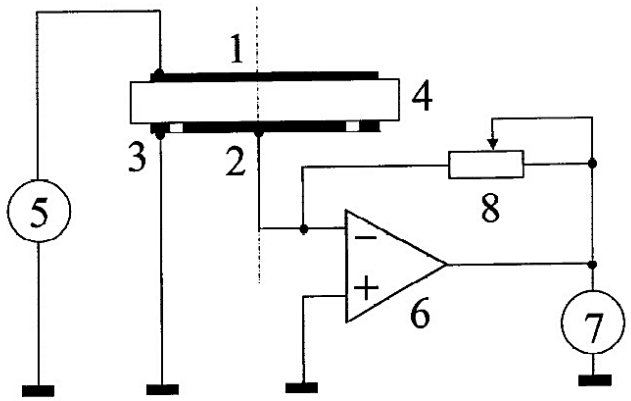


Рисунок 3.29 – Схема преобразователя емкости в напряжение, для опроса емкостных датчиков : 1-электрод; 2-электрод; 3- «охранный» электрод; ; 4-диэлектрик; 5- генератор резонансной частоты ; 6- операционный усилитель; 7-вольтметр; 8-потенциометр

На рисунке 3.30 представлен экспериментальный образец устройства, прототип емкостного датчика, для динамических измерений массы свободной (нерастворенной) воды в потоке авиатоплива. С целью непрерывного (динамического) мониторинга обводненности авиатоплива, устройство может быть применено на всех этапах технологического процесса подготовки авиатоплива к заправке ВС, в том числе и на мобильных средствах заправки ВС, аэродромных топливозаправщиках (ТЗА).

Таким образом, полученная математическая модель, составляет основу разработанного автором динамического метода прямых измерений уровня содержания свободной (нерастворенной) воды в потоке авиатоплива, при различных температурах и расходах контролируемого авиатоплива.

Аналитические коэффициенты, полученные при математическом моделировании кориолисового расходомера в интеграции с емкостным датчиком определения в топливе нерастворенной воды, а также адекватность полученных результатов необходимо определить в ходе планирования и проведения эксперимента на лабораторном стенде с использованием экспериментального прототипа устройства для динамического определения количества авиатоплива и содержащейся в нем свободной (нерастворенной) воды.

Авторм предложены варианты возможной интеграции предлагаемого устройства в технологическую схему ТЗК, которая показана в приложении А на рисунке А.2.

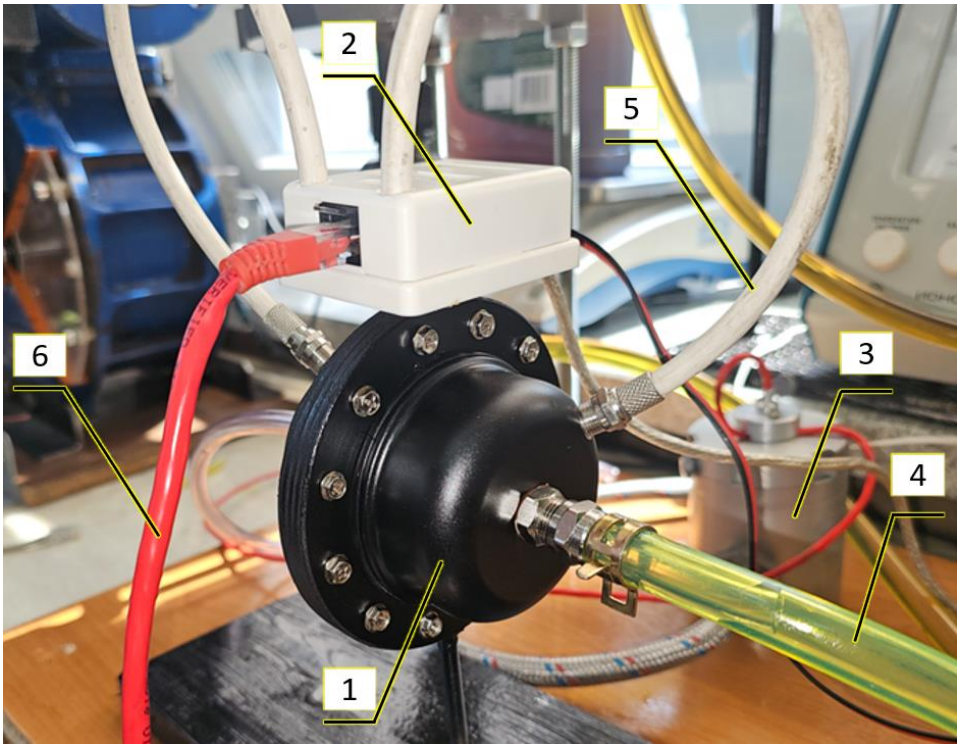


Рисунок 3.30 – Прототип устройства динамического измерения уровня содержания свободной(эмульсионной) воды в потоке авиатоплива: 1-диэлькометрический фильтр-монитор; 2-первичный измерительный преобразователь; 3-расходомер авиатоплива; 4-топливопровод; 5-коаксиальный кабель 50 Ом; 6- кабель витая пара (сетевой кабель) UTP

Внедрение информационно-управляющей системы динамического мониторинга кондиционности авиатоплива [72] в технологическую схему ТЗК предоставляет возможность в онлайн режиме иметь объективные данные о

кондиционности авиатоплива на всех этапах авиатопливообеспечения ВС, что дает возможность корректировать настройки параметров технологических процессов с целью достижения оптимального состояния работы данных процессов.

Таким образом, разработанная в работе система динамического мониторинга кондиционности авиатоплива позволяет производить непрерывное измерение уровня содержания нерастворенной (эмульсионной) воды потоке авиатоплива во всем его объеме, в отличии от существующих дискретных и точечных методов отбора проб, не в полной мере гарантирующих кондиционность заправляемого авиатоплива [72].

Внедрение разработанной информационной системы в ТЗК позволяет, в зависимости от уровня исходной обводненности авиатоплива, автоматически выбирать наиболее рациональные режимы работы технологического оборудования технологического и процессов подготовки авиатоплива (сочетание времени отстаивания, обеспечения тонкости и ступенчатости фильтрации авиатоплива) [72]. Это позволяет оптимизировать технологические процессы и рационально использовать технологическое оборудование, что в результате способствует повышению экономической эффективности ТЗК.

Применение информационно управляющих систем в интеграции с измерительными преобразователями непрерывного мониторинга уровня содержания механических примесей и обводненности авиатоплива, в сочетании с функциями диспетчеризации и журналирования, обеспечит параметрическую регистрацию данных параметров(показателей) контроля уровня качества авиатоплива (аналог «черного ящика» на ВС). Такая информация может быть использована при расследовании инцидентов и происшествий, а также при решении возникающих коммерческих споров, при чем за любой промежуток времени деятельности организации авиатопливообеспечения [72].

Программное обеспечение ИИУС мониторинга качества авиатоплива имеет дружественный интерфейс, и возможности ее бесшовной интеграции в платформу АСУ ТП ТЗК [72].

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 наиболее актуальна и эффективна при применении в условиях ТЗК с большим расходом авиатоплива и высокой степенью автоматизации [72].

Внедрение автоматизированной системы контроля обводнения авиатоплива, обеспечит повышение уровня 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 [21, 22, 72].

Выводы по главе 3

1. Разработаны схемы устройства измерения показателей чистоты авиатоплива: диэлькометрического преобразователя и диэлектрического фильтра монитора, выполнены расчеты их параметров, в том числе и расчеты элементов электронных схем измерительного устройства (измерителя-преобразователя), а также разработан гидравлический стенд для исследований характеристик прототипа устройства (измерителя-преобразователя) средства измерения показателей уровня чистоты авиатоплива.

2. Установлено, что диэлектрическая проницаемость авиатоплива не зависит от концентрации молекул диэлектрика и поляризуемости каждой молекулы, а зависит от природы диэлектрика, температуры и от частоты приложенного напряжения, а максимум диэлектрической проницаемости порядка 18,3 W достигается в интервале 2…20 г/м3.

3. Установлена взаимосвязь диэлектрических свойств мехпримесей в пористой перегородке фильтроэлемента с плотностью (природой) и концентрацией этих механических примесей в смеси исследуемого авиатоплива.

4. Впервые разработано устройство: диэлектрический преобразователь для динамического измерения гранулометрических и гравиметрических показателей уровня чистоты авиатоплива, на основе измерения комплексной диэлектрической проницаемости механических примесей в потоке авиатоплива, позволяющий измерять концентрацию и плотность механических примесей в потоке топлива с точностью до 0,5%.

5. Теоретически обоснован и проведен расчет конструкции микроволнового (СВЧ) датчика (сенсора) для измерения уровня влагосодержания и концентрации (плотности) механических примесей в авиационном керосине по градиенту изменения его комплексной диэлектрической проницаемости, а также на основании этих расчетов разработано устройство и метод динамического измерения количества

содержания свободной (нерастворенной (эмульсионной) воды в потоке авиатоплива по градиенту изменения его комплексной диэлектрической проницаемости.

6. Впервые разработаны методы динамического мониторинга параметров качества авиатоплива в режиме реального масштаба времени, а также измерения гравиметрических и гранулометрических показателей уровня чистоты потока авиатоплива, уровня содержания мехпримесей в потоке авиатоплива, характеризующийся относительной погрешностью определения содержания мехпримесей не более 4,6 %, что позволит повысить точность и достоверность контроля чистоты авиатоплива при заправке ВС по сравнению с существующими, современными классическими методами, что может составить основу создания быстрых экспресс методов аэродромного контроля чистоты авиатоплива.

7. Разработана адаптивная измерительная информационно-управляющая система (ИИУС) мониторинга чистоты авиатоплива на основе прямых динамических средств измерений, позволяющая в онлайн режиме иметь объективные данные о кондиционности авиатоплива на всех этапах авиатопливообеспечения ВС, контроля состояния и работоспособности оборудования авиатопливообеспечения, выбор технологических режимов и продолжительности подготовки авиатоплива (фильтрации и седиментации), а также на их основе, в автоматическом режиме блокировать (останавливать) технологические процессы в случае наступления критических отклонений параметров качества авиатоплива , и принимать решение о пригодности авиатоплива к заправке ВС.

8. Предложенная в работе система формирования базы данных о природе естественных загрязнителей, на основе исторических данных, и онлайн мониторинга оценки чистоты, в интеграционном взаимодействии с лабораторной информационно-управляющей системой [166], составляет основу перехода к новой методологии контроля и управления качеством ТЗК, что позволит реализацию прогностического подхода к управлению безопасностью полетов и способствующей непрерывному ее повышению.

9. Применение предложенных в работе интеллектуальных средств измерений в составе систем диспетчерского управления и сбора данных (SCADA) позволяют осуществлять проектирование аппаратно-программного комплекса измерительных информационно управляющих систем ИИУС систем непрерывного мониторинга кондиционности, и контроля уровня качества авиатоплива в режиме реального масштаба времени, с целью формирования и принятия управленческих решений о пригодности авиатоплива к заправке ВС.

Глава 4 Разработка системы дозирования противоводокристаллизационной жидкости в авиатопливо при заправке воздушных судов

4.1 Конструкторско-технологические решения устройств дозирования противоводокристаллизационной жидкости, применяемых в составе оборудования средств заправки воздушных судов на объектах организаций авиатопливообеспечения

Охлаждение авиатоплива во время выполнения полета ВС, неизбежно сопровождается образованием свободной воды, которая при низких температурах образует кристаллы льда, приводит к обледенению деталей и оборудования топливной системы ВС топливной аппаратуры, ухудшает или блокирует подачу авиатоплива к двигателям ВС, что приводит к случаям летных происшествий и аварий (см. глава 1).

Во избежание кристаллообразования свободной воды в полете ВС, в авиатопливо в процессе заправки ВС добавляют присадку, противоводокристаллизационную жидкость (ПВКЖ) - «И» (ГОСТ 8313–88), – представляющую собой однокомпонентный спирт этилцеллозольв — ($C_2H_5OCH_2CH_2OH$), или жидкость «И-М» (ОСТ 54–3–175–73–99) смесь - 50 % этилцеллозольва и 50 % метанола (CH_3OH) в объемной концентрации 0,1+0,05%; 0,2$\pm$0,02%; 0,3$\pm$0,03% к объему авиатоплива, согласно условий полета и предписаний РЛЭ ВС.

Добавление ПВКЖ в авиатопливо осуществляется:

- в процессе заправки ВС, дозаторами ПВКЖ подвижных средств заправки АТЗ, сервисёров ЦЗС или перронного пункта налива (ППН) в поток авиатоплива, после фильтров водоотделителей;

- в процессе подготовки авиатоплива к выдаче на заправку– на складе ГСМ во время наполнения расходного резервуара, склада ГСМ при помощи дозирующих устройств.

Основные параметры и характеристики устройств дозирования ПВКЖ в авиатопливо представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Основные параметры и характеристики устройств дозирования ПВКЖ в авиатоплива

№	Основные характеристики	Значение характеристики
1	Рабочая среда	Авиатопливо: - ТС-1; РТ - Джет А-1 (JET A-1) ГОСТ 10227-86, ГОСТ 12308-80, ГОСТ Р 52050
2	ПВКЖ: - «И» - «И-М»	ГОСТ 8313-76 ОСТ 54-3-175-73-99
3	Допустимое содержание ПВКЖ в рабочей среде, % (объем) - в режиме 1‰ - в режиме 2‰ - в режиме 3‰	0,1 + 0.05; 0,2 ± 0.02; 0,3 ± 0.03
4	Расход рабочей среды, л / мин. (м³ / ч) - min - max	80 (4,8) 3000 (180,0)
5	Рабочее давление рабочей среды в счетчике лопастного типа МКА, МПа	не более 2,0

Дозирование ПВКЖ в авиатопливо производится системами дозирования ПВКЖ в авиатопливо, входящими в конструкцию передвижных средств заправки ТЗА и систем централизованной заправки ВС, а также ППН [175, 192, 193, 194].

Принцип работы дозатора заключается в измерении расхода потока авиатоплива и синхронизированный, ввод в этот поток заданной пропорции ПВКЖ (0,1; 0,2 и 0,3%) [175, 192, 193, 194].

Способы добавления ПВКЖ в поток авиатоплива должны обеспечивать:

- равномерность распределения ПВКЖ по всему объему авиатоплива;
- точность %-концентрации дозирования в пределах 0,1+0,05%; 0,2±0,02% и 0,3±0,03% к объему авиатоплива.

Добавление ПВКЖ производится в поток авиатоплива, после фильтра-водоотделителя средства заправки ВС - ТЗА или диспенсера системы ЦЗС, производят с применением серийно выпускаемых промышленностью систем дозирования [214, 215]:

- дозатор 86-3-02к производства Ивано-Франковского приборостроительного завода;
- дозаторы 8Д2 966 993 и 8Д2.966.995 Минавиапрома;
- установка счетно-дозирующая УСМТ-1 производства Бакинского завода "Нефтехимприбор"[214, 215];
- дозирующие устройства введения ПВКЖ: УВП-100 и ДВП-100;
- дозирующие системы DKP 2,7 Alfons Haar Maschinenbau, в составе объемных счетчиков-расходомеров МКА 800, 2290, 3350 производства Alfons Haar Maschinenbau GmbH & Co;
- дозатор в составе установки УЗС-7Б;
- дозатор в составе агрегата фильтрации топлив АФТ-30;

Допустимо применение [214, 215] устройств дозированного ввода ПВКЖ в авиатопливо непромышленного производства, при соблюдении требований нормативно-технических требований к оборудованию авиатопливообеспечения (АТО): равномерность распределения ПВКЖ по всему объему авиатоплива, а также точность дозирования в установленных пределах.

Современные разработки систем дозирования ПВКЖ в авиатопливо, с применением инновационных решений, в составе автоматизированных систем

измерения и массовых расходомеров Кориолиса представлены следующими системами:

– Emerson Process Management и Промышленная группа «Метран»;

– Система измерительная «Автоматизированный модуль дозирования присадки» (СИ АМДП). ЗАО НПО «Авиатехнология».

В целях анализа уровня технического состояния систем дозирования ПВКЖ [214, 215] в авиатопливо, а также соответствия современным требованиям НТД отрасли организаций авиатопливообеспечения ОАТО, рассмотрим достоинства и недостатки дозирующих систем, применяемых в современных технологических процессах авиатопливоообеспечения ВС ГА и средствах заправки ВС ТЗК.

Дозатор 86-3-02к - предназначен для добавления ПВКЖ, в поток перекачиваемого по топливопроводу авиатоплива. Принцип действия дозатора заключается в измерении объема авиатоплива счетчиком гидромотора-измерителя, приводящего насос-дозатор ПВКЖ [214, 215] его схема представлена на рисунке 4.1.

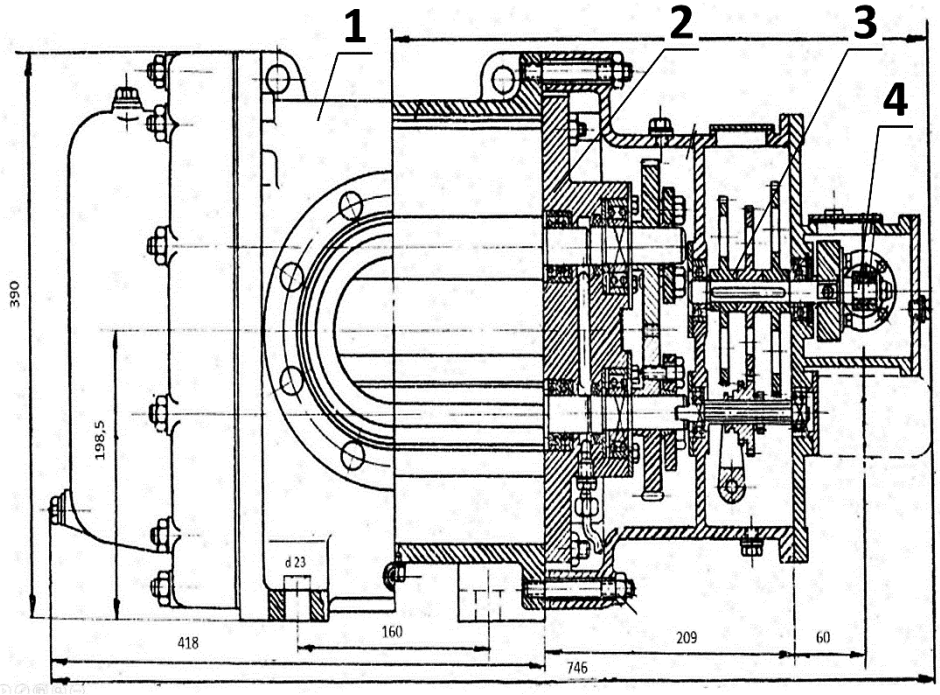


Рисунок 4.1 – Схема дозатора 86-3-02к: 1 – дозатор; 2 – счетчик - расходомер авиатоплива; 3-редуктор коробки переключения передач; 4 – насос-дозатор ПВКЖ

Дозатор устанавливается на подвижных средствах заправки АТЗ и перронных пунктах налива ППН и состоит из счетчика-расходомера, редуктора коробки переключения передач, объемного насоса- дозатора ПВКЖ. Расходомер-счетчик, представляющий собой объемный счетчик ротационного типа, число оборотов которого, пропорционально количеству прокачанного через него авиатоплива, которое, под действием давления топлива, приводит во вращение насос-дозатор.

Изменение передаточного отношения между валами расходомера-счетчика и насоса-дозатора производится переключением передач редуктора, и имеет три положения, соответствующие дозировке ПВКЖ: 0,1+0,05%; 0,2±0,02%; 0,3±0,03%.

Монтажная схема установки дозатора 86-3-02к представлена на рисунке 4.2. Установки счетные топливные УСМТ-1 с учетом показаний на месте и УСДТ-1 с отсчетом показаний дистанционно, предназначены для измерения мгновенного и суммарного объема авиатоплива и синхронизированного пропорционального смешивания [214, 215] с ПВКЖ в задаваемых соотношениях.

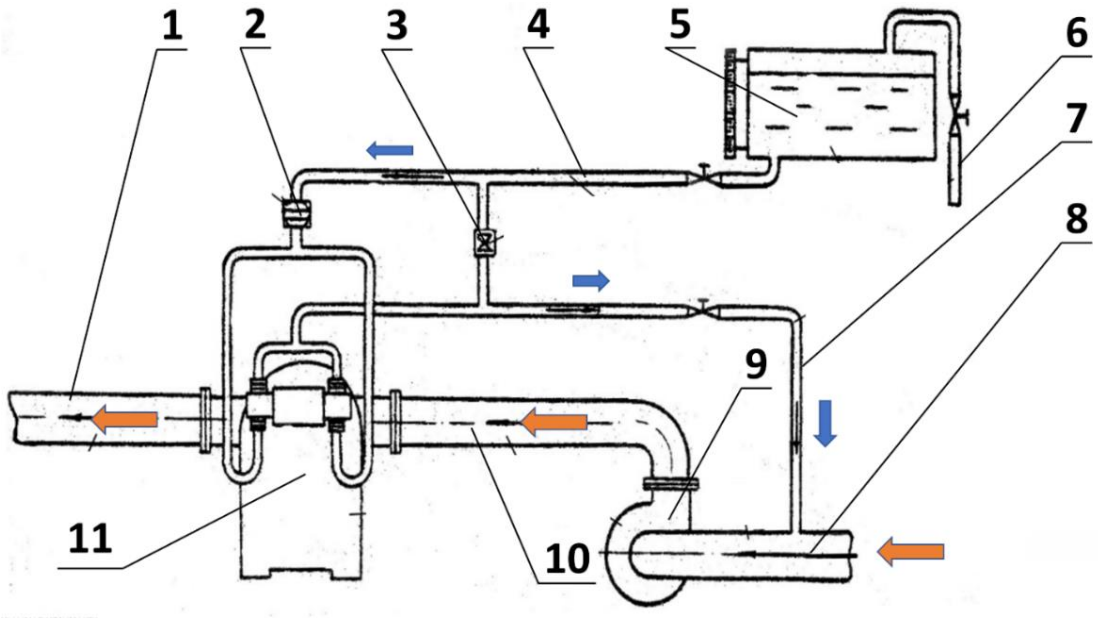


Рисунок 4.2 – Монтажная схема установки дозатора 86-3-02к : 1 - авиатопливная линия напорного трубопровода; 2 - фильтр; 3 - перепускной клапан; 4 - всасывающая линия ПВКЖ; 5 - бак жидкости ПВКЖ; 6 - линия наполнения ПВКЖ; 7 - линия нагнетания ПВКЖ; 8 - линия всасывающая

авиатоплива; 9 - авиатопливный насос; 10 - линия авиатопливная; 11 - дозатор ПВКЖ

УСМТ состоит из измерительного блока и блока смешивания, измеритель объема [214, 215] - счетчик ЛЖ-10 0-1,0 и шестеренный насос-смеситель); информационного блока, состоящий из счетного указателя, переключателя дозировки ПВКЖ, индикатора ПВКЖ, колена и стабилизатора.

Принцип действия заключается в следующем. Поток авиатоплива, приводит во вращение лопасти барабана. Измерение объема авиатоплива осуществляется за счет последовательного отсекания известных объемов, заключенных между лопастями, и цилиндрическими поверхностями измерительной камеры барабана. За один оборот ротора проходит 4 объема, равных рабочему объему измерительной камеры, суммируемой счетным устройством.

Насос дозатор, состоит из шестереннчатого насоса, приводного вала соединённого со счетчиком через зубчатую передачу. Ввиду изменения расхода авиатоплива изменяется скорость вращения счетчика что приводит к синхронному изменению оборотов насоса-дозатора [214, 215], это обеспечивает пропорциональное введение ПВКЖ в авиатопливо, на любых режимах производительности заправляемого потока авиатоплива.

Выбор и задание необходимого процентного содержания ПВКЖ 0; 0,1+0,05%; 0,2+0,02%; 0,3+0,03% производится переключателем. Контроль работоспособности дозатора осуществляется визуально по Индикатору движения потока ПВКЖ. Стабилизатор выполняет функцию демпфирования перепадов давления и гидроударов, исключая их влияние на точность дозирования ПВКЖ [214, 215].

На рисунке 4.3 представлен общий вид счетно-дозирующих устройств УСМТ-1 и УИАТ-1. Технологическая схема добавления ПВКЖ в авиатопливо с помощью счетно-дозирующих установок УСМТ-1 и УИАТ-1 [214, 215] приведена на рисунке 4.4.

За время эксплуатации счетно-дозирующих установок УСМТ-1 выявлены следующие недостатки конструкции шестеренного насоса-дозатора [214, 215]: применение подшипников скольжения, существенно снижающие срок, а также

трудность притирки внутренней поверхности корпуса насоса, подверженной интенсивному износу в месте контакта при вращении шестерен [193].

Устройство ввода ПВКЖ в авиатопливо УВП-100, показано на рисунке 4.5 и предназначено для синхронизированного пропорционального добавления ПВКЖ в авиатопливо в концентрациях, соответствующих дозировке ПВКЖ: 0,1+0,05%; 0,2±0,02%; 0,3±0,03%, и их равномерного смешивания по всему объему заправляемого авиатоплива при использовании на передвижных заправочных средствах АТЗ, а также перронных пунктах налива ППН.

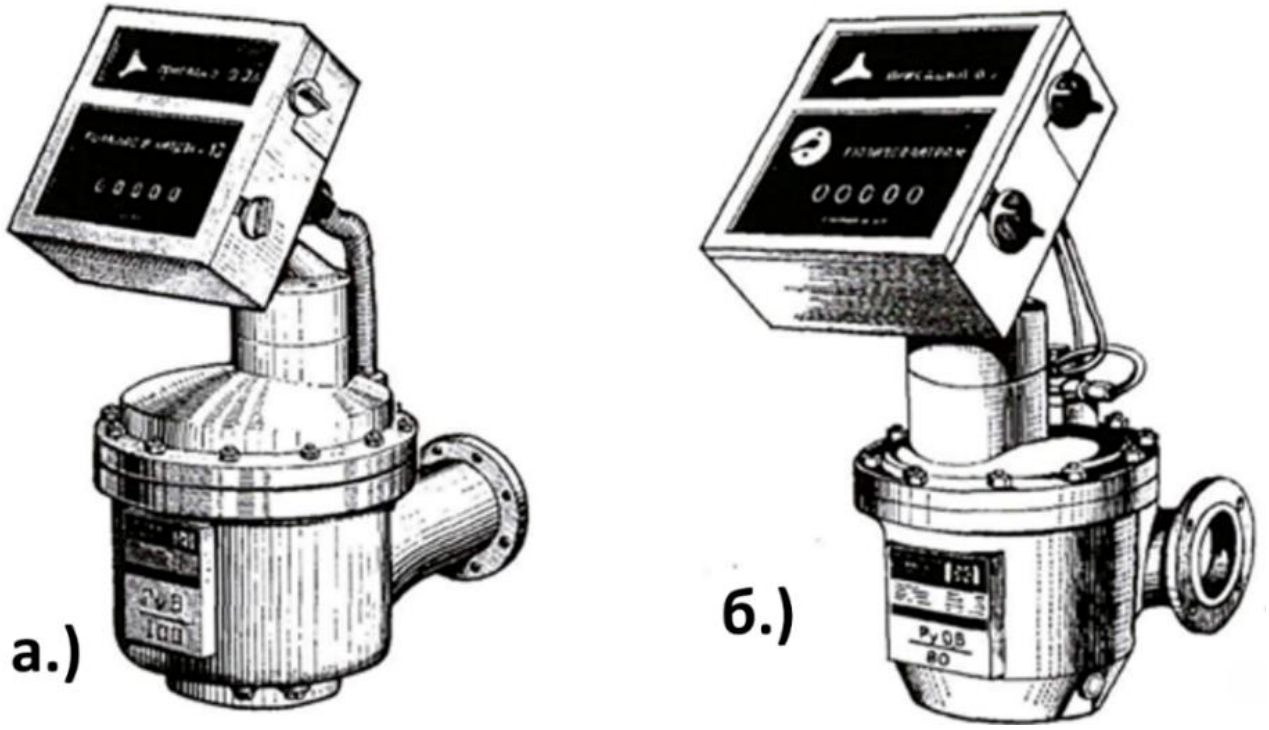


Рисунок 4.3 – Общий вид счетно-дозирующих устройств: а.) УСМТ-1; и б.) УИАТ-1

Устройство состоит из гидродвигателя - 1, на базе винтового счетчика ВЖУ-100, объемного насоса [214, 215] - 4, типа НП-43М, циферблата - 5, переключателя выбора дозировки - 6 и индикатора - 7, движения ПВКЖ в поток авиатоплива.

Принцип работы дозатора: поток авиатоплива, воздействуя на винтовые поверхности счетчика, приводит винты счётчика во вращение, объем ПВКЖ,

прокачанный насосом- дозатором, пропорционален числу оборотов винтовой пары счетчика авиатоплива, коэффициент передаточного отношения редуктора, выбран из расчета выбранной дозы ПВКЖ, добавляемой в авиатопливо при заправке ВС.

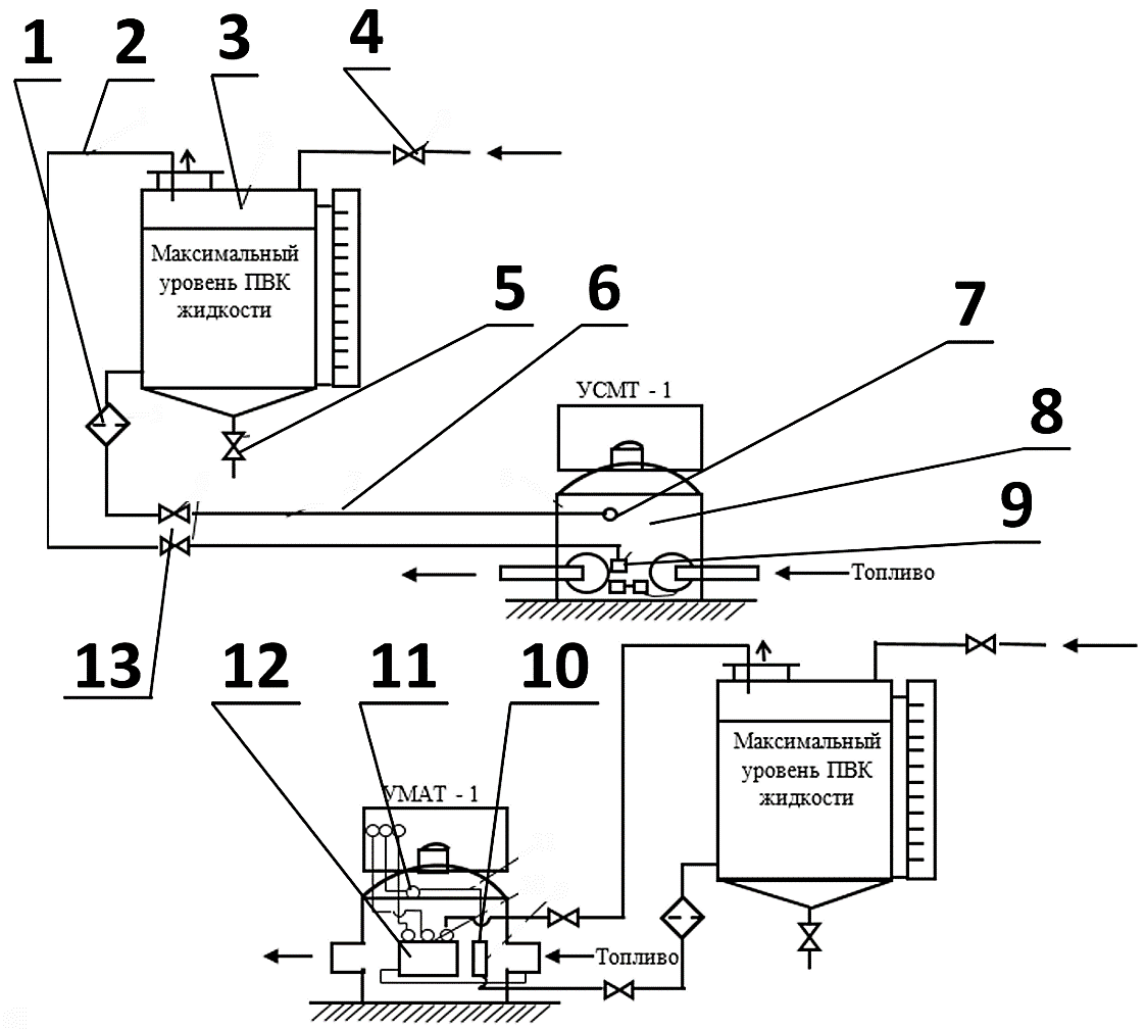


Рисунок 4.4 –Схема пропорционального введения ПВКЖ в авиатопливо [215] с применением счетно-дозирующих установок УСМТ-1 и УИАТ-1: 1— фильтр ПВКЖ; 2 — линия сброса ПВКЖ; 3 — контрольный бак ПВКЖ; 4 — линия подачи ПВКЖ; 5 — кран для слива; 6 — всасывающая линия; 7 — счётно – дозирующая установка; 8 — штуцер всасывающей линии к счетно-дозирующей установке; 9 — штуцер линии сброса ПВКЖ из счетно-дозирующей установки; 10 — штуцер сброса ПВКЖ из счетно-дозирующей установки; 11 - штуцер всасывающей линии ПВКЖ к счетно-дозирующей установке: 12 -– шестеренный насос [215];13 - вентили

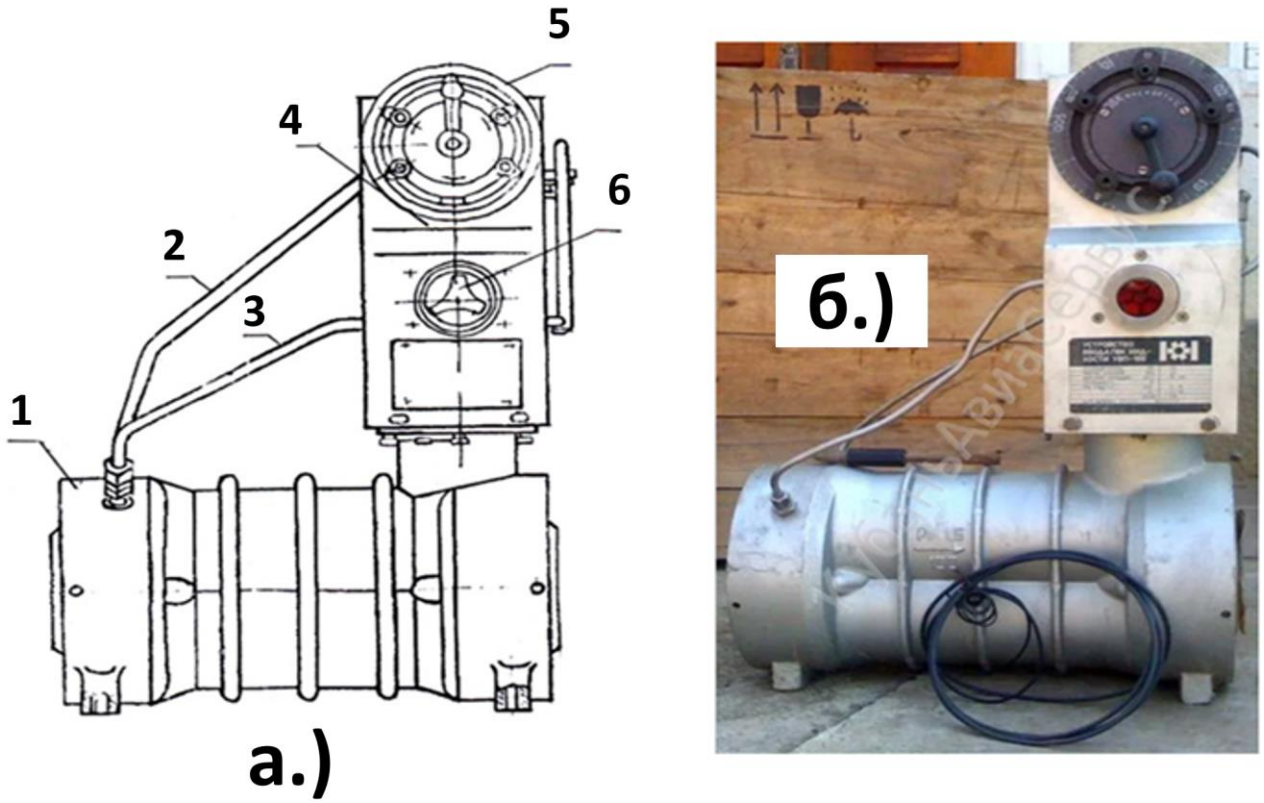


Рисунок 4.5 – Устройство ввода ПВКЖ УВП-100: а) схема; б) общий вид; 1 - гидродвигатель; 2, 3 - гидролинии ПВКЖ; 4 - объемный насос – дозатор НП-43М-1; 5 - циферблат, 6 - переключатель выбора дозировки, 7 - индикатор движения потока ПВКЖ

Дозатор ПВКЖ DKP 2,7 фирмы Alfons Haar, в составе счетно-дозирующей системы МКА 800, 2290, 3350 производства Alfons Haar Maschinenbau GmbH & Co в Гамбурге (Германия) [194]. Насос-дозатор представляет собой поршневой насос, самостоятельное изделие, изготовленное из нержавеющей, стали, коленчатый вал установлен на шариковых подшипниках, управление выбором дозы осуществляется переключателем на лицевой стороне счетчика. Для контроля работоспособности насоса-дозатора применен индикатор потока ИП-2.

Схема счетно-дозирующей системы DKP МКА 800 Alfons Haar Maschinenbau GmbH & Co представлена на рисунке 4.6, а внешний вид счетно-дозирующей системы на рис 4.7 и поршневого насоса- дозатора на рисунке 4.8.

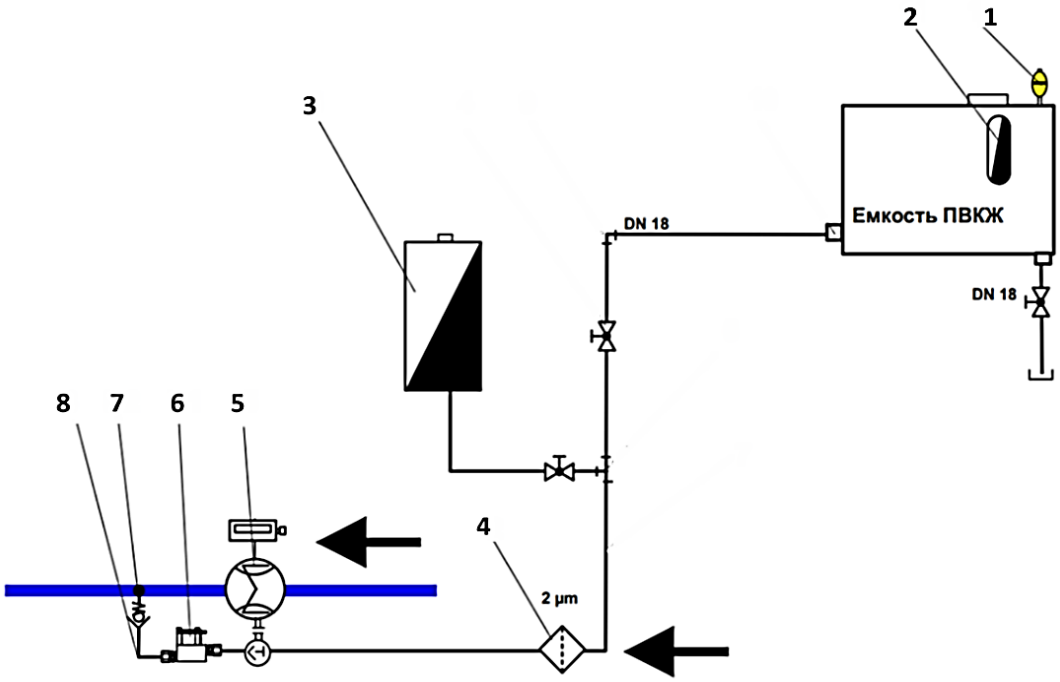


Рисунок 4.6 – Схема счетно-дозирующей системы DKP МКА 2290 Alfons Haar Maschinenbau GmbH & Co: 1 - дыхательный клапан; 2 - смотровое стекло 3 -калибровочная емкость дозатора ПВКЖ; 4 - фильтр 2 мкм; 5 - счетчик МКА 800; 6 - указатель циркуляции; 7 - Обратный клапан; 8 -линия ПВКЖ

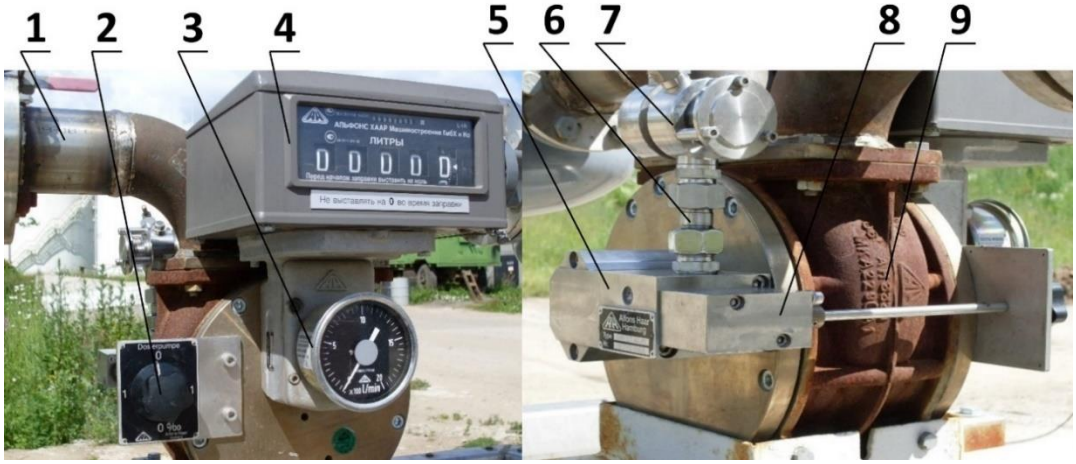


Рисунок 4.7 – Внешний вид дозатора системы DKP Alfons Haar Maschinenbau GmbH & Co: 1 - гидролиния авиатоплива; 2 – переключатель выбора дозы; 3 - измеритель расхода авиатоплива; 4 – информационное табло и счетный механизм; 5 - корпус насоса-дозатора DKP 2,7; 6 - гидролиния ПВКЖ; 7 -индикатор потока ИП-2; 8 - эксцентриковый механизм переключения дозы; 9 – корпус счетчика МКА 2290 дозатора; режимы ввода ПВКЖ в топливо – 0; 0,1+0,05%

Введение ПВКЖ производится насосом-дозатором в измерительную полость расходомера. Выбор пропорции дозы ПВКЖ осуществляется эксцентриковым переключателем.

Общий вид и разрез дозирующего поршневого насоса дозатора DKP 2,7 - Alfons Haar Maschinenbau GmbH & Co% представлен на рисунке 4.8.

Варианты монтажа счетно-дозирующей системы DKP Alfons Haar, в составе оборудования авиатопливообеспечения, представлены на рисунке 4.9.

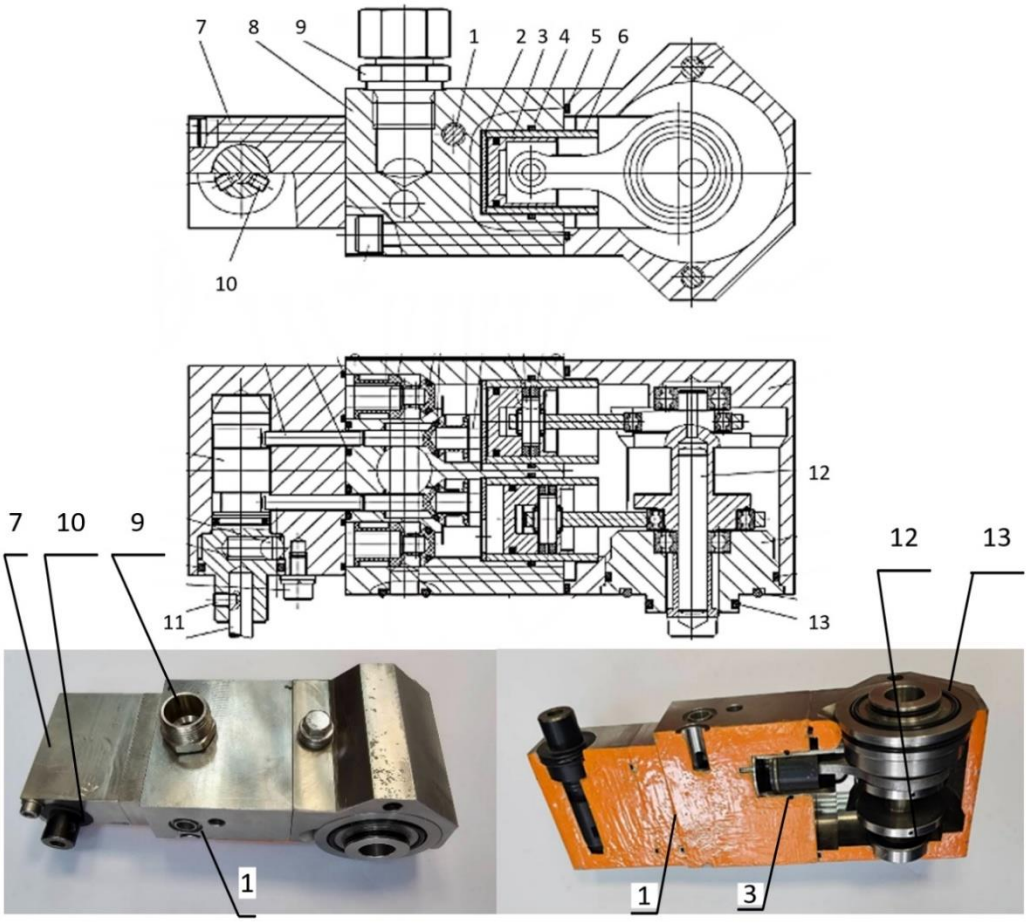
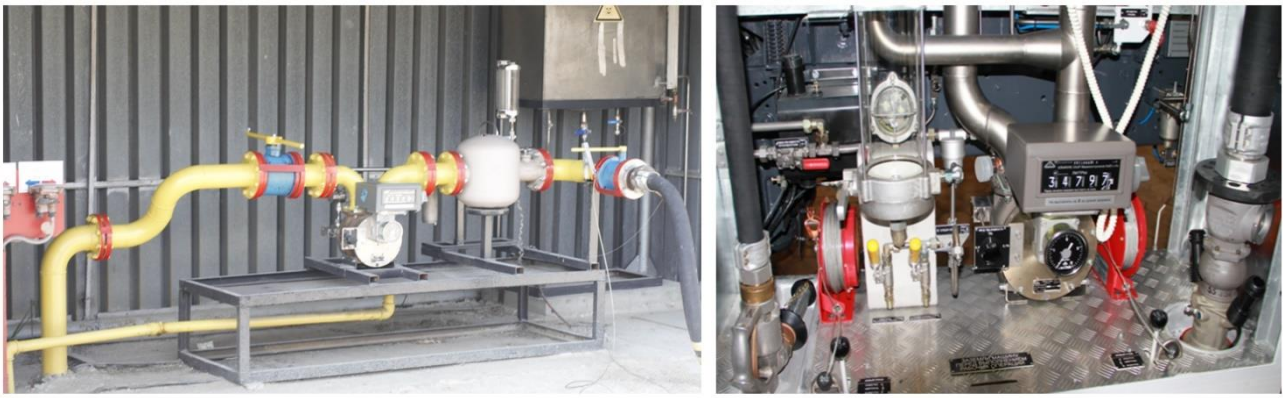


Рисунок 4.8 – Общий вид и разрез дозирующего поршневого насоса дозатора DKP Alfons Haar Maschinenbau GmbH & Co%: 1 - порт линии нагнетания ПВКЖ; 2 – гильза цилиндра насоса; 3 - поршень; 4 - корпус цилиндра; 5 - прокладка; 6 -картер насоса; 7 - корпус селектора выбора дозы; 8 - корпус насоса; 9 - штуцер линии всасывания; 10 - механизм переключателя выбора дозы; 11 - ось переключателя; 12 - коленчатый вал привода насоса; 13 -уплотнитель

Таким образом, анализ существующих дозаторов (дозирующих систем) показал, что их работа основана на принципе объемного дозирования – синхронного введения (добавления) ПВКЖ в поток перекачиваемого или заправляемого авиатоплива, а принцип действия рассмотренных дозаторов основан на жесткой механической связи приводных валов объемных гидромашин: гидромотора-счетчика и гидронасоса-дозатора (через редуктор, делитель числа оборотов) (рисунок 4.10).



а) б)

Рисунок 4.9 – Счетно-дозирующая система DKP Alfons Haar, установленная: а) на перронном пункте налива (ППН); б) в техническом отсеке на топливозаправщике аэродромном (ТЗА)

Гидродвигатель — это гидромашина, преобразующая энергию потока жидкости в механическую работу. Иными словами, гидродвигатель использует энергию потока жидкости для выполнения некоторой полезной работы. Объемное количество авиационного топлива, проходя через счетчик (он же гидромотор) приводит во вращение гидронасос, который синхронно прокачивает объемное количество ПВКЖ, в точке смешивания создается смесь авиатоплива и ПВКЖ с концентрацией равной соотношению производительностей гидронасоса и гидромотора (в данном случае счетчика-расходомера).

Пример: при одинаковой (равной) производительности гидронасоса и гидромотора производимая концентрация смеси авиатоплива и ПВКЖ будет в соотношении 1:1.

Таким образом, для достижения необходимой концентрации - 0,1+0,05% об., учитывая правила составления пропорций, необходимое сочетание производительностей гидромотора (счетчика-расходомера) и гидронасоса ПВКЖ соответственно - 1:1000 до 15:10000.

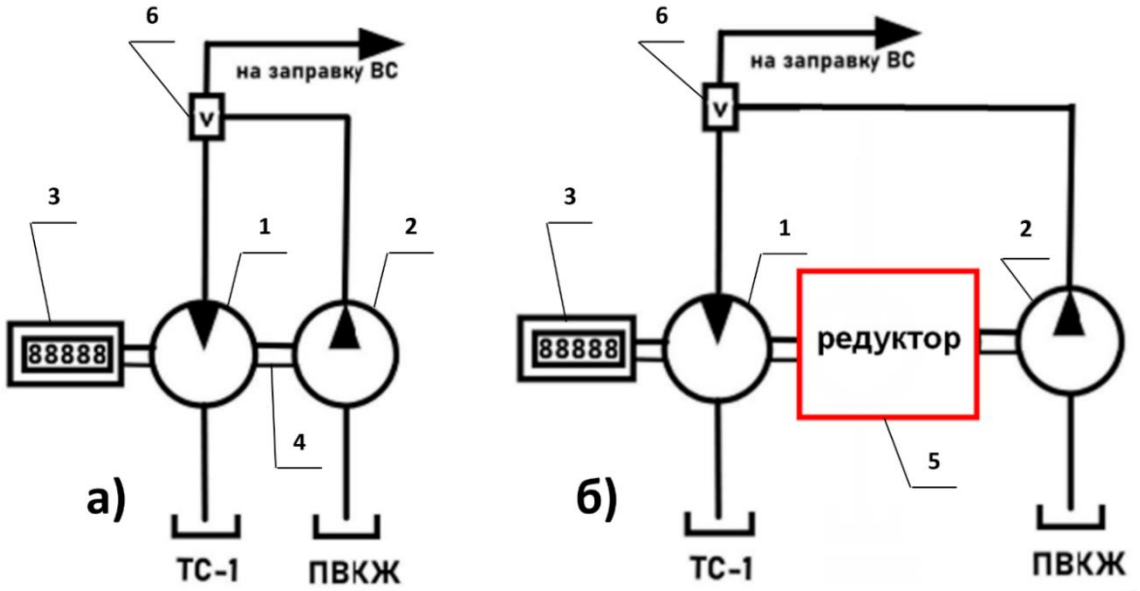


Рисунок 4.10 — Схемы и принцип действия дозирующих систем. а) прямая передача вращения; б) передача вращения через редуктор; 1 - объемный гидронасос; 2 - объемный гидромотор (счетчик -расходомер); 3 - счетная головка; 4 - узел ввода и смешивания авиатоплива (ТС-1) и ПВКЖ (трубка Вентури); 5 - редуктор (согласование частот вращения валов счетчика и насоса)

Это соотношение достигается подбором характеристик гидронасоса и гидромотора:

- объемной производительности (расход Q - л/мин) насоса и счетчика;
- числа оборотов для перекачивания заданных объемов авиатоплива и ПВКЖ;

В первом случае применен подбор объемной производительности и гидромотора(счетчика-расходомера) и гидронасоса(дозатора) (Alfons Haar).

Во втором случае установка редуктора, передаточное число которого будет равно соотношению смешиваемых компонентов: авиационное топливо и ПВКЖ.

Разумеется, возможен и третий вариант – объединяющий первый и второй:

Расход Q - л/мин определяется:

$$Q = \frac{V}{t}\ , \tag{4.1}$$

где V- объем, перекачиваемый насосом в единицу времени – t.

Частоту вращения вала насоса $\mathcal{V}$ об/мин, можно вычислить:

$$\mathcal{V} = \frac{N}{t}, \tag{4.2}$$

где N- число полных оборотов; t – время, мин.

Для удобства приведем зависимость расхода от числа оборотов, приравнивая формулы по времени,

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{N}{\mathcal{V}}. \tag{4.3}$$

Вычислим объем, прокачиваемый за один оборот насоса (мотора) (по сути, это есть рабочий объем насоса):

$$V = \frac{\mathcal{V}}{Q} \quad [1] \tag{4.4}$$

Поскольку объем ПВКЖ, вводимой в авиатопливо, рассчитывается по формуле [1]:

$$V_Ж = к \cdot V_т/100, \tag{4.5}$$

где $V_Ж$— объем ПВК жидкости, л; $V_т$— объем топлива, л; к — объемная доля ПВК жидкости в топливе, %.

Расходы гидронасоса и гидромотора также могут быть связаны соотношением:

$$Q_{нас} = к \cdot Q_{мот}\ , \tag{4.6}$$

или

$$V_{нас} = к \cdot V_{мот}\ . \tag{4.7}$$

Поскольку приводные валы насоса и мотора жестко связаны (или соосно или через редуктор), то осуществляется синхронное перекачивание потока авиатоплива и ПВКЖ в соответствующих пропорциях.

В результате анализа существующих дозаторов и дозирующих систем, применяемых в технологических процессах топливозаправочного комплекса обнаружены следующие недостатки.

Опыт эксплуатации показывает, что одним из распространенных недостатков применяемых дозаторов являются течи через уплотнительные кольца поршней насоса-дозатора.

Не маловажным фактором сегодняшнего дня является недостатки методов контроля % содержания ПВКЖ по причине устаревших конструкций дозаторов, и не обеспечивающие интеграцию в применяемыми АСУТП ТЗК и АТО.

Проверка работоспособности дозирующих систем, а также точность процентного содержания ПВКЖ в авиатопливной смеси, определяется лабораторным анализом рефрактометрическим методом ГОСТ18995.2-73 [60] согласно "Инструкции по применению и контролю качества авиационных горюче-смазочных материалов и специальных жидкостей в гражданской авиации", приказ МГА от 17.12.84 № 265 [148, 175]. Проверка работоспособности дозатора [214, 215] производится перед началом смены для каждого средства заправки путем отбора пробы, после прокачки не менее 500 литров из наконечника нижней заправки с помощью пробоотборника в стеклянную емкость объемом 0,5 л.

Проблемой существующего технологического процесса проверки работоспособности систем дозирования: затраты, связанные с невосполнимым расходованием дорогостоящей ПВКЖ, и расходом кондиционного авиатоплива с последующими операциями по восстановлению его качества, а также длительности простоя средств заправки на время проведения проверки работоспособности дозатора. В настоящее время это некондиционное авиатопливо переводят в керосинослив, или добавляют в приемно-расходные резервуары, что ведет к изменению показателей качества авиатоплива и усложняет технологический процесс подготовки авиатоплива к применению [73, 148, 175].

По результату анализа существующих средств дозирования установлено:

- применяемая механическая синхронизация гидропривода объемных расходомеров и насосов-дозаторов, не предусматривает возможности синхронизации с массомерами, массовыми расходомерами Кориолиса;

- расчет процентного содержания ПВКЖ в смеси авиатоплива производится в объемных единицах, что сказывается на точности дозирования, а расчет

дозирования в массовых единицах, в динамических условиях - в потоке, не представляется возможным;

- применение трубки Вентури или в камеры счетчика (Alfons HAAR) для равномерного перемешивания ПВКЖ в потоке авиатоплива, увеличивает гидравлическое сопротивление;

- проверка работоспособности дозатора, весьма затратная технологическая процедура: лабораторный рефрактометрический анализ, невосполнимое расходование дорогостоящей ПВКЖ, расход кондиционного авиатоплива, а также длительность простоя средств заправки.

- получившие массовое распространение в оборудовании подвижных средств заправки и перронных пунктов налива АТЗ, счетно-дозирующие системы DKP 2,7 Alfons Haar, в составе объемных счетчиков-расходомеров МКА 800, 2290, 3350 производства Alfons Haar Maschinenbau GmbH & Co, в результате введенных санкции, и отказа представителей Alfons HAAR поставлять производимое оборудование в Россию, создали критическую ситуацию для отрасли авиатопливообеспечении ВС ГА [214, 215];

- существующая технология добавления ПВКЖ, в авиатопливо учитывает фактическое содержание ПВКЖ, в баках ВС после предыдущего полета [214, 215], что отражается на достоверности информации о кондиционности авиатоплива в баках ВС и соответственно пригодности его к применению.

4.2 Анализ технологий контроля и методов определения процентного содержания противоводокристаллизационной жидкости в авиатопливе в средствах дозирования при выдаче авиатоплива на заправку воздушных судов

В настоящее время контроль процентного содержания ПВКЖ в авиатопливе осуществляют рефрактометрическим и колориметрическим методами. Рефрактометрический метод основан на определении показателя преломления водной вытяжки ПВКЖ, извлеченной из топлива водой и последующим расчетом массовой доли ПВКЖ по соответствующей формуле. Колориметрический метод основан на фиксировании изменения окраски раствора, содержащего водную вытяжку ПВКЖ, калия бихромат и кислоту серную. Окраска раствора изменяется, в зависимости от содержания ПВКЖ в авиатопливе от оранжевой, без ПВКЖ, до желтой ≈0,1% масс. ПВКЖ, зеленой ≈0,2% масс. ПВКЖ или голубой ≈0,3% масс. ПВКЖ [3, 46].

Объем ПВКЖ, необходимый для введения в заданный объем авиатоплива определяют по таблице 4.2 или по графику (рисунок 4.12). Объем ПВКЖ, добавляемой в авиатопливо, рассчитывается по формуле:

$$V_п = к \cdot V_а / 100, \quad (4.8)$$

где $V_п$ — объем ПВКЖ, л; $V_а$ — объем авиатоплива, л; к — объемная доля ПВКЖ в авиатопливе, % [174].

Объемы дозирования ПВКЖ(л), для различных норм ее ввода, представлены в таблице Г.1 приложения Г. На практике в случае приготовления смеси не автоматизированными средствами, для контроля и проверки правильности дозирования используют номограммы для расчета объема дозы ПВКЖ [173], представленные на рисунке Г.1 в приложении Г.

Технология применения и контроля качества смесей ПВКЖ в предприятиях ГА, является составной частью технологического процесса авиатопливообеспечения

ВС ГА и обеспечивает надежность и безопасность полетов за счет дозирования в топливо кондиционного продукта в необходимой концентрации.

Точность дозировки проверяется в следующей последовательности:

- измерение по литромеру количества прокаченного топлива и ПВКЖ, (по градуированному уровнемеру на бачке) последовательно при минимальной производительности топливного насоса и дозе ПВКЖ (0,1%), а также максимальной производительности и дозе ПВКЖ (0,3%);

- вычислить фактическое процентное содержание жидкости в топливе по формуле [173]:

$$\delta_{ф} = \frac{\gamma_{пвк} \cdot V_{пвк}}{\gamma_{ат} \cdot V_{ат}}, \quad (4.9)$$

где $\gamma_{пвк}$ –удельный вес ПВКЖ;

$\gamma_{ат}$ - удельный вес авиатоплива;

$V_{пвк}$- количество прокаченной ПВКЖ, л.;

$V_{ат}$ - количество прокачанного авиатоплива, л.;

Отношение $\frac{\gamma_{пвк}}{\gamma_{ат}}$ можно в среднем принять равным 0,15.

Вычисление погрешности дозирования производиться по формуле:

$$\theta = \frac{\delta_{ф} - \delta_{т}}{\delta_{т}} \cdot 100\%, \quad (4.10)$$

где $\delta_{ф}$- фактически полученное процентное содержание ПВК-жидкости в топливе; $\delta_{т}$ –требуемый коэффициент дозирования.

В случаях, когда погрешность дозирования получается выше или ниже допустимой, необходимо произвести лабораторий контроль для проверки полученного результата, после чего следует установить причину неисправности дозатора и устранить ее.

Использование оперативного контроля дозирования ПВКЖ не исключает применения лабораторного контроля, который в соответствии с приказом МГА от 02.08.78 № 119 должен производиться ежесменно путем прокачивания 500 л авиатоплива, отбора проб топлива с последующим его лабораторным анализом.

Анализ содержания жидкости в авиатопливе производится по методике.

Рефрактометрический анализ содержания ПВКЖ в авиатопливе производится согласно Инструкции по определению показателя преломления двух водных вытяжек авиатоплива согласно ГОСТ 18995.2—73[60].

Для определения показателя преломления применяются оптические приборы -рефрактометры, использующие метод вычисления показателя преломления жидкостей путем измерения угла полного внутреннего отражения светового потока на границе между полированной поверхностью стеклянной призмы и слоем жидкости [60, 148, 175].

Рефрактометр ИРФ-23 позволяет определять показатель преломления с точностью до 0,0001 и выше, а рефрактометр ИРФ-22 с точностью до 0,0005 — [58].

За результат испытания принимается среднее арифметическое значение двух параллельных измерений. Допустимое расхождение результатов двух параллельных определений не должно превышать 0,0002 [60, 148, 175].

Пользуясь прилагаемыми к рефрактометру таблицами перевода показаний прибора в показатели преломления находят показатель преломления данной ПВКЖ. Затем, при той же температуре, аналогичным образом определяют, показатель преломления дистиллированной воды, используемой для приготовления водной вытяжки.

Наряду с рефрактометрическим методом, фактическое процентное содержание ПВКЖ в авиатопливе определяют колориметрическим методом или с использованием индикаторных трубок ИТ-ПВК.

Недостатки и проблемы существующих методов контроля процентного содержания ПВКЖ в авиатопливе:

Анализ применяемых технологий контроля и методов фактического процентного содержания ПВКЖ в авиатопливе показал, что лабораторные методы являются дискретными и зависят от правильного отбора пробы, являются косвенными и длительными по времени, не автоматизированными.

В тоже время применяемые экспресс методы не точные, высокая зависимость от негативного влияния человеческого фактора.

В сложившихся условиях состояния отрасли, возникли современные тренды развития средств дозирования, обусловленные вышеперечисленными проблемами. Российские производители оборудования авиатопливообеспечения: ООО "Туполев сервис", НПО «Агрегат», АО "Промприбор", в рамках импортозамещения, предоставили собственные, отечественные разработки систем дозирования, восполняя образовавшийся дефицит счетно-дозирующего оборудования.

Система Измерительная «Автоматизированный Модуль Дозирования Присадки» (СИ АМДП) производства НПО «Авиатехнология» [215], в процессе дозирования, производит измерение объема и массы, введенной ПВКЖ,

СИ АМДП автоматически прекращает процесса заправки ВС, в нештатных ситуациях, любых отклонений от заданного режима и позволяет:

- Исключить из техпроцесса ежесменные операции по проверке работоспособности дозаторов, настоящее время проводимые методом лабораторных анализов;
- снизить нагрузку оператора средства заправки ВС ГА исключив необходимость визуального контроля работоспособности дозатора.

Схема Системы Измерительная «Автоматизированный Модуль Дозирования Присадки» (СИ АМДП) представлена на рисунке 4.11.

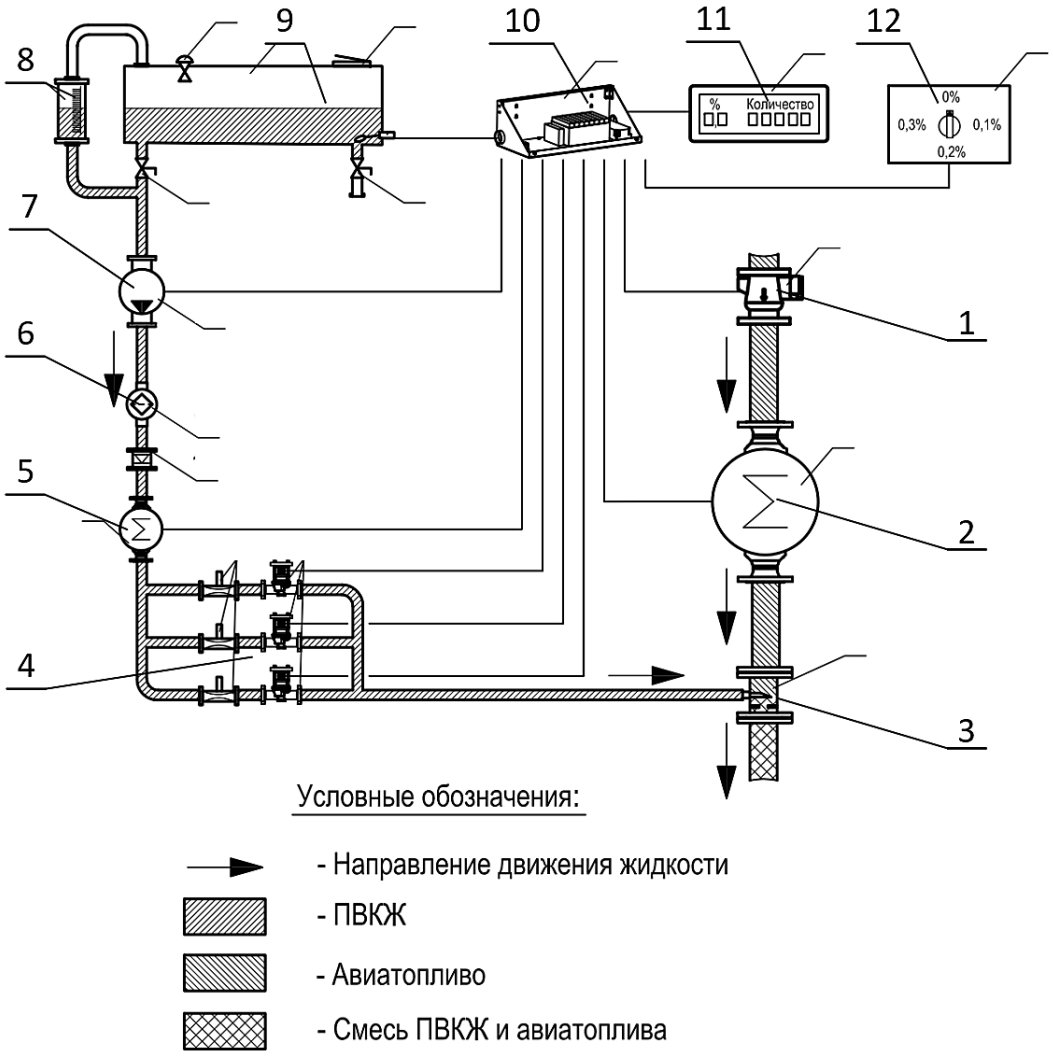


Рисунок 4.11 – Схема системы измерительной «Автоматизированный Модуль Дозирования Присадки» производства НПО «Авиатехнология»: 1- клапан запорный. 2- массовый расходомер авиатоплива; 3 -узел смешения; 4- клапан электромагнитный вентиль регулирующий; 5- расходомер ПВКЖ; 6- фильтр очистки ПВКЖ; 7-насос ПВКЖ; 8- стакан мерный 9- бак ПВКЖ; 10- контроллер; 11- табло индикаторное 12- Переключатель выбора дозы ПВКЖ

4.3 Разработка устройства дозирования противоводокристаллизационной жидкости на основе привода гибридного сервошагового двигателя и программируемого логического контроллера

Современный уровень научно-технического развития, информационных технологий и элементной базы радиоэлектронных компонентов позволяет создать автоматизированную универсально адаптированную систему дозирования ПВКЖ, как для массовых расходомеров Кориолиса, так и объемных расходомеров, оснащенных датчиком угла поворота (энкодером), на основе программируемого логического контроллера (ПЛК), и гибридного сервошагового привода насоса-дозатора. Программирование ПЛК, предоставляет широкие возможности для адаптивного динамического управления процессом дозирования ПВКЖ в авиатопливо, на основе фактических данных о мгновенном расходе ПВКЖ и авиатоплива, а также их плотности и температуры, измеряемых непрерывно, автоматическое регулирование %-содержания ПВКЖ, вводимого в авиатопливо на основе обратной связи с датчиком концентрации ПВКЖ, обеспечит высокую точность дозирования на всех режимах производительности заправки ВС. Это повысит безопасность полетов снизит издержки, связанные с недостатками существующих в настоящее время дозаторов и дозирующих систем ПВКЖ.

Разрабатываемая система дозирования ПВКЖ в авиатопливо, должна удовлетворять следующим условиям:

1. Производить синхронизированное дозирование ПВКЖ в авиатопливо, как в объемных пропорциях единиц измерения, так и в пропорциях единиц измерения масс.

2. Производить динамическое измерение количества введённой присадки, как в объемных единицах измерения, так и в единицах измерения масс.

3. В процессе дозирования обеспечивать равномерность перемешивания ПВКЖ по всему объему авиатоплива.

4. Иметь функцию автоматического блокирования процесса заправки ВС, в случаях любых нарушений параметров заданного режима дозирования ПВКЖ в авиатопливо, (нарушение пропорции дозирования ПВКЖ, неисправность дозатора или отсутствие ПВКЖ).

5. Возможности интеграции с АСУТП ТЗК и передачи достоверной информации о количестве и расходе ПВКЖ на верхний уровень информационных систем;

6. Иметь функцию самотестирования работоспособности дозатора, и контроля отклонений от точности количества вводимой ПВКЖ в авиатопливо;

7. Разрабатываемый дозатор, должен отвечать требованиям Государственного Реестра СИ.

Цель разработки новой системы дозированного ввода ПВКЖ в авиатопливо:

• исключить из технологических процессов ежесменные операции по проверке работоспособности дозаторов, в настоящее время проводимые методом лабораторных анализов;

• снизить нагрузку оператора средства заправки ВС ГА исключив необходимость визуального контроля работоспособности дозатора.

На основании проведенного в работе анализа применяемых систем дозирования, а также современного достижения уровня техники, представляется возможной разработка конструкции нового дозатора, с принципом измерения расхода потока авиатоплива и синхронизированное, пропорциональное введение присадки ПВК-жидкости в этот поток в определенных количествах (0,1; 0,2 и 0,3%).

По аналогии принципа действия механического редуктора в классической схеме дозатора (рисунок 4.10), новая разрабатываемая система основана на принципе «электронного редуктора» (рисунок 4.12).

Пропорциональное введение присадки ПВКЖ, на основании измеренного расхода, обеспечивается программируемым логическим контроллером, который управляет гибридным сервошаговым приводом объемного гидронасоса-дозатора (рисунок 4.13).

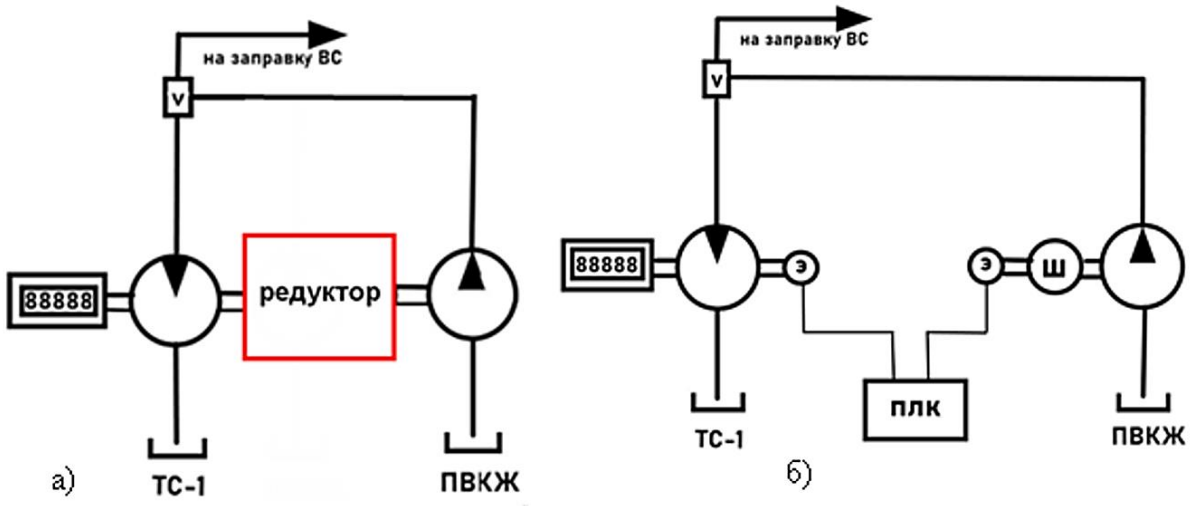


Рисунок 4.12 — а) классическая схема дозатора с механическим редуктором б) схема с «электронным редуктором»

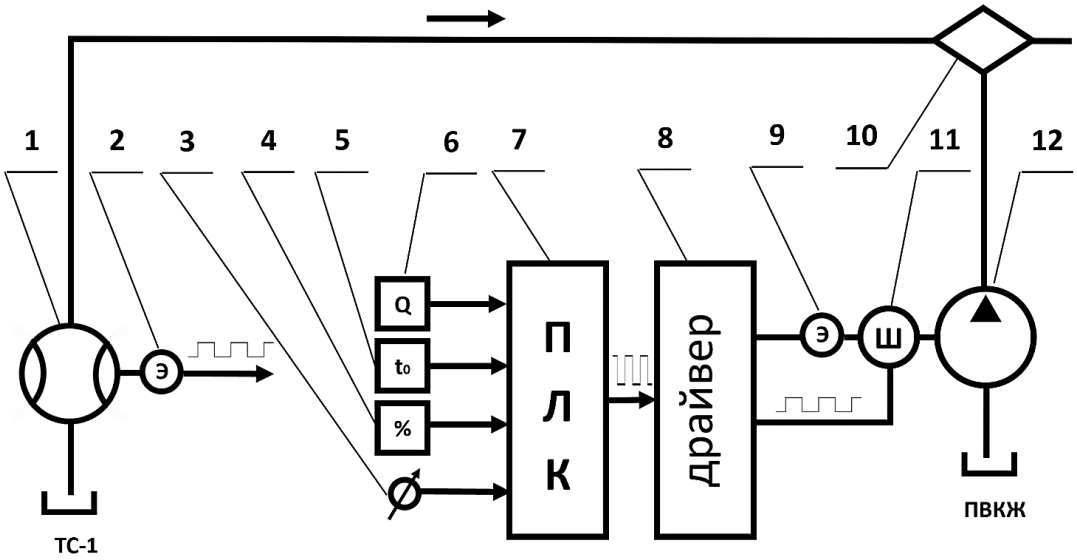


Рисунок 4.13 — 1 - счетчик-расходомер; 2 - энкодер; 3 - селектор выбора % -дозирования ПВКЖ; 4 - датчик фактического % -содержания ПВКЖ; 5 - датчик температуры авиатоплива; 6 -делитель импульсов расходомера авиатоплива; 7 - программируемый логический контроллер; 8 - драйвер привода ГСШД; 9 - энкодер; 10 - точка смешивания ПВКЖ и авиатоплива; 11 - шаговый двигатель; 12 - объемный гидронасос

Рассмотрим принципиальную схему дозирования ПВКЖ с предлагаемым в работе дозатором ПВКЖ на основе ГСШД (рисунок 4.14), а также его принцип работы.

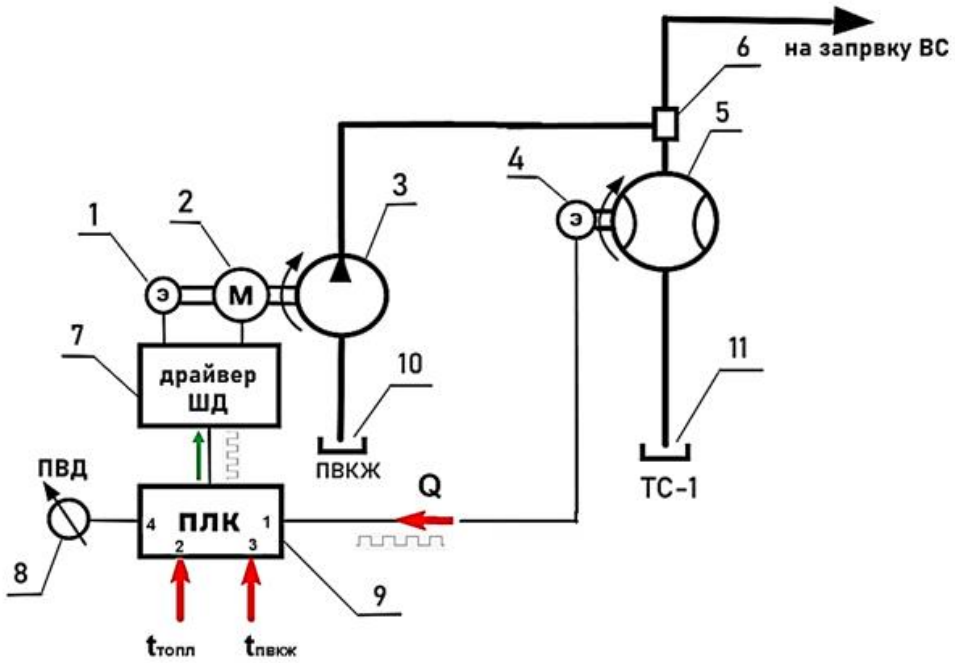


Рисунок 4.14 — Принципиальная схема системы дозирования ПВКЖ в авиатопливо: 1 - энкодер шагового двигателя; 2 - шаговый двигатель; 3 - объёмный насос-дозатор; 4 - энкодер расходомера (вычислитель массомера); 5 - расходомер (массомер); 6 - точка смешивания ПВКЖ и авиатоплива; 7 - драйвер гибридного сервошагового привода; 8 - переключатель выбора дозы ПВКЖ; 9 - программируемый логический контроллер; 10 – бак с ПВКЖ; 11 – резервуар авиатоплива; ВХОД – интерфейс интеграции с системами средств заправки: датчиков температуры, плотности и детектора %-содержания ПВКЖ (опционально); ВЫХОД – передача данных внешним системам (SCADA, учет и журналирование) вывод данных на информационную панель IEEE 802.11, Wi-Fi и т.д.

На вход 1 ПЛК поступают квадратурные сигналы от расходомера массомера с ценой импульса XX;

В ПЛК преогромно формируется квадратурный сигнал с ценой импульса YY рассчитанной дозы ПВКЖ;

С выхода ПЛК квадратурный сигнал поступает на драйвер сервошагового двигателя, приводящего во вращение объемный гидронасос, на угол поворота, соответствующий поступившему импульсному сигналу,

В результате вращения, объемный насос перекачивает рассчитанную дозу в место смешивания с авиатопливом 6.

На вход 2 и 3 ПЛК – поступает сигнал от датчиков температуры, соответственно топлива и ПВКЖ, с целью компенсации объемного расширения исходных продуктов путем программной коррекции коэффициента делителя частоты импульсного сигнала.

На 4 вход подается дискретный сигнал вариативного выбора дозы.

Аварийный выход ПЛК, для управления блокировкой процесса в случае любого нарушения работы системы дозирования (подключение к штатной системе «Deadman», останавливающую заправку ВС, автоматически в случае нештатной ситуации).

Остальные входы и выходы ПЛК возможно использовать (применить) для опционального расширения функций системы дозирования, например,

- интеграции с внешними информационно-управляющими системами АСУТП ТЗК, для учета расхода жидкостей, систем аварийной сигнализации, систем визуального отображения, информационных панелей и т.д.;

- для установки дополнительного датчика %-содержания ПВКЖ, с построением обратной связи сигнала о фактическом %-содержании ПВКЖ для коррекции коэффициента деления, что значительно повысит точность вводимой дозы и надежность работы системы дозирования.

4.4 Разработка гидравлической и электронной схем дозатора противоводокристаллизационной жидкости на основе гибридного сервошагового привода и программируемого логического контроллера

Проанализировав характеристики современного гидрооборудования и элементной базы электронных компонентов, были подобраны составляющие части конструкции нового дозатора ПВКЖ:

- объемный гидронасос плунжерный (поршневой) насос НП25.

Обоснование: свойство объемного гидронасоса – пропорциональная зависимость прокачанного объема от угла поворота гидронасоса, (отсутствие перетока) – позволяет производить измерение дозируемой ПВКЖ (путем подсчета количества оборотов вала насоса) подобный насос применялся в системах дозирования, отсутствие химического взаимодействия ПВКЖ и конструкционных материалов насоса.

- сервошаговый привод (состоит из шагового двигателя с энкодером и драйвером);

Обоснование: высокая точность управления угла поворота шагового двигателя, за счет постоянство крутящего момента в широком диапазоне скорости вращения вала (на мин. и на макс.) импульсный вход драйвера привода СШД обеспечивает пропорциональное соответствие количества импульсов количеству оборотов вала.

- ПЛК – программируемый логический контроллер, осуществляет функцию умножения импульсного сигнала с заданным коэффициентом К, в соответствии с получаемыми входными сигналами от расходомеров (объёмного или массового) формирует выходные сигналы для сервошагового привода насоса -дозатора [214, 215];

Выбор сервошагового привода: 57J1880EC-1000-LS закрытый, 2-х фазный шаговый двигатель с энкодером [214, 215], представленный на рисунке 4.15**.**

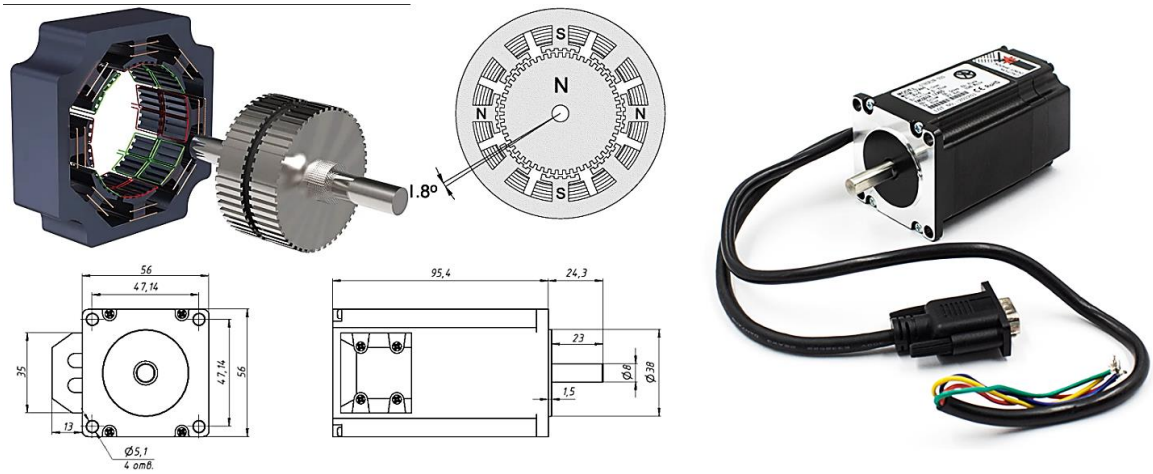


Рисунок 4.15 — Гибридный сервошаговый двигатель с энкодером [215] 57J1880EC-1000-LS. 1- статор; 2 -ротор; 4 -угол шага; 5-общий вид; 6-габариты

Обоснование выбора обусловлено**:**

- постоянством крутящего момента шагового двигателя во всем диапазоне скоростей вращения, которое позволяет сохранить давление насоса дозатора даже при очень маленьких скоростях вращения, что необходимо в зоне смешения ПВКЖ и авиатоплива при давлении до 5 кГс/м^2;

- отсутствием пропуска шагов за счет, встроенного энкодера, что гарантирует точное соответствие, прокачиваемой ПВКЖ дозы, цене импульса от ПЛК.

Гибридные сервошаговые приводы имеют преимущество перед обычным шаговым мотором и сервоприводом. Высокая надежность и универсальность схемы, простота настроек и обслуживания, а также применение инкрементального энкодера, обеспечивающего точность позиционирования, обусловили выбор сервошагового привода для применения в системе дозирования ПВКЖ в авиатопливо.

Применение гибридного сервошагового привода позволяет получать обратную связь, скорость и угловое положение, что исключает основные проблемы шаговых двигателей - пропуски шагов, а также обеспечить постоянство крутящего момента при любых скоростях вращения вала. Гибридный сервошаговый привод

гарантирует точность позиционирования за счет контроля положения вала двигателя энкодером, с высокой разрешающей способностью - 200 импульсов на оборот.

Основные преимущества гибридного сервошагового привода 57J1880EC-1000-LS, это его быстрота реакции и равномерность момента на всех скоростях вращения вала. От обычных шаговых моторов с разомкнутым контуром, гибридные сервошаговые двигатели отличает отсутствие потери шагов [214, 215].

Драйвер 2-х фазного гибридного шагового сервопривода с обратной связью HSS57 изображен на рисунке 4.16

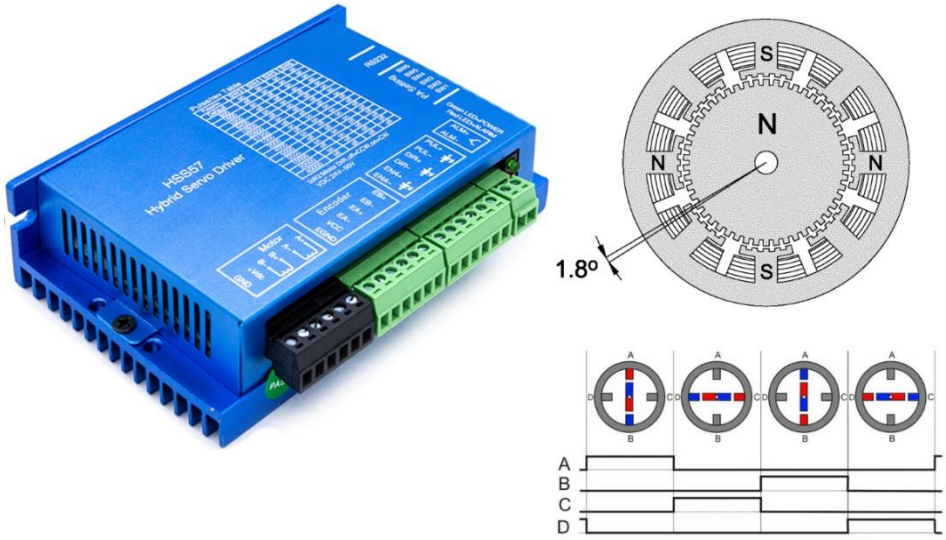


Рисунок 4.16 — Драйвер 2-х фазного гибридного шагового сервопривода с обратной связью HSS57. 1 - вид общий, 2 - угол шага, 3 – вид управляющих сигналов

Драйвер 2HSS57 представляет собой электронное устройство, которое интегрирует технологию сервооуправления в систему с гибридным 2-фазным шаговым двигателем. Обратная связь выполнена в виде установленного на вал, энкодера. Производя автоматическое вычисление импульса, полученного от энкодера, любое отклонение вала двигателя от нормы контролируется автоматически более точно, а затем ротор двигателя вращается в расчетное положение. Драйвер 2HSS57 получая управляющий сигнал, независимо распределяет рабочий ток и напряжение на по обмоткам (фазам) шагового

серводвигателя. Привод вращает вал шагового двигателя на определенный угол, переключая фазное напряжение в определенном порядке и регулируя рабочий ток [214, 215].

Преимущества сервошагового привода обусловившие выбор 2HSS57 для применения в составе новой дозирующей системы:

1. точность позиционирования сервошагового привода за счёт корректировки пропуска шагов;

2. отсутствие вибрации и плавное движение на низких скоростях;

3. плавный пуск и остановка двигателя, контроль ускорения и замедления;

4. Поддержка систем с обратной связью[215].

В качестве насоса-дозатора был выбран объемный аксиально-поршневой гидронасос НП25 (рисунок 4.17), (плунжерный, коаксиальный с наклонной шайбой).

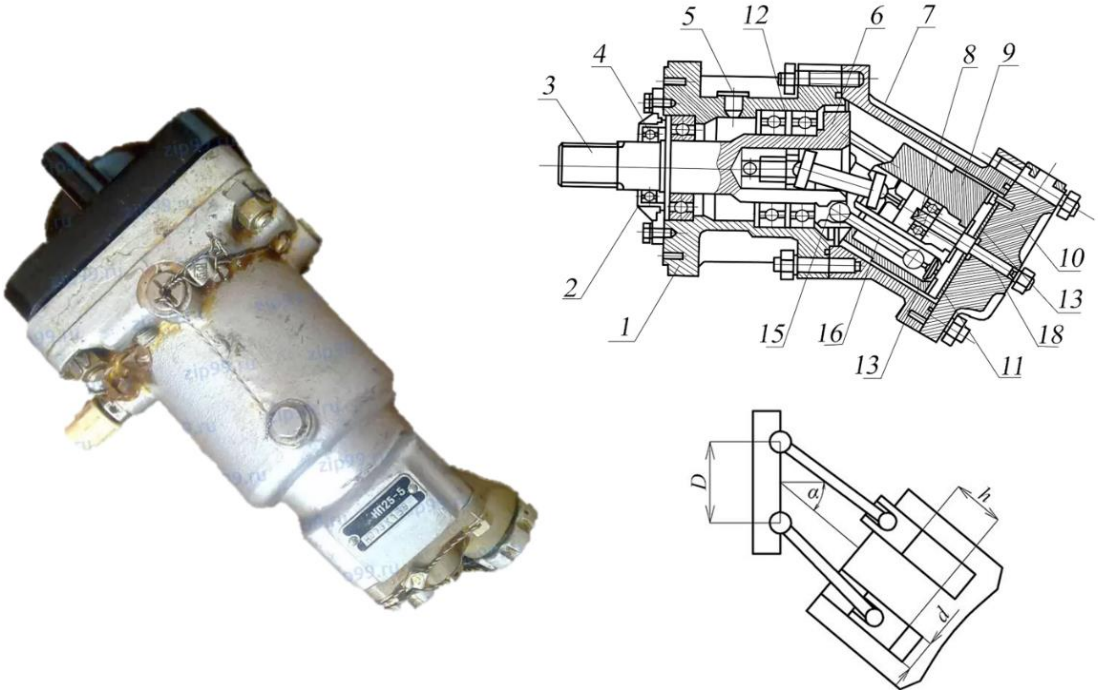


Рисунок 4.17 — Аксиально-поршневой гидронасос НП-25-5: 1 - общий вид; 2 – схема конструкции устройства; 3 - схема расчета подачи ПВКЖ

Выбор насоса-дозатора обусловлен:

- надежностью и точностью соответствия угла поворота вала насоса, объему перекачиваемой ПВКЖ, что гарантирует отсутствие перетоков и

точность фактической дозировки ПВКЖ, ранее применялся в системах дозирования ПВКЖ;

– материалы его деталей химически совместимы с ПВКЖ;

- 5-ть поршней обеспечивает минимум пульсаций, что значительно улучшает равномерность введения ПВКЖ в поток авиатоплива, чем достигается равномерная концентрация смеси, по всему объему (сравнение существующий дозатор от DKP Alfons Haar имеет один поршень, что, как показывает практика, неизбежно сказывается на точности и равномерности дозирования).

Подача объемного насоса пропорциональна рабочему объему насоса q и частоте вращения вала n:

$$Q_T = q \times n \ . \tag{4.11}$$

Рабочий объем насоса можно вычисляется, по формуле:

$$q = z \times h \times \frac{\pi \times d^2}{4}, \tag{4.12}$$

где: d - диаметр поршня, мм;

z - число поршней;

h - ход поршня, мм.

Ход поршня аксиально-поршневого насоса с наклонным блоком зависит от угла α наклона блока и диаметра расположения поршней D:

$$h = D \times \sin\alpha \tag{4.13}$$

Для вычисления реальной подачи необходимо теоретическую умножить на объемный КПД (0,9...0,98) для поршневых насосов) [5]:

$$Q = Q_T \times \eta_0 = q \times \eta \times \eta_0 \tag{4.14}$$

В таблице 4.2 представлены технические характеристики насоса НП-25-5

Исходя из параметра производительности подачи насоса, 17 л/мин, и частоты вращения, 2200 об/мин гидронасоса НП-25-5, допустим, что за один оборот насос прокачивает объем 0,0077 л.

В качестве аппаратной части устройства сбора и обработки информации выбран программируемый логический контроллер (ПЛК) - Arduino Atmega — из семейства восьмибитных микроконтроллеров AVR, разработанных компанией

Atmel, выбор обусловлен – удобством программирования, простотой схемотехники (для этого проекта можно использовать любой ПЛК). Схема ПЛК и его общий вид представлены на рисунке 4.18.

Таблица 4.2 – Характеристики насоса НП-25-5

Минимальное давление всасывания, мм.рт.ст.	от 200 до 600
Подача, л/мин	17
Рабочее давление, Мпа	25
Частота вращения, об/мин	2200[215]

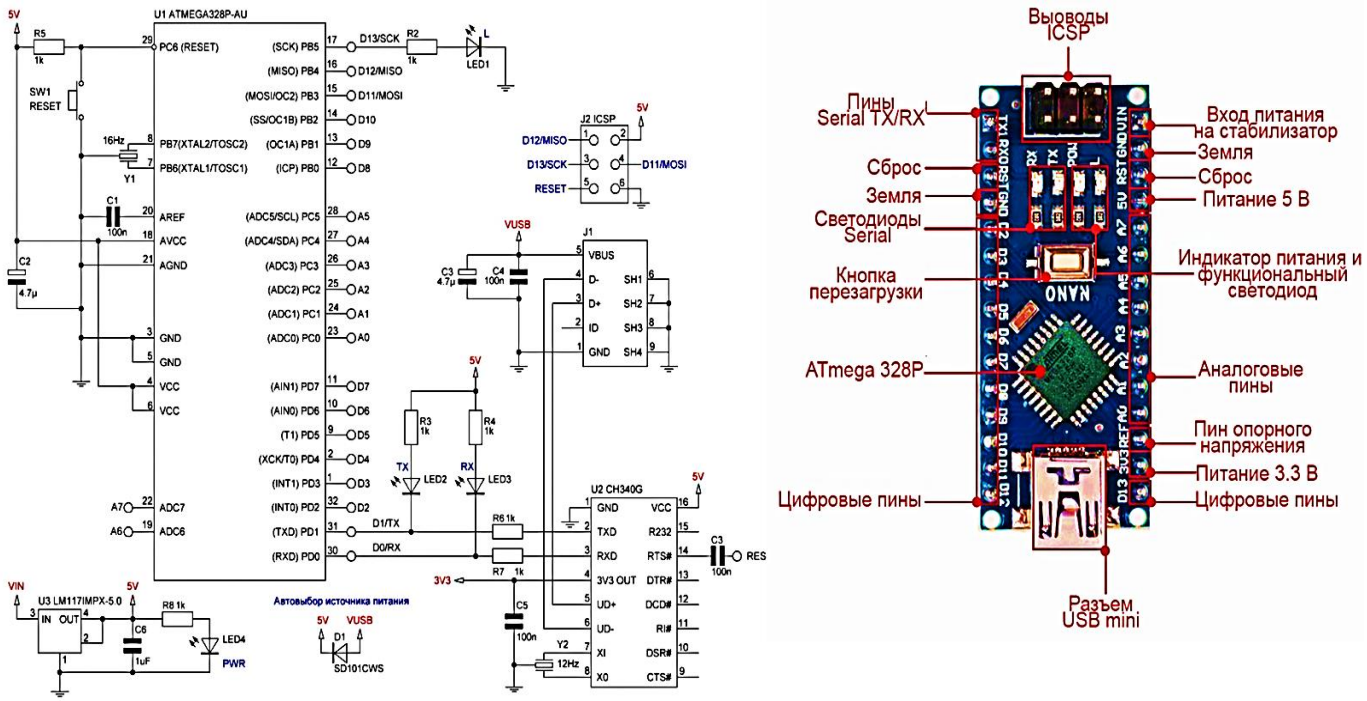


Рисунок 4.18 — ПЛК - Arduino Atmega: (1)- схема; (2)-общий вид

Arduino — платформа для быстрой разработки электронных устройств. Благодаря удобству и простоте языка программирования, а также открытой архитектуре и программному коду платформа, программируется через USB, без необходимости использования программатора [214, 215].

Микроконтроллер на плате использует язык Ардуино (основанный на языке Wiring) и среду разработки Ардуино (основанную на среде обработки) для программирования. Проекты устройств на базе Ардуино могут работать

независимо или взаимодействовать с компьютерным программным обеспечением (например, Flash, Processing, MaxMSP) [214, 215].

Таким образом, выбранные компоненты, гидравлическая и электронная схемы разрабатываемого дозатора позволяют обеспечить функциональное назначение и заданные характеристики системы дозирования ПВКЖ в поток авиатоплива для заправки ВС.

4.5 Разработка исследовательского стенда и прототипа дозатора противоводокристаллизационной жидкости на основе программируемого логического контроллера и гибридного сервошагового двигателя

Проведенные в работе теоретические обоснования и выбор гидравлической и электронной схемы разрабатываемого нового дозатора подачи ПВКЖ в топливо требуют его лабораторной проверки и проведения испытаний. Поэтому в работе с целью проверки новой системы дозирования ПВКЖ был разработан стенд для проведения лабораторных испытаний.

Вначале была разработана схема прототипа дозатора ПВКЖ (рисунок 4.19) с объемным датчиком.

Сегодня в технологических процессах топливообеспечения полетов ВС широко применяется новое оборудование, позволяющее автоматизировать технологические процессы ОАТО. Одним из таких элементов являются массомеры (массовые расходомеры Кориолиса). Учитывая особенности его работы в диссертационной работе, была разработана схема дозирования ПВКЖ разрабатываемого дозатора с массовым счетчиком, которая представлена на рисунке 4.22.

Рассмотрим работу нового устройства при дозировании ПВКЖ в случае подключения по представленным схемам [215] (рисунки 4.19 и 4.20).

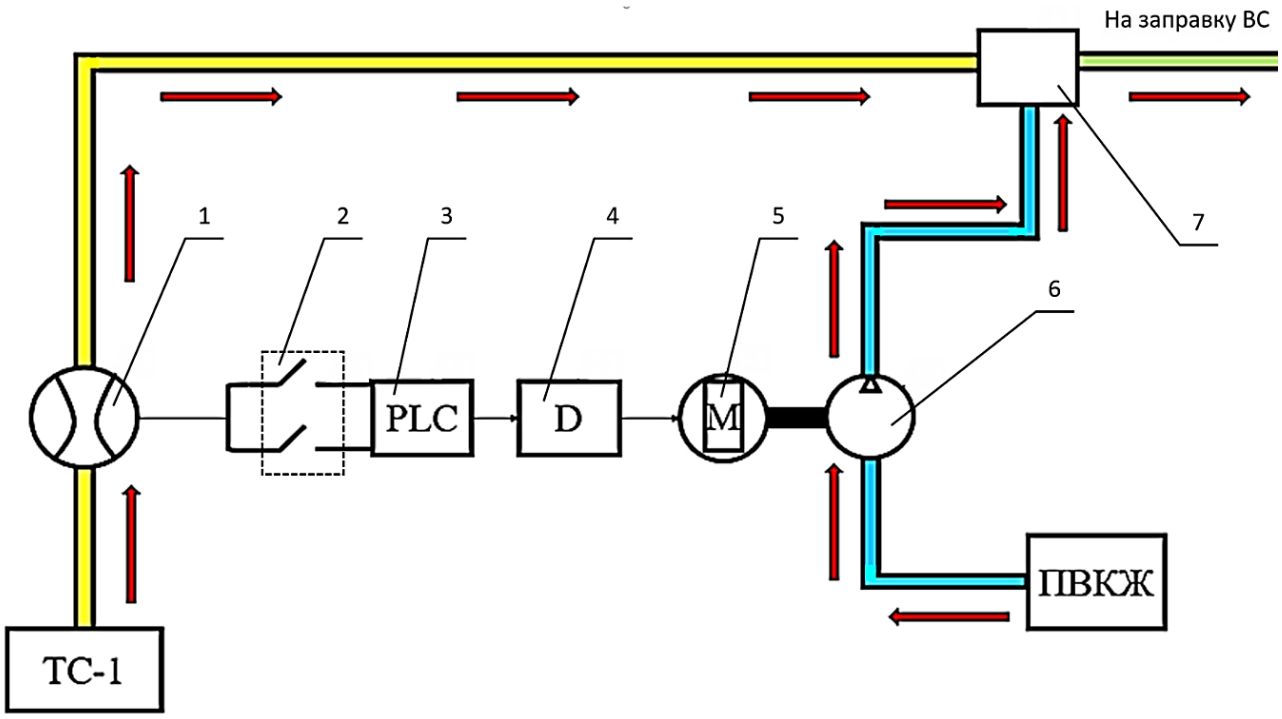


Рисунок 4.19 — Схема прототипа дозатора ПВКЖ в интеграции с объемным счетчиком-расходомером: 1 - объемный счетчик; 2 - энкодер; 3 - ПЛК; 4 - драйвер; 5 - шаговый двигатель; 6 - насос-дозатор[215].; 7 - точка ввода ПВКЖ

В процессе заправки ВС импульсная последовательность -квадратурный сигнал, (меандр) соответствующий мгновенному расходу авиатоплива получаемый от устройства счета импульсов (энкодера) или вычислителя массомера подаются на вход программируемого логического контроллера (PLC) в котором алгоритм исполняемого кода (файла) программы – в соответствии с поступающими данными (значениями) о расходе авиатоплива вычисляет соответствующее значение количества ПВКЖ, в виде значения количества оборотов сервошагового двигателя.

Квадратурный сигнал о количестве оборотов передается по интерфейсу RS232 в драйвер сервошагового двигателя, который приводит во вращение плунжерный (поршневой/объемный) насос, прокачивающий заданный контроллером (PLC) объем ПВКЖ в поток авиатоплива заправляемого в ВС. Тем самым обеспечивает пропорциональный ввод ПВКЖ в поток авиатоплива [215].

При стабильности данных параметров и использовании упреждающих алгоритмов, вносимых в контроллер, обеспечивается высокая точность дозирования[215].

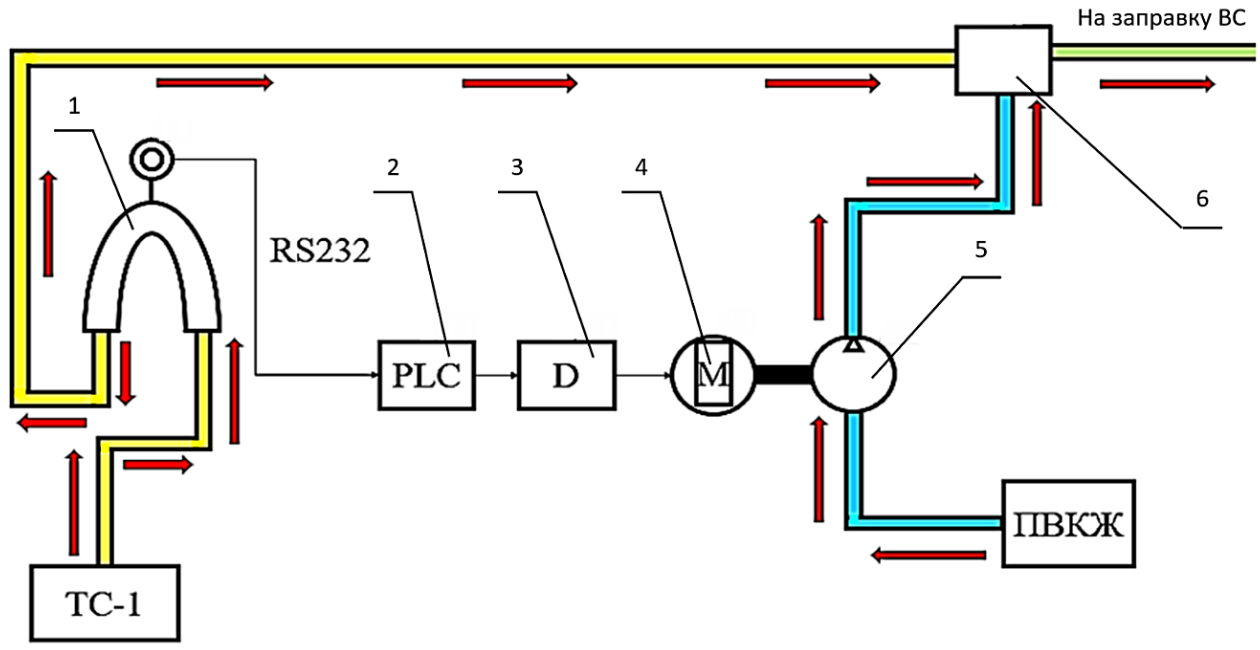


Рисунок 4.20 — Схема прототипа дозатора ПВКЖ в интеграции с массовым расходомером Кориолиса: 1 - массомер Кориолиса; 2 - ПЛК; 3 - драйвер; 4 - шаговый двигатель; 5 - насос-дозатор; 6 - точка ввода (смешения) [215]

ПВКЖ

Поскольку дозатор — это комплекс приборов, объединенных между собой, настройка и последующая аттестация проводятся для всего комплекса целиком.

Общая погрешность дозатора складывается из 2-х составляющих.

$$\delta_{ОБЩ}=\delta_{СИСТЕМ}+\delta_{СЛУЧ}, \quad (4.15)$$

где $\delta_{СИСТЕМ}$ – систематическая составляющая;

$\delta_{СЛУЧ}$ – случайная составляющая.

Систематическая составляющая погрешности определяется только погрешностью образцовой мерной емкости. Случайная составляющая погрешности вызвана большим количеством влияющих факторов:

- конструктивные особенности установки;

- плотность и вязкость среды [215];

- давление в трубопроводе;

- температура среды;

- объем доз и др.

Случайная составляющая может быть значительно уменьшена за счет того, что счетчик-дозатор будет собираться и аттестовываться на требуемую точность непосредственно на объекте либо на стенде производителя при помощи образцовых мерных емкостей, соответствующих ГОСТ 8.400-80, с внесением корректирующей характеристики в контроллер (входящий в состав дозатора) по специально разработанной методике (используется емкость 1-го разряда с классом точности 0,1) [215].

Таким образом разработанная система дозирования жидкой присадки с насосом-дозатором с приводом от сервошагового электродвигателя с микроконтроллерным управлением позволяет работать как с системами с массовым, так и объемным дозированием[215].

С целью проверки работоспособности системы дозирования в работе был разработан исследовательский прототип дозатора (рисунок 4.21) и создан стенд для экспериментального исследования прототипа дозатора с приводом от ГСШД с различными схемами подключения [215] (рисунок 4.22…4.23).

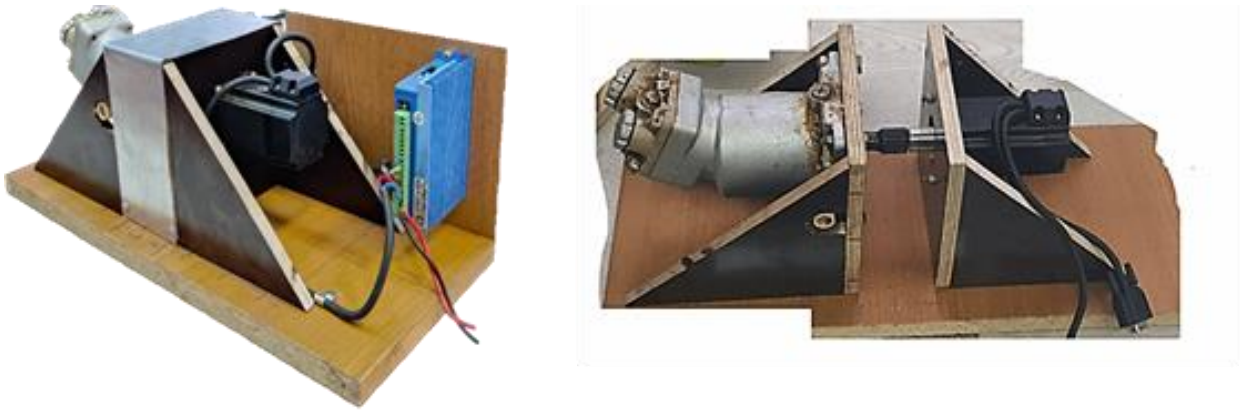


Рисунок 4.21 — Исследовательский прототип дозатора ПВКЖ. 1 - насос, 2 - сервошаговый двигатель; 3 - драйвер ГСШД

Разработка гидравлической и электронной схем дозатора ПВКЖ со счетчиком-расходомером массовым ЭМИС-МАСС 260 (далее – «расходомер»

или «ЭМ-260»). Интеграция дозатора со счетчиком-расходомером массовым ЭМИС-МАСС 260 (далее – «расходомер» или «ЭМ-260»).

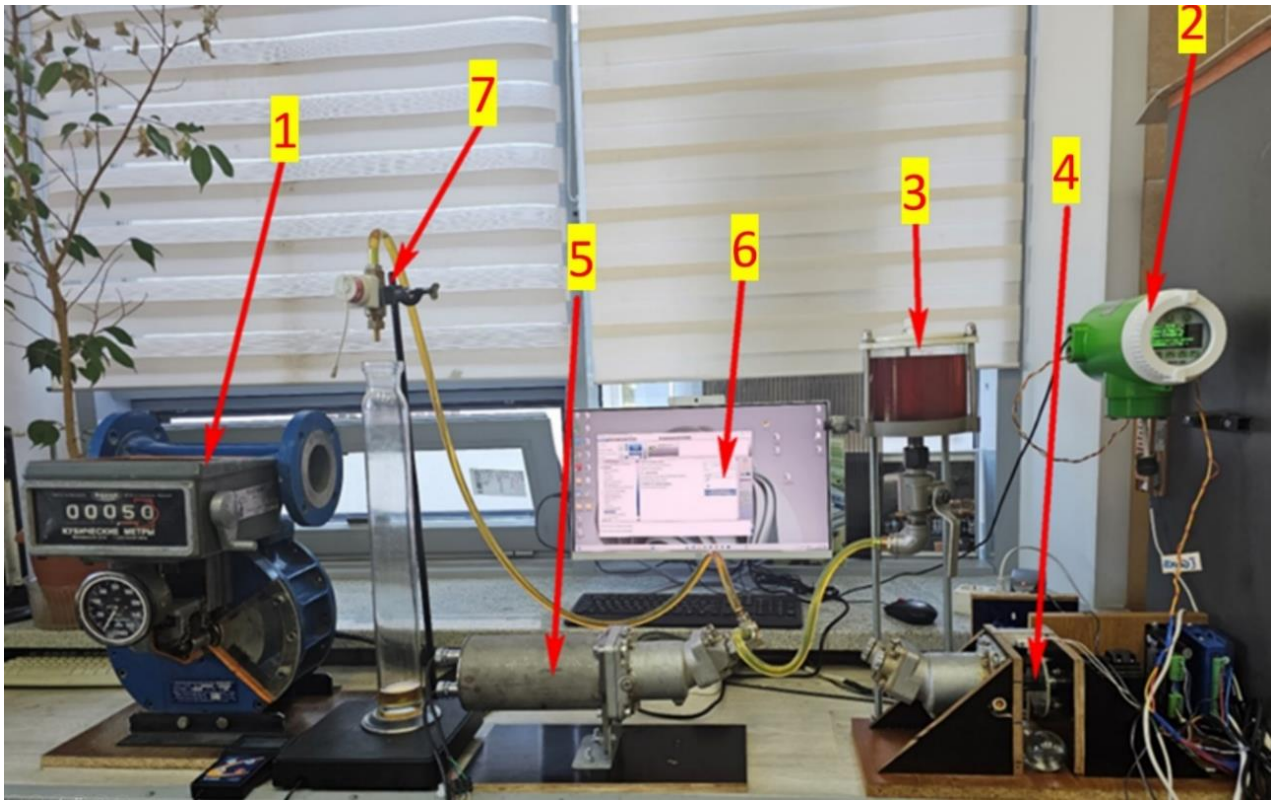


Рисунок 4.22 — Исследовательский стенд дозатора ПВКЖ с объемным счетчиком: 1 - объемный -счетчик расходомер «Alfons Haar»; 2 – массовый расходомер кориолисовый «ЭмиМасс»; 3 – контрольный резервуар ПВКЖ; 4 – прототип дозатора ПВКЖ с сервошаговым приводом; 5- опытный образец дозатора ПВКЖ с сервошаговым приводом; 6 - персональный компъютер, программы имитационного моделирования, калибровки, счета и деления импульсных сигналов; 7 - колба имитации места ввода ПВКЖ, смешивания и взвешивания

С целью создания новой схемы дозирования ПВКЖ, но основе ПЛК и ГСШД, для интеграции с массомером и объемным расходомерами, автором (в работе) разработаны и предложены гидравлическая и электронная схемы подключения выбранных выше компонентов (рисунок 4.24 и 4.26).

Гидравлическая схема дозатора, аналогична общепринятой схеме, применяемой на существующих средствах заправки, топливозаправщиков

аэродромных сервисёрах, а также перронных пунктах налива (ППН), использующих счетно-дозирующие системы на основе объемных расходомеров, которая приводилась в начале главы на (рисунок 4.6) за исключением отсутствия указателя циркуляции, и мерного стакана, в которых теперь нет необходимости, поскольку новая система дозирования самостоятельно и автоматически контролирует непрерывность потока ПВКЖ, и измеряет объем прокачиваемой ПВКЖ. В случае отклонения этих параметров, работа системы блокируется, а заправка ВС автоматически прекращается.

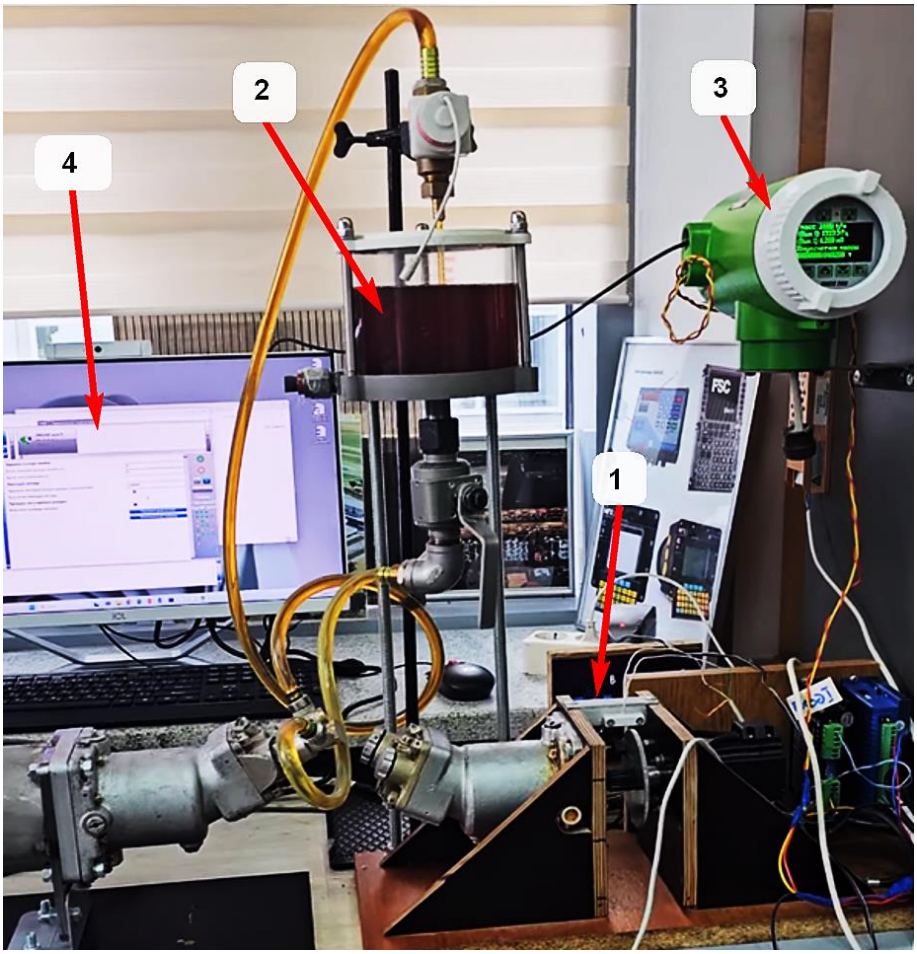


Рисунок 4.23 — Исследовательский стенд и прототип дозатора с массовым расходомером: 1 - прототип дозатора ПВКЖ; 2 – контрольный резервуар ПВКЖ; 3- вычислитель массомера «Эмимасс»; 4 -персональный компьютер, программы имитационного моделирования, калибровки, счета и деления импульсных сигналов

Представленная с на рисунке 4.24 гидравлическая схема дозирующей системы на ГСШД и ПЛК, одинаково подходит как для объемных счетчиков-расходомеров, так и для массовых расходомеров - массомеров Кориолиса. В этом заключается универсальность разработанной автором дозирующей системы ПВКЖ на основе ГСШД и ПЛК.

Разработанная автором электронная схема системы дозирования ПВКЖ на основе ПЛК и ГСШД представлена на рисунках 4.25 и 4.26.

Функции, выполняемые электронной схемой системы дозирования, заключаются, в получении импульсного сигнала от счетчика-расходомера или импульсного дискретного выхода массового расходомера авиатоплива, определении цены импульса (соответствие числа импульсов расходу счетчика) и деления частоты этих импульсов, с заданным согласно дозировке коэффициентом деления, для формирования импульсного сигнала для драйвера сервошагового двигателя, приводящего во вращение для насоса - дозатор.

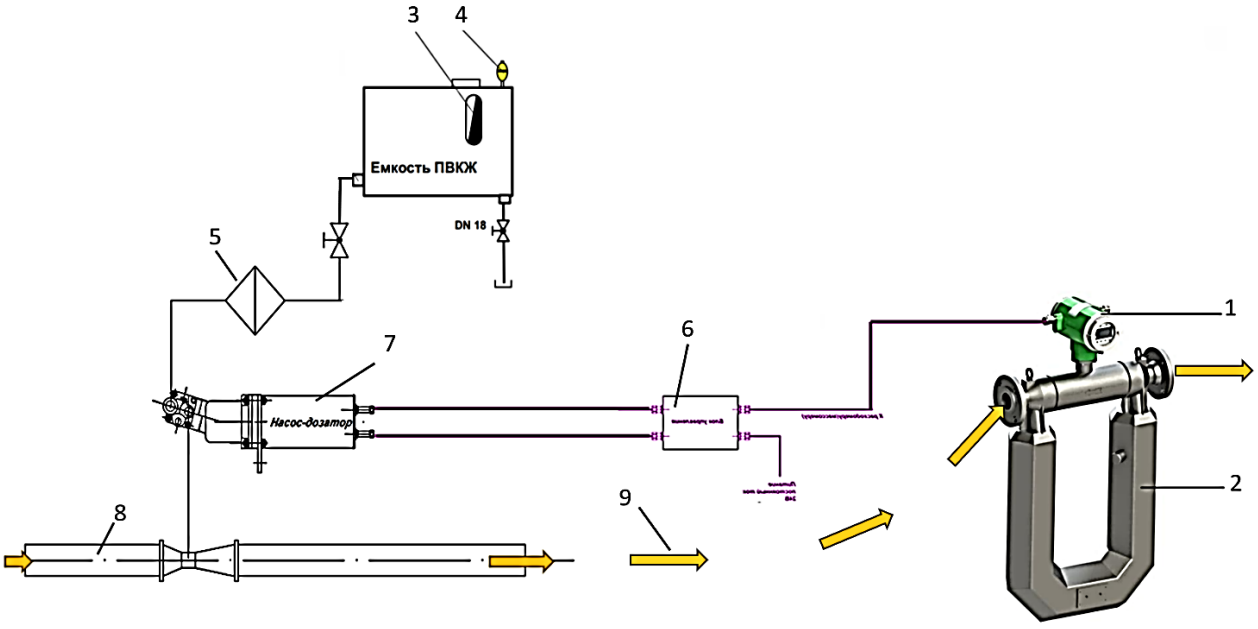


Рисунок 4.24 — Гидравлическая и электрическая схемы системы дозирования ПВКЖ, с массовым расходомером ЭМИМАСС: 1 - массовый расходомер «ЭМИМАСС»; 2 - топливопровод; 4 -дыхательный клапан; 3 - емкость ПВКЖ; 5 - фильтр 2 мкм; 6 - электронный блок управления системы дозирования ПВКЖ; 7 – насос - дозатор на основе ГСШД; 8 - топливопровод; 9 - поток авиатоплива

Схема подключения дозатора к объемному счетчику – расходомеру представлена на рисунке 4.26.

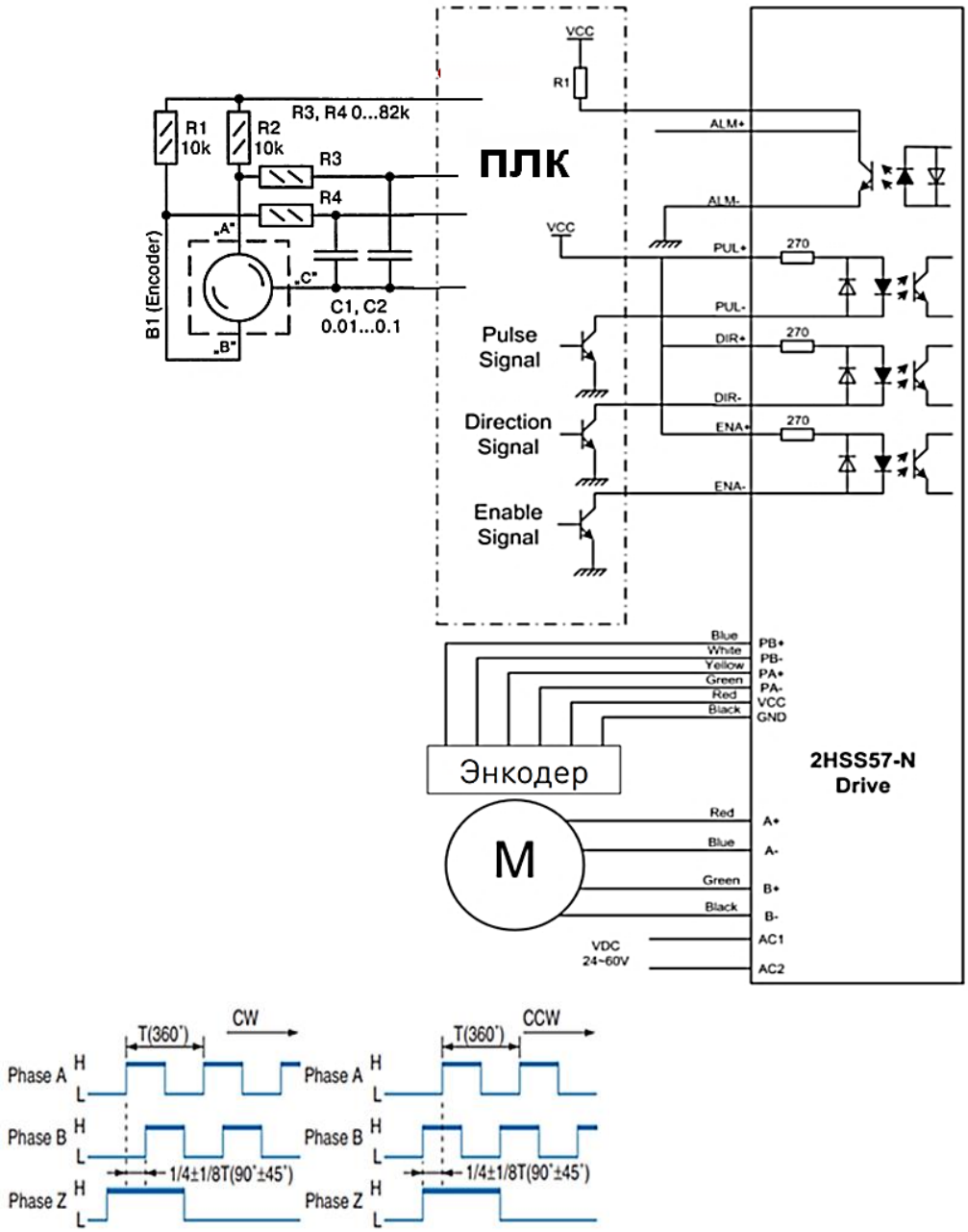


Рисунок 4.25 — Схема подключения дозатора к объемному счетчику – расходомеру: 1 – энкодер расходомера-счетчика; 2 – программируемый логический контроллер ПЛК; 3 - Драйвер сервошагового привода 2HSS57-N; 3 - шаговый двигатель[215]; 4 - энкодер шагового привода; 5 - форма импульсного сигнала меандр

Схема подключения дозатора к счетчику – расходомеру массовому (Кориолиса) представленная на рисунке 4.26, ничем не отличается от схемы для объемного счетчика расходомера, различие только в настройке коэффициента деления импульсов, который подбирается при калибровке дозирующей системы,

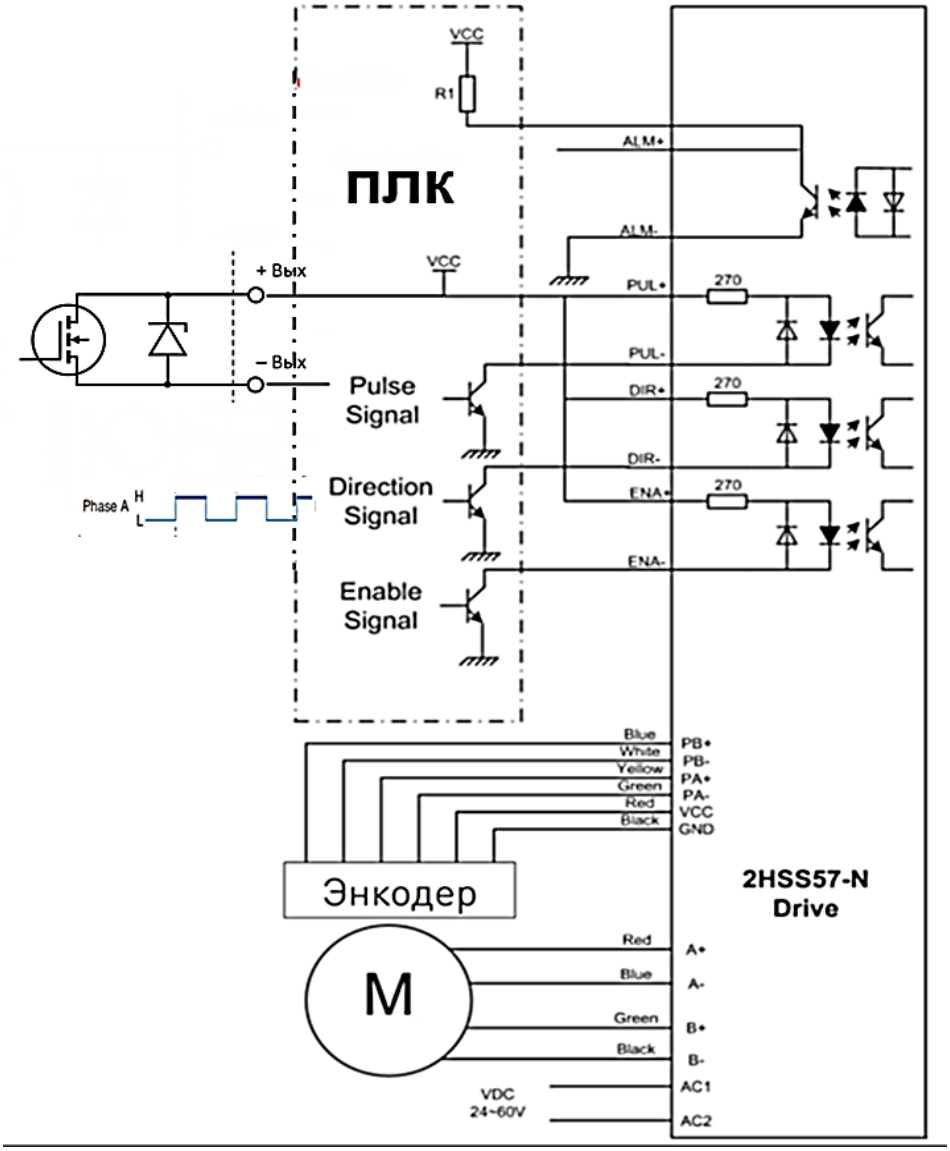


Рисунок 4.26 — Схема подключения дозатора к счетчику – расходомеру массовому (Кориолиса): 1 - пассивный частотно-импульсный и дискретный выход счетчика-расходомера массового; 2 - ПЛК; 3 - шаговый двигатель, 4 - энкодер шагового привода, 5 - форма импульсного управляющего сигнала (меандр)

в этом тоже заключается универсальность системы , позволяющая работать со всеми возможными средствами измерения количества авиатоплива, как с

массовыми расходомерами, так и с объемными счетчиками любых конструкций и типов.В результате экспериментально-теоретической работы, предложена система дозирования ПВКЖ в авиатопливо с использованием насоса-дозатора с приводом от гибридного сервошагового двигателя и управлением от программируемого логического контроллера (PLC), которая в полной мере соответствует требованиям по дозированию ПВКЖ как для гражданской, так и военной авиации. Для проверки работоспособности предлагаемой системы в работе разработан исследовательский стенд, максимально имитирующий систему дозирования, применяемую в технологических процессах ТЗК при заправке ВС [215].

Перспективы дальнейшего развития дозирующей системы ПВКЖ на основе ГСШД: Разработанный автором прототип нового счетно-дозирующего устройства, объединенный с датчиком динамического измерения фактического процентного содержания ПВКЖ в потоке заправляемого авиатоплива, теоретически разработанный автором в главе №2, и работоспособность которого экспериментально подтверждена в главе №3, при совместном объединении в одно устройство, предоставляют возможность создания (разработки) информационно – управляющей системы дозирования ПВКЖ, представлена на рисунке 4.27. Разработка датчика фактического %-содержания ПВКЖ в потоке заправляемого авиатоплива, а также разработанный новый принцип дозатора на основе дают возможность создания автоматизированной системы дозирования с обратной связью, коррекции отклонений дозируемого объема (массы) ПВКЖ, позволит:

- Отменить существующую ежесменную проверку работоспособности дозатора (трудоемких и дорогостоящих (весьма затратных) технологических операций);
- полностью исключить ручные действия оператора по контролю работоспособности дозатора ПВКЖ во время заправки (исключить негативное влияние человеческого фактора);
- Исключить риски возможной заправки ВС некондиционным авиатопливом.

- Что в итоге обеспечит повышение уровня безопасности полетов ВС, а также даст экономический эффект за счет сокращения затрат.

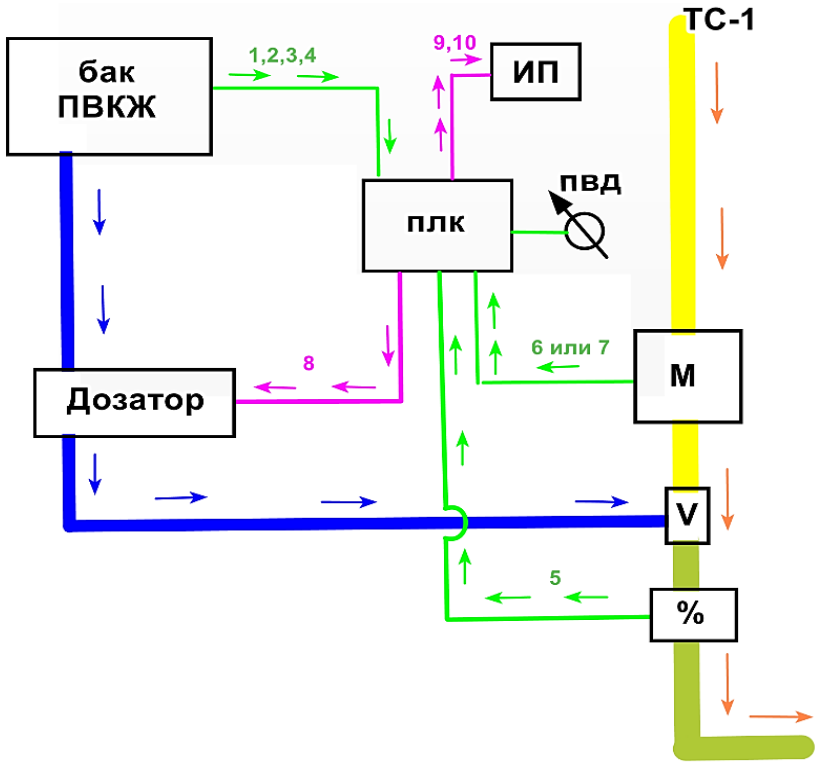


Рисунок 4.27 — информационно – управляющая система дозирования ПВКЖ: 1 – расходомер авиатоплива ТС-1, счетчик-энкодер или массомер Кориолиса; 2 - программируемый логический контроллер; 3 - переключатель выбора дозы ±0,1; ±0,2; ±0,3; 4.-бак ПВКЖ -плотномер-уровнемер-датчик потока; 5 -дозатор: насос-дозатор- гибридный сервошаговый двигатель (ГСШД) -драйвер; 6 - узел ввода и смешения; 7 - монитор/детектор процентного содержания ПВКЖ; 8 - информационная панель; гидролиния - Авиатопливо; гидролиния - ПВКЖ; - гидролиния- Смесь ПВКЖ и авиатоплива; Информацинные потоки (данные): 1 - Уровень ПВКЖ; 2 - Плотность ПВКЖ; 3 - Датчик потока ПВКЖ; 4 - Датчики предельных уровней MAX-MIN ПВКЖ; 5 - Процентное содержание ПВКЖ; 6 - квадратурные сигналы энкодера–датчика угла поворота счетчика авиатоплива; 7 - Вычислитель массы, расходомера кориолисового; Управляющие потоки: 8 - Квадратурный сигнал управления ГСШД 9- Заданный и выданный объем и масса ПВКЖ, 10 фактическое %-содержание ПВКЖ в смеси

4.6 Разработка программного обеспечения программируемого логического контроллера для нового дозатора противоводокристаллизационной жидкости

Для формирования импульсов управления шаговым двигателем дозатора, импульсный сигнал от расходомера, должен быть преобразован в соответствии с заданным коэффициентом, по аналогии с механическим редуктором с передаточным отношением равным коэффициенту деления, по описанному выше алгоритму. Аппаратная часть собрана на ПЛК ATmega Arduino Nano V3.0 [215] и представлена на рисунке 4.28. Программный код написан в среде на языке Arduino, созданном на базе C++ с использованием специальной интегрированной среды разработки (IDE) и представлен в приложении Д.

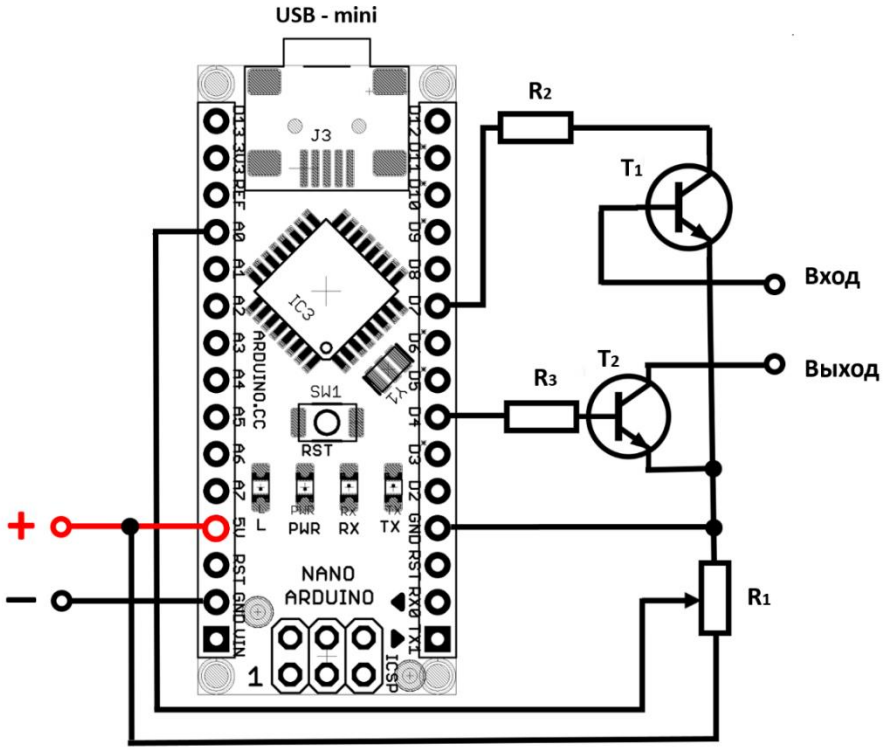


Рисунок 4.28 — Схема делителя частоты импульсов с плавной регулировкой коэффициента деления: 1.-T_1, T_2 транзистор BC239B; R_1-10кОм; R_2-1,2кОм; R_3-1,2кОм

В разработанной программе реализован принцип электронного редуктора, сопрягающего датчик импульсов (энкодера поворота счетчика-расходомера или вычислителя Кориолиса) с серво шаговым двигателем. Входной сигнал, квадратурный меандр с амплитудой 5 вольт, выходной такой же.

В программе предусмотрена возможность интегрировать датчик коррекции температуры, датчик процентного содержания ПВКЖ, (и) или плотности, если встроить в схему соответствующие датчикам.

Настройка сводится к подбору коэффициента (индивидуальная калибровка) и выбору коэффициента умножения «К». В настоящем коде записан коэффициент К=1.5.

A0 pin ардуино - вход от потенциометра регулятора (10кОм) 2pin ардуино - вход - сигнал энкодера или вычислителя массомера 3pin ардуино - вход - сигнал от энкодера объемного счетчика 4pin ардуино - выход – на драйвер ГСШД (через транзистор $Т_2$) 7pin ардуино - выход - на драйвер ГСШД (через транзистор$Т_1$)

Квадратурный сигнал меандр ($Ж_{Топ-}$ цена импульса пропорциональна объемному расходу топлива). В ПЛК программно преобразуется (функция деления частоты с коэффициентом деления К) в квадратурный сигнал с ($Ж_{пвкж}$ ценой импульса расхода ПВКЖ). Таким образом, в соответствии с расходом топлива производится пропорциональное прокачивание ПВКЖ. Коэффициент деления (К), назначается (выбирается оператором) согласно требуемого норматива.

Частотно-импульсный выход может работать в 2-ух режимах:

- Импульсный режим (режим фиксированного импульса);
- Частотный режим;

В импульсном режиме за единицу времени измерения на выход выводится целое число импульсов заданной длительности или скважности. Это число импульсов, умноженное на цену одного импульса, соответствует значению измеряемой величины:

$$Q = \frac{3{,}6 \times K_p \times N}{\Delta t} \qquad (4.15)$$

где Q — значение расхода [т/ч или м^3/ч], Кр — цена импульса [кг/имп или л/имп], N — число импульсов за время измерения, Δt- время измерения [с].

Цену импульса следует выбирать таким образом, чтобы при максимальном расходе частота на выходе не превышала 10000 Гц.

$$f_{\text{вых}} = \frac{Q}{3{,}6 \times K_p} \tag{4.16}$$

где $f_{\text{вых}}$- текущая частота выхода [Гц], Q - значение расхода [т/ч или м^3/ч], K_p — цена импульса [кг/имп или л/имп].

Преобразователь частоты импульсов – делитель частоты импульсов

Для дискретного выбора дозы и переключения режимов дозирования - 0,1%, 0,2% и 0,3 %, в работе разработан делитель (умножитель) импульсов - устройство, которое при подаче на его вход периодической импульсной последовательности формирует на выходе такую же последовательность, но имеющую частоту повторения импульсов, в определенное число раз меньшую(большую), чем частота повторения импульсов входной последовательности.

Преобразователь частоты импульсов (рисунок 4.29), предназначен для согласования импульсного выхода расходомера авиатоплива, объемного счетчика или массомера кориолисового, с драйвером гибридного сервошагового привода (ГСШД) объемного гидронасоса присадки ПВКЖ, имеющие фиксированный коэффициент деления «К».

Рисунок 4.29 — Внешний вид делителя - преобразователя частоты импульсов, и назначение выходов

Устройство производит измерения периода входных импульсов и согласно запрограммированным коэффициентам, генерирует импульсы на выходе требуемой частоты (кратной соотношению входного и выходного

коэффициентов). Программирование производится уже разработанным выше программным обеспечением.

Преимуществами разработанного делителя-преобразователя частоты импульсов, являются:

- наличие универсального импульсного входа, с размахом от 2 вольт и любым смещением относительно отрицательной линии питания;
- программно настраиваемая подтяжка выхода;
- режим тестирования делителя для проверки правильности настройки;
- настройка пределов частотного диапазона (минимальное и максимальное значение), коррекции для выходного коэффициента.

Для настройки, устройство подключается к персональному компьютеру с помощью кабеля USB-MiniUSB.

На рисунке 4.30 представлено главное диалоговое окно программы настройки. Приложение имеет интуитивно понятный интерфейс и настраивается во время калибровки дозатора ПВКЖ.

Имеется возможность запрограммировать устройство без подключения к дозатору при наличии достоверных данных о требуемых настройках.

После запуска приложения, поля автоматически заполняются записанными в устройство значениями (рисунок 4.30). После установки новых значений коэффициентов нажимается кнопка «Записать».

Кнопка «Выключить» (рисунок 4.32) включает и выключает внутреннюю подтяжку выхода. Записывая значение в устройство сразу после нажатия. Красный кружок рядом с кнопкой сигнализирует о подключение внутреннего подтягивающего резистора на 10 кОм между выходом и линией питания.

На основании вышеизложенного, можно сказать, что разработанное в диссертации программное обеспечение позволяет синхронизировать управляющие сигналы от расходомера (массомера) и формировать управляющий импульсный сигнал для ГСШД разработанного дозатора ПВКЖ, по заданному алгоритму согласно выбранной дозы ПВКЖ. Кроме того, алгоритмом программного обеспечения, разработаного автором, предусмотрена интеграция с любым

(объемным или массовым) счетно-расходомерным средством измерения, оснащенным цифровым импульсным выходом, в том числе с массомерами Кориолиса, что делает его универсальным для применения в ТЗК. А также алгоритм программы, позволяет производить расчет и корректировку дозы ПВКЖ, как в массовых единицах процентного содержания в авиатопливе, так и в объемных, в зависимости от выбора оператора заправки ВС. А также на программном уровне возможно вариативное изменение дозы ПВКЖ с учетом, измерений температуры, плотности и фактического процентного содержания ПВКЖ. Перечисленные возможности могут быть реализованы с применением разработанного выше датчика динамического измерения ПВКЖ в потоке.

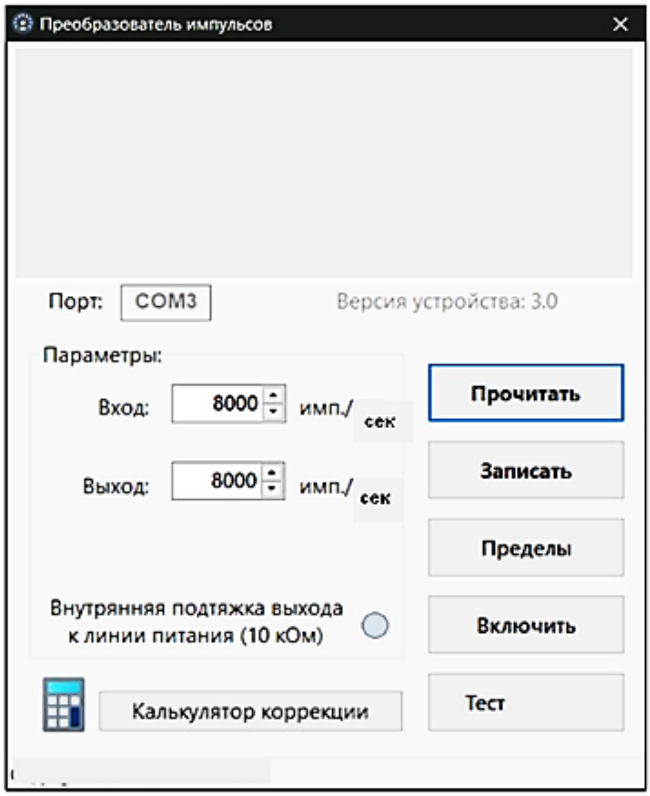


Рисунок 4.30 — Диалоговое окно настройки делителя-преобразователя частоты

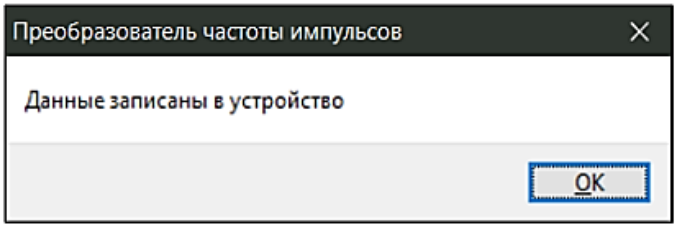


Рисунок 4.31 — Сообщение о записи данных в устройство

Рисунок 4.32 — Управление внутренней подтяжкой выхода

Система может быть интегрирована с информационно-управляющими системами АСУТП ТЗК, коммерческого и оперативного учета авиаГСМ, систем аварийной сигнализации, систем визуального отображения, информационных панелей, а также в случае любого нарушения работы системы дозирования управления блокировкой процесса заправки ВС (с подключением к штатной системе «DEADMAN»).

4.7 Испытания прототипа дозатора противоводокристаллизационной жидкости в лабораторных условиях

Как было отмечено выше, предлагаемая система дозирования требует проведения лабораторных испытаний с целью проверки точности дозирования ПВКЖ, согласования всех сигналов (от массомера и на выдачу дозы жидкости и т.д.), а также работоспособности всей системы дозирования и при необходимости ее корректировки. Испытания проводились на разработанном стенде (рисунок 4.24 и 4.25).

Исходные данные для испытания приняты из нормативных требований и приведены в % соотношении в таблице 4.3.

Таблица 4.3. Поле допуска % дозирования

Норма	MIN	mediāna	MAX
0,1+0,05%	0,1	0,125	0,15
0,2 ±0,02%	0,18	0,2	0,22
0,3 ±0,03%	0,27	0,3	0,33

Для удобства визуального восприятия эти исходные данные представлены «вещественной форме» в таблице 4.4.

Таблица 4.4. Вес из расчета грамм на тонну

Норма	MIN	mediāna	MAX
0,1+0,05%	1000	1250	1500
0,2 ±0,02%	1800	2000	2200
0,3 ±0,03%	2700	3000	3300

Предварительно произведена калибровка цены импульса массомера, выраженная в граммах прокачанного гидронасосом - дозатором ПВКЖ, а результаты представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5. Калибровка делителя 0,1 (на массомере)

Цена импульса (массомер)	Вес ПВКЖ
0,01900	983
0,01850	1020
0,01800	1040
0,01700	1111
0,01650	1144
0,01500	1276
0,01450	1302
0,0005	**≈20**

На стенде определялось количество дозируемой ПВК-жидкости при различных расходах топлива - 400 л/мин, 800 л/мин и 1200 л/мин и при заданных значениях концентрации.

В таблице 4.6 представлены данные, полученные по результатам проведения испытаний работоспособности дозатора ПВК-жидкости в лабораторных условиях.

Таблица 4.6. Результаты испытания работоспособности дозатора ПВКЖ

	Масса на весах до начала	Масса на весах после проведения дозирования
1.	**400 л/мин – 18,6 т/ч**	
1.1.	**Дозировка 0,1 %**	
	0 гр	983 гр
1.2.	**Дозировка 0,2 %**	
	0 гр	2002 гр
1.3.	**Дозировка 0,3 %**	
	0 гр	2974
2.	**800 л/ мин – 37,2 т/ч**	
2.1.	**Дозировка 0,1 %**	
	0 гр	993 гр
2.2.	**Дозировка 0,2 %**	
	0 гр	2019 гр
2.3.	**Дозировка 0,3 %**	
	0 гр	2955 гр
3.	**1200 л/ мин – 55,8 т/ч**	
3.1.	**Дозировка 0,1 %**	
	0 гр	1008 гр
3.2.	**Дозировка 0,2 %**	
	0 гр	2063 гр
3.3.	**Дозировка 0,3 %**	
	0 гр	3020гр

Проведенные исследования позволили экспериментально подобрать коэффициенты деления, дозатора ПВКЖ и цена импульса массомера топлива ТС-1 для максимального его расхода при заправке 1200 л/мин и дозировок 0,1, 0,2 и 0,3 %, в пределах допустимой погрешности (близких к медиане). Предполагается, что

рассчитанные коэффициенты, представленные в таблице 4.7 обеспечат удовлетворительное дозирование в диапазоне температур от -40 ^{0}C до +40 ^{0}C.

Таблица 4.7. Установки делителей дозатора ПВКЖ

ПВКЖ плотность, кг/м^3			
Температура, ^{0}C	20		
Делитель 0,1 **Цена импульса** (массомер)	**0,01900**		
Делитель 0,2	Вход	20000	0,50000
	Выход	40000	
Делитель 0,3	Вход	13650	0,34125
	Выход	40000	

Результаты предварительных испытаний показали работоспособность дозатора ПВКЖ в лабораторных условиях. Также проверена сходимость и воспроизводимость результатов измерений, что соответствует нормативным показателям. Результаты дозирования находятся в пределах допустимых погрешностей и их близость к медианному значению, позволяет предположить, что дозатор будет работоспособен в диапазоне температур от -40 ^{0}C до +40 ^{0}C).

4.8 Разработка опытного образца дозатора противоводокристаллизационной жидкости

На основании проведенных лабораторных испытаний и прототипа дозатора в работе разработан опытный образец дозатора ПВКЖ, который

отвечает требованиям НТД. Конструктивно дозатор состоит из корпуса и насоса скрепленных между собой фланцевым соединением представлен на рисунке 4.33, и общий вид дозатора на рисунке 4.34, а также блока управления с переключателем выбора дозы и светодиодными индикаторами рисунок 4.35.

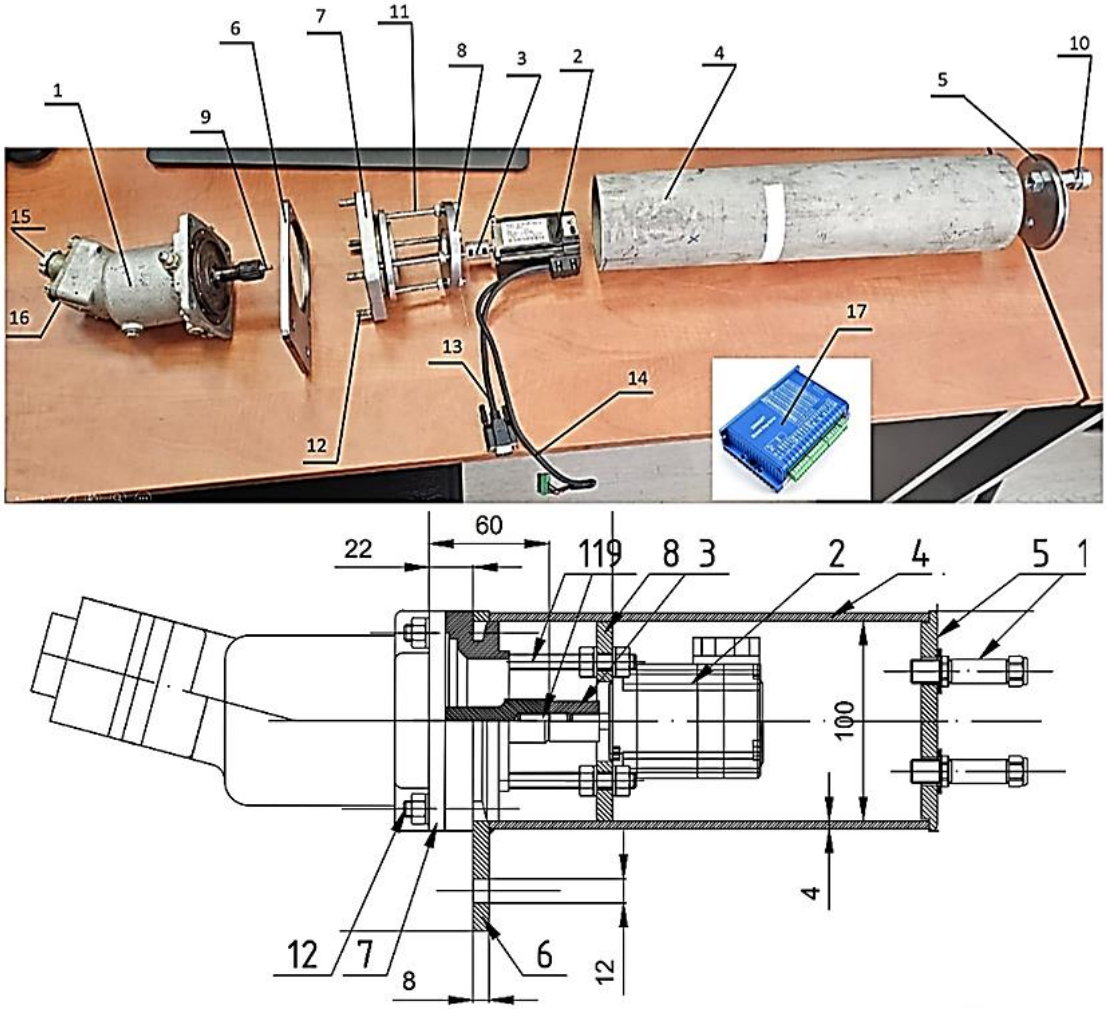


Рисунок 4.33 — Дозатор ПВКЖ с приводом сервошагового двигателя:

1. - насос НП 25-5; 2 - двигатель шаговый с энкодером; 3 - муфта соединительная; 4 - корпус; 5 - крышка; 6 - кронштейн крепления; 7 - фланец; 8 - фланец; 9 – вал; 10 - сальник; 13 - штуцер входной; 14 - штуцер выходной

Проведенные теоретические обоснования разработки системы дозирования на основании нового дозатора с ПЛК подтверждены лабораторными испытаниями. Результаты испытаний позволяют выделить преимущества разработанной системы перед существующими.

- совместима с любым расходомером-счетчиком, а также массовым расходомером Кориолиса;

- обеспечивает возможность дозирования как в массовых единицах, так и в объемных, что соответствует требования как гражданских ВС, так и МО ВКС.

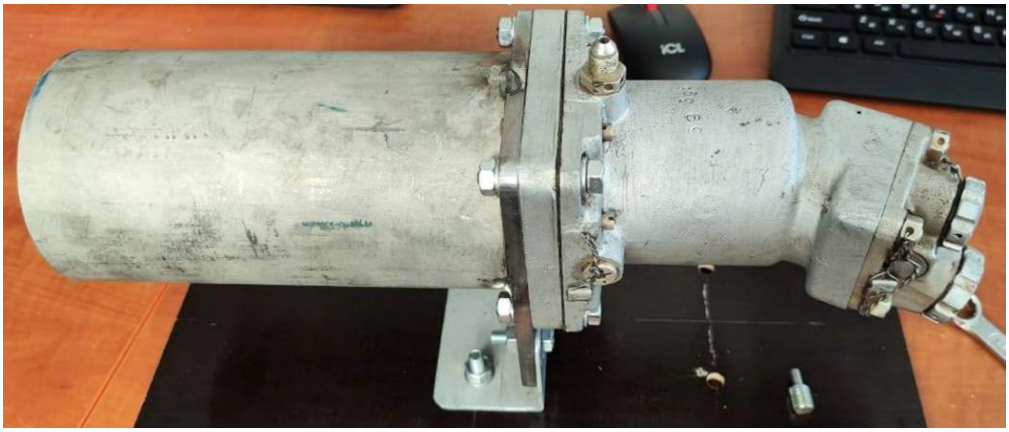


Рисунок 4.34 — Общий вид Дозатора ПВКЖ с приводом сервошагового двигателя

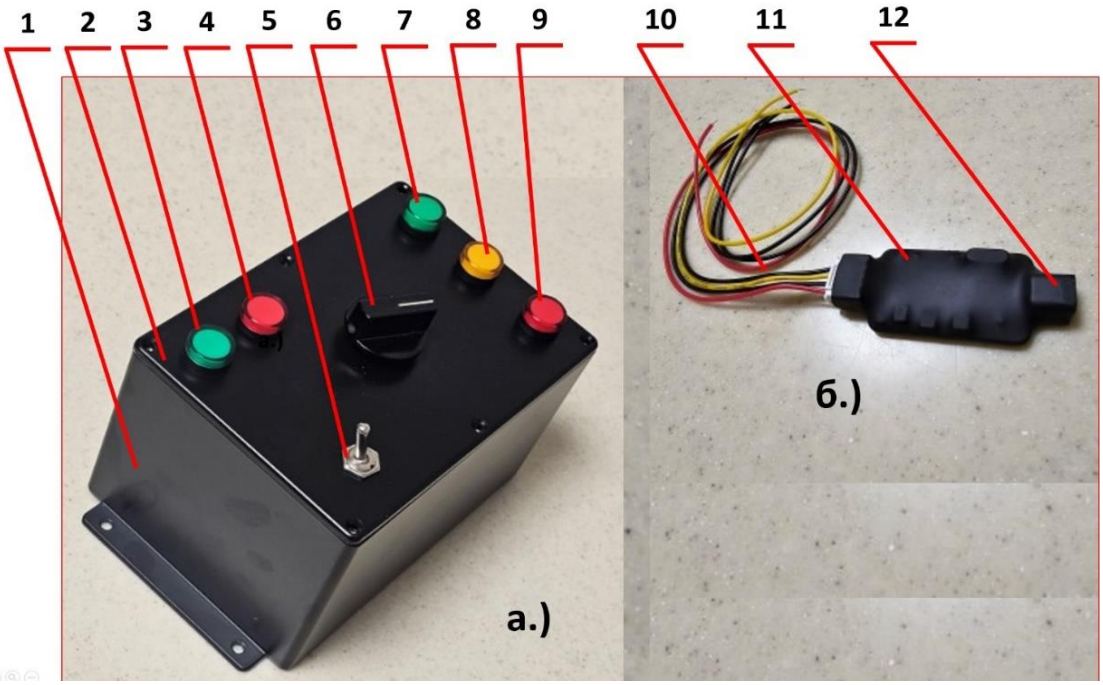


Рисунок 4.35 – Внешний вид блока управления: а) Блок управления системы дозирования ПВКЖ: 1 – корпус; 2 - крышка корпуса; 3 - индикатор «ВКЛ»; 4 - индикатор «авария»; 5 - переключатель «Вкл-Выкл»; 6 - переключатель «Выбор дозы»; 7 - индикатор «Доза 0,1»; 8 - индикатор «Доза 0,2»; 9 - индикатор «Доза 0,3»; б.) ПЛК- Делитель импульсов: 10. – жгут проводов с разъемом: вход, выход, питание; 11- корпус делителя; 12-разъем USB – mini

Разработанный дозатор, отличающийся тем, что обеспечивает**:**

возможность интеграции (совместной работы) как с объемными, так и с массовыми расходомерами любых конструкций и исполнений (при индивидуальной калибровке);

- высокую точность введения присадки ПВКЖ, за счет применения энкодера (датчика угла поворота) механически связанного с сервошаговым двигателем
- дозировку как в объемных пропорциях, так и в пропорциях массовых единиц [215], за счет применения плотномера.
- возможность вариативного выбора дозы присадки ПВКЖ, (0,1; 0,2 и 0,3%), а также любой другой концентрации;
- тонкую подстройку (компенсацию) за счет обратной связи с плотномером и детектором %-содержания ПВКЖ.

Таким образом, разработанная система дозирования жидкой присадки с насосом-дозатором с приводом от сервошагового электродвигателя с микроконтроллерным управлением – позволяет работать как с системами с массовым, так и объемным дозированием[214, 215]. Опытный образец Дозатора ПВКЖ на основе гибридного сервошагового привода, был смонтирован на штатном топливозаправщике аэродромном ТЗА-22-FM, для производственных испытаний в реальных условиях действующего ТЗК. Гидравлическая схема подключения представлена на рисунке 4.36.

Установленный (смонтированный) дозатор ПВКЖ на основе гибридного сервошагового привода, представлен на рисунке 4.37.

Методика проведения: в ходе перекачивания топлива производилось дозированное введение ПВКЖ, на разных скоростях (производительностях). Измерялось количество израсходованной жидкости на каждом этапе измерения, с синхронным отбором проб, анализ пробы производился в лаборатории рефрактометрическим методом. Данные были занесены в таблицу и построены графики расчетного и фактического %-содержания ПВКЖ в авиатопливе представлены в таблицах Е.1 и Е.2 на рисунках Е.1 и Е.2. приложения Е.

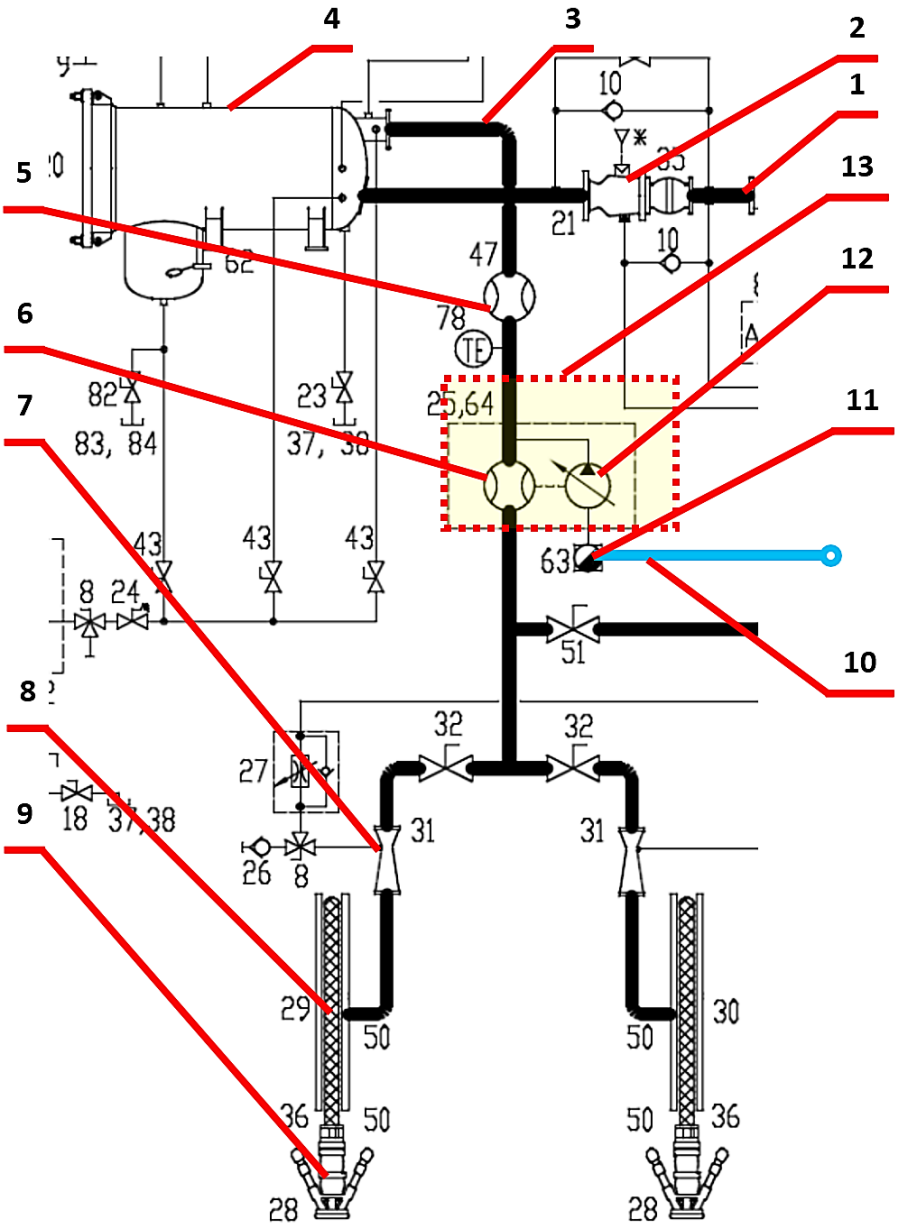


Рисунок 4.36 – Технологическая схема ТЗА-22-FM (фрагмент) с установленным дозатором на основе ГСШД: 1 - линия топливопровода от центробежного насоса; 2 - клапан-регулятор «ИНЛАЙН»; 3 - линия топливопровода после фильтра-водоотделителя; 4 - Фильтр-водоотделитель топливный; 3 - линия топливопровода перед фильтром- водоотделителем; 5 - массовый расходомер (Кориолиса); 6 - счётчик топлива «Alfons Haar»; 7 – регулируемая труба Вентури [72]; 8. – барабан однорядный; 10.- линия ПВКЖ; 11.-указатель движения ПВКЖ; 12 - насос дозатор «Alfons Haar»; 13 - демонтируемое оборудование счетно-дозирующей системы «Alfons Haar»

Отбор проб осуществлялся в соответствии с ГОСТ 2517-2012 и «Руководством по приему, хранению, подготовке к выдаче на заправку и контролю качества авиационных горюче - смазочных материалов и специальных жидкостей в предприятиях воздушного транспорта Российской Федерации», утвержденным приказом ДВТ МТ РФ от 17.10.92 № ДВ-126, при дозировке 0,1; 0,2 и 0,3 ПВКЖ при различных производительностях для каждой дозировки (400 л/мин; 500 л/мин; 700 л/мин; 1000 л/мин; 1200 л/мин).

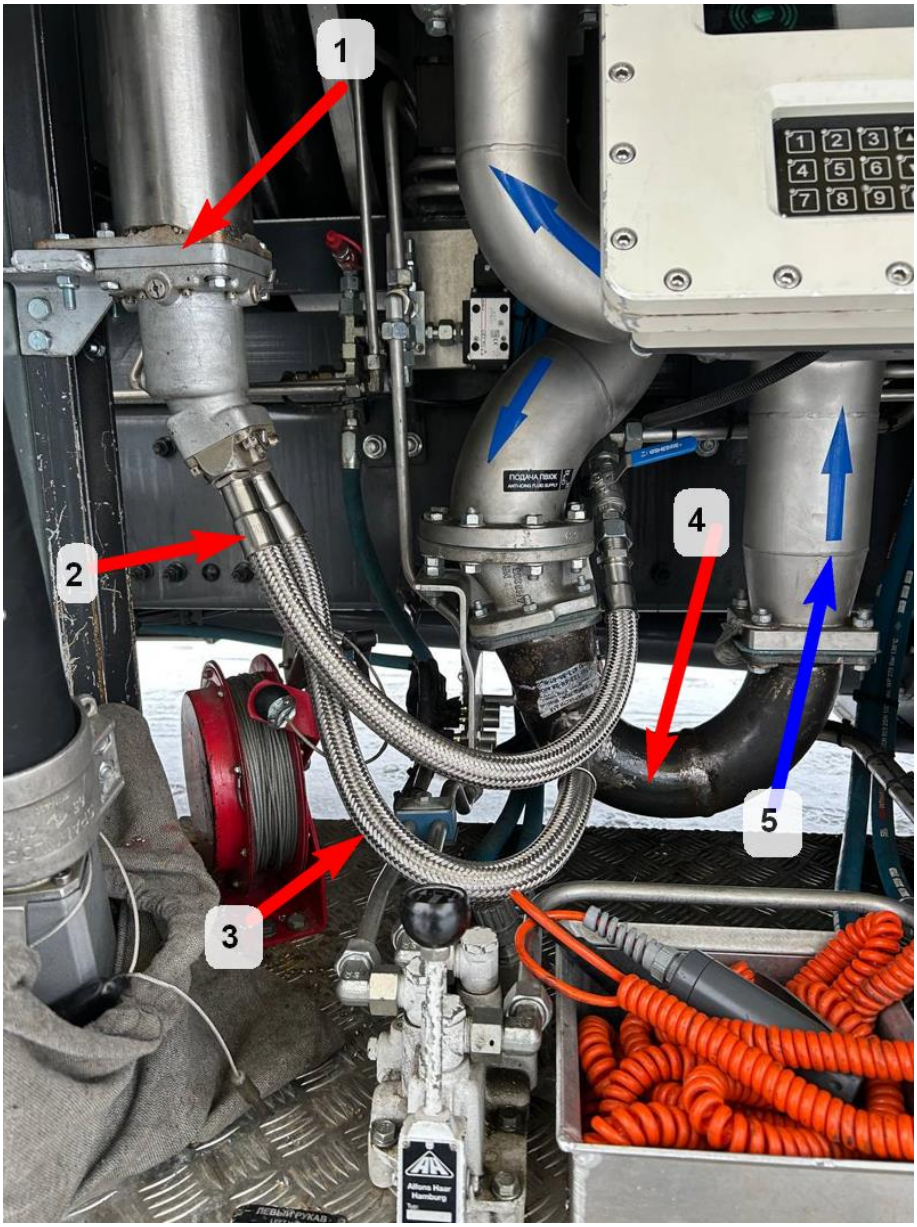


Рисунок 4.37 – Дозатор ПВКЖ на основе гибридного сервошагового привода, установленный в технологическом отсеке топливозаправщика аэродромного ТЗА-22-FM: 1 - дозатор ПВКЖ; 2 - вход ПВКЖ; 3 - выход ПВКЖ; 4 - точка смешивания ПВКЖ-авиатопливо; 5 - направление движения авиатоплива

Отбор проб производился «перед рукавом» из дополнительной точки отбора, предназначенной для оценки динамики растворения ПВК жидкости в потоке авиатоплива, и из наконечника нижней заправки согласно программе по проведению эксплуатационных испытаний дозатора ПВК жидкости при различной производительности насоса [214, 215] с добавлением ПВК жидкости марки «И» и «И-М». Результаты исследования проб авиакеросина на содержание ПВК жидкости «И» представлены в таблицах Е.1 и Е.2 на рисунках Е.1 и Е.2. приложения Е.

Пробы исследовались в аккредитованной лаборатории ТЗК. В отобранных пробах определялись значения следующих показателей:

- содержание механический примесей и воды - визуально;
- содержание ПВК жидкости - рефрактометрическим методом.

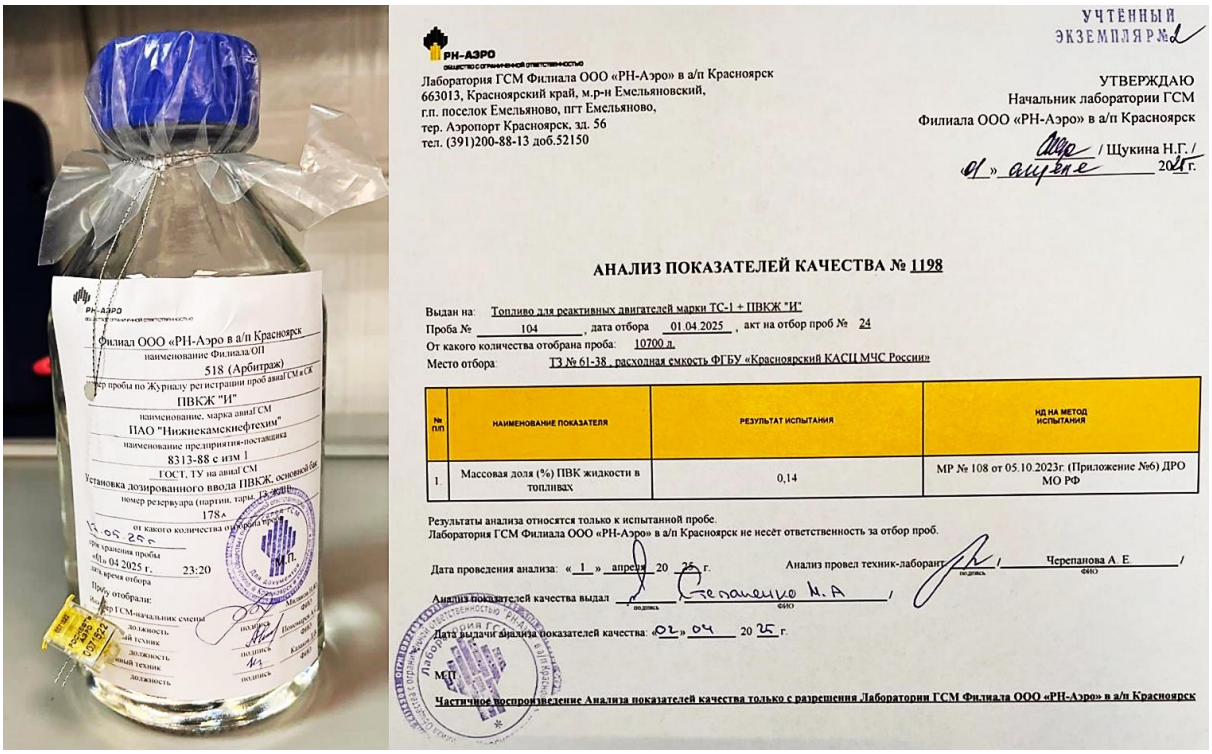
Из данных таблицы следует:

- установленные величины содержания ПВК жидкости в проверяемых рабочих диапазонах находятся в пределах, регламентированных отраслевой нормативно -технической документацией;

- получена удовлетворительная сходимость результатов определения содержания ПВКЖ между тремя пробами на всех диапазонах дозировки и при различной производительности прокачки авиакеросина;

- по результатам анализа величины содержания жидкости «И» в пробах, отбираемых перед раздаточным рукавом и из ННЗ раздаточного рукава, на всех диапазонах дозирования и на всех контролируемых режимах работы практически идентичны, что свидетельствует об эффективности выбранной схемы смешения жидкости «И» с авиакеросином.

Данные лабораторного анализа %-содержания, по рефрактометрическому методу, показали соответствие нормативным показателям (рисунок 4.38). Высокую сходимость и воспроизводимость измерений дозирования.



РН-АЭРО
общество с ограниченной ответственностью
Лаборатория ГСМ Филиала ООО «РН-Аэро» в а/п Красноярск
663013, Красноярский край, м.р-н Емельяновский,
г.п. поселок Емельяново, пгт Емельяново,
тер. Аэропорт Красноярск, зд. 56
тел. (391)200-88-13 доб.52150

УЧЁННЫЙ ЭКЗЕМПЛЯР №1

УТВЕРЖДАЮ
Начальник лаборатории ГСМ
Филиала ООО «РН-Аэро» в а/п Красноярск
/ Щукина Н.Г. /
«01» апреля 2025 г.

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА № 1198

Выдан на: Топливо для реактивных двигателей марки ТС-1 + ПВКЖ "И"
Проба № 104, дата отбора 01.04.2025, акт на отбор проб № 24
От какого количества отобрана проба: 10700 л.
Место отбора: ТЗ № 61-38, расходная емкость ФГБУ «Красноярский КАСЦ МЧС России»

№ п/п	НАИМЕНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ	РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ	НД НА МЕТОД ИСПЫТАНИЯ
1.	Массовая доля (%) ПВК жидкости в топливах	0,14	МР № 108 от 05.10.2023г. (Приложение №6) ДРО МО РФ

Результаты анализа относятся только к испытанной пробе.
Лаборатория ГСМ Филиала ООО «РН-Аэро» в а/п Красноярск не несёт ответственность за отбор проб.

Дата проведения анализа: «1» апреля 20 25 г. Анализ провел техник-лаборант _____ / Черепанова А. Е. /
Анализ показателей качества выдал _____ / Степанцова Н.А /
Дата выдачи анализа показателей качества: «02» 04 20 25 г.
М.П.

Частичное воспроизведение Анализа показателей качества только с разрешения Лаборатории ГСМ Филиала ООО «РН-Аэро» в а/п Красноярск

Рисунок 4.38 – Проба и анализ показателей качества авиатоплива

Данные таблицы 2 представленной в приложении №2 позволяют сделать следующие выводы:

- сходимость между результатами определения содержания жидкости «И-М» в топливе при различной производительности прокачки на всех регламентированных концентрациях находится в пределах точностных величин метода испытаний;

- величины определения содержания ПВКЖ «И-М» [23] в пробах, отобранных из точки отбора перед раздаточным рукавом и из ННЗ раздаточного рукава отличаются незначительно, что свидетельствует об удовлетворительном смешении жидкости «И-М» с топливом;

- величины содержания ПВКЖ «И-М» в авиатопливе в диапазоне 0,1% на производительности прокачки от 500 л/мин до 1200 л/мин находятся в пределах установленной нормы -0,1+0,05%, ближе к максимально-допустимому значению;

- величины содержания жидкости «И-М» в топливе при диапазонах 0,2% и 0,3% в большинстве исследованных проб превышают максимальный предел,

установленный отраслевой нормативно - технической документацией. Графики представлены на рисунках 4.39-4.41.

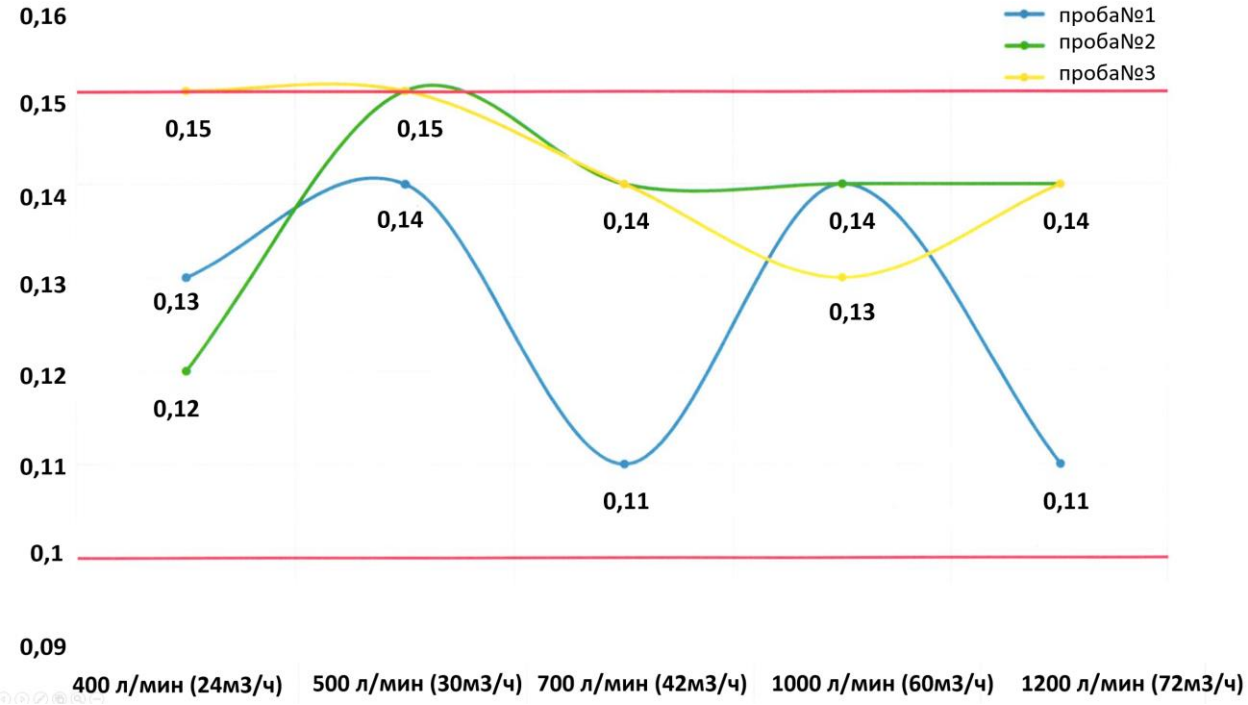


Рисунок 4.39 – Содержание ПВК жидкости ’’И-М" "перед рукавом" в режиме дозирования 0.1 %

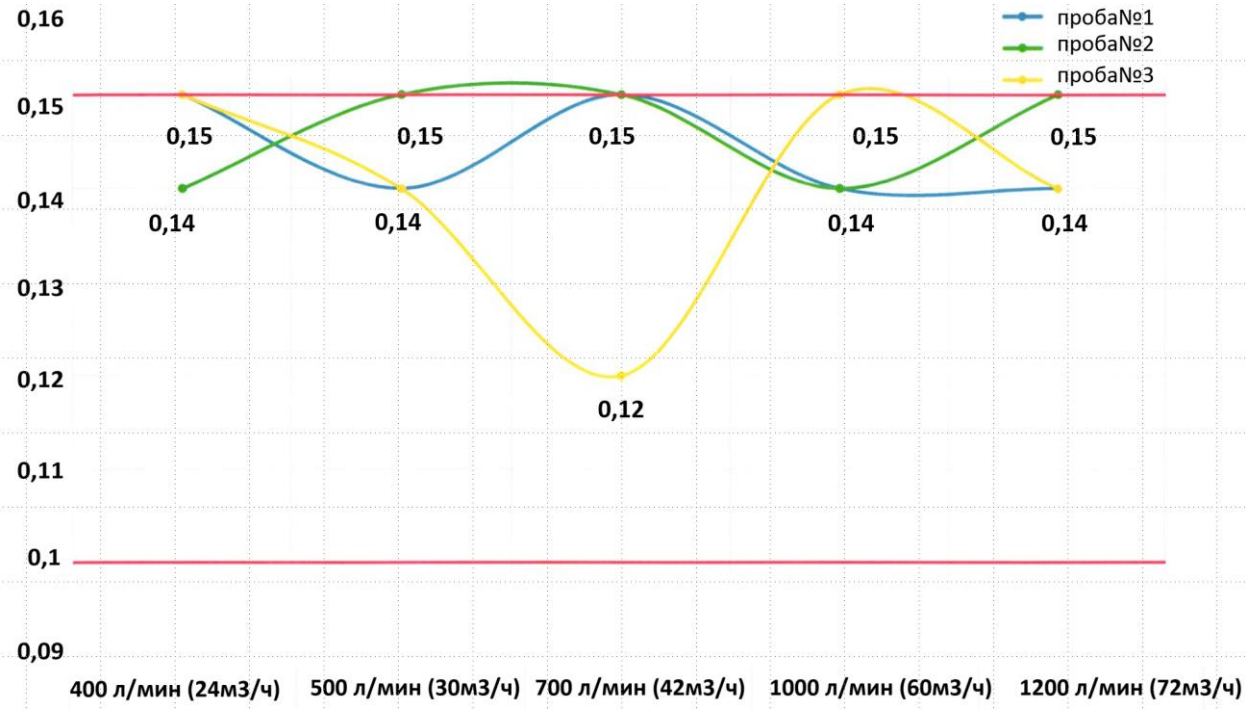


Рисунок 4.40 – Содержание ПВК жидкости "И-М" 0.1 % "ННЗ" в режиме дозирования 0.1 %

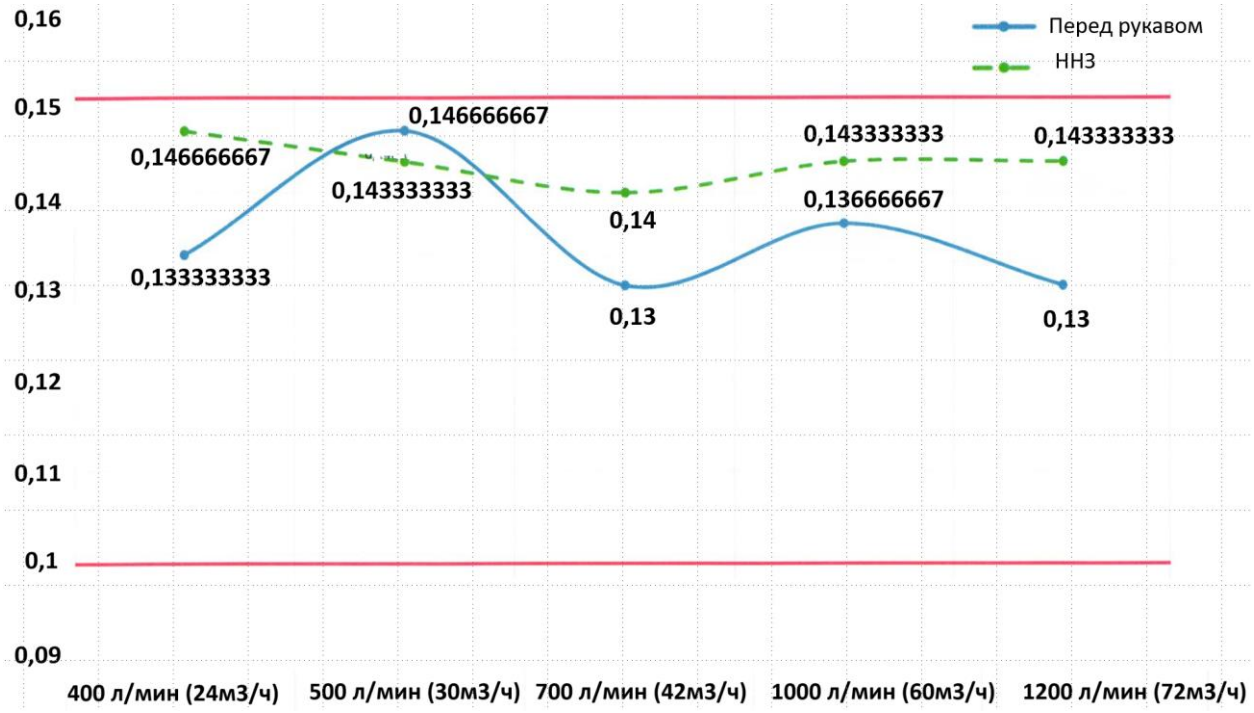


Рисунок 4.41 – Содержание ПВК жидкости "И-М" среднее значение "ННЗ" в режиме дозирования 0.1 %

Таким образом, сходимость между результатами определения содержания ПВК жидкостей на различных диапазонах работы дозатора, находится на удовлетворительном уровне и не выходит за рамки точностных параметров метода испытаний.

Опытный образец дозатора обеспечил дозирование IIВК жидкости «И-М» в топливо на диапазоне 0,1% на уровне, близком, к максимально-допустимому, или равном ему (0,1+0.05%).

При работе дозатора в диапазоне 0.2 и 0,3 %, полученные при испытаниях значения содержания ПВК жидкости «И-М» в большинстве исследованных проб превышали максимально-допустимые значения, установленные отраслевой документацией.

Дозатор обеспечивает равномерное смешивание ПВК жидкости с авиакеросином на различных диапазонах заданных концентраций.

Опытный образец дозатора обеспечил дозирование ПВК жидкости «И» в топливо в пределах диапазонов, установленного отраслевой документацией, при производительности прокачки от 500 до 1200 л/мин.

Установленный на ТЗА-22-FM, опытно - промышленный образец дозатора ПВКЖ на основе ГСШД в целях проведения эксплуатационных испытаний по определению возможности и условий его применения в системе авиатопливообеспечения топливозаправочных компаний гражданской авиации.

Эксплуатационные испытания базе топливозаправочной компаний с использованием противоводокристаллизационной жидкости марок «И» и «И-М» в диапазоне концентраций 0,1 - 0,3% по объему при производительности от 400 до 2500 л/мин. В ходе проведения испытаний образец дозатора обеспечил равномерное дозирование ПВК жидкости марок «И» и «И-М» в топливо в пределах диапазонов, установленных отраслевой документацией, при производительности прокачки от 400 до 2500 л/мин. На основании положительных результатов проведенного эксплуатационных испытаний:

1. Считать возможным рекомендовать к использованию в топливозаправочных компаниях гражданской авиации автоматизированный дозатора ПВКЖ на основе ГСШД наравне с ранее рекомендованными дозаторами.

2. Проверку работоспособности дозатора ПВКЖ на основе ГСШД производить в соответствии с требованиями отраслевой документации.

Вывод по главе 4.

1. На основании анализа существующих дозаторов отечественного и зарубежного производства, а также требований НТД установлено, что они имеют

конструктивные и технические недостатки и не отвечают современным требованиям, а именно: осуществляют дозирование ПВКЖ только в объемных пропорциях, что приводит к погрешности дозирования ПВКЖ, требуют ежесменного контроля и проверку работоспособности дозатора путем прокачивания 500 литров топлива с последующим лабораторным анализом, что приводит к финансовым потерям и простоям средств заправки, отсутствие возможности интеграции с АСУТП ТЗК и массовыми расходомерами Кориолиса, а также имеют частые отказы и сбои, кроме того введенные санкции и отказ компании Alfons HAAR (Германия) поставлять производимую продукцию, в том числе счетчики-расходомеры авиатоплива, оснащенные дозатором противоводокристаллизационной жидкости (ПВКЖ) создали критическую ситуацию в авиатопливообеспечении полетов ВС гражданской [214, 215] и государственной и военной авиации, на основании этого сформулированы требования к технологическому процессу дозирования ПВК-жидкости.

2. Теоретически обоснована и предложена концепция новой системы дозирования ПВКЖ позволяющая автоматизировать процесс ее ввода в поток авиатоплива [215], снизить влияние человеческого фактора и повысить БП.

3. Разработан прототип дозатора, на который получен патент РФ № 223152 и экспериментально подтверждены возможности создания системы дозирования ПВКЖ в авиатопливо.

4. Разработаны сборочные единицы конструкции универсального дозатора ПВК-жидкости [214, 215], совместимого как с объемными счетчиками, так и с массовыми расходомерами Кориолиса.

5. Разработан опытный образец универсального дозатора ПВК-жидкости, позволяющий:

- обеспечивать высокую точность введения присадки ПВКЖ, за счет применения энкодера (датчика угла поворота) механически связанного с сервошаговым двигателем;

- дозирование как в объемных пропорциях, так и в пропорциях массовых единиц [214,215],

- интеграцию в систему как с объемными счетчиками, так и с массовыми расходомерами любых конструкций и исполнений (с индивидуальной калибровкой) [214, 215];

- вариативный выбор дозы присадки ПВКЖ (0,1; 0,2 и 0,3%), а также любой другой концентрации;

- проводить точную подстройку (компенсацию) за счет обратной связи с плотномером и детектором % содержания ПВКЖ, что позволяет решить существующую на сегодня техническую проблему с ежесменными проверками работоспособности дозатора.

6. Разработана система дозирования ПВКЖ на основе гибридного сервошагового привода насоса-дозатора и программируемого логического контроллера, с возможностью интеграции с измерительными и информационно-управляющими системами ТЗК или АСУТП, что позволяет исключить недостатки существующих систем дозирования, а также обеспечить импортозамещение оборудования ТЗК.

7. Проведенные лабораторные испытания разработанного универсального дозатора ПВК-жидкости с ПЛК и СШД, а также системы дозирования показали высокую сходимость с нормативными показателями, а именно: 0,1+0,05%; 0,2$\pm$0,02% и 0,3$\pm$0,03%.

8. Разработан опытный образец универсального дозатора ПВК-жидкости с ПЛК и СШД, который прошел испытания в условиях эксплуатации на аэродромном топливозаправщике и показал точность дозирования ПВКЖ в соответствии с требованиями НТД, а также высокую работоспособность и в сочетании массовым расходомером Кориолиса.

Глава 5 Системная интеграция топливозаправочного и аэропортового комплексов

5.1 Современное состояние систем диспетчерского управления наземным обслуживанием и авиатопливообеспечением воздушных судов

Современный аэропорт высокотехнологичный производственный комплекс, круглосуточно непрерывно выполняющий многочисленные задачи по обслуживанию пассажиров и воздушных судов, включая стоянки ВС, терминальные ресурсы (стойки регистрации, выходы на посадку, телетрапы и т.д.), мобильные ресурсы (трапы, тягачи, заправщики и т.д.). Сложность процессов многократно усиливается необходимостью взаимодействия и синхронизации деятельности большого числа, аэродромных служб, коллаборативного принятия решений, в условиях стохастических воздействий всевозможных отклонений нарушений и сбоев, непрогнозируемых ситуаций. Задержки отправления рейса или прилет воздушного судна ранее запланированного времени, задержка заправки ВС, все это стрессовые ситуации для диспетчерского управления комплексом, это непременно сказывается на планировании работы всех участников аэропортовой деятельности. Требуется оперативное реагирование на изменение времен суточного плана по рейсу, включая соответствующие внешние события, оптимизация и перераспределение использования ресурсов исходя из состояния суточного плана и вносимых в него изменений. При этом необходимо осуществлять свою деятельность бесперебойно и экономично, одновременно повышая пунктуальность и регулярность и безопасность полетов ВС.

Предел возможностей человека, существенно ограничивает скорость, своевременность и оптимальность принимаемых решений, «вручную» оператор не

способен, оперировать многократно возросшим объемом данных из поступающей информации, а также реагировать и своевременно принимать огромное количество решений по организации взаимодействия служб и обеспечения работоспособности аэропортового комплекса. Поэтому особую актуальность, приобретают решения по автоматизации аэропортового комплекса, с передачей функций, выполняемых человеком, по управлению процессами аэропортовой деятельности, информационно управляющим системам.

Топливозаправочная деятельность, в числе технологических процессов наземного обслуживания ВС занимает ключевое место в графике их технологического обслуживания. Своевременность и качество работ, выполняемых ТЗК, определяют готовность ВС к вылету, то есть пунктуальность и регулярность полетов, а это есть основной и главный показатель эффективности аэропорта. ТЗК современного аэропорта, аналогично сталкивается с большими потоками задач и процессов, требующих тщательной оптимизации, планирования, и согласований своей деятельности в условиях технологической интенсификации аэропортового комплекса, стохастических неопределённостей, и, кроме того, имеет особенности, связанные с эксплуатацией объектов повышенной промышленной и пожарной опасности. Поэтому в этом комплексе, автоматизация авиатопливообеспечения, как один из элементов взаимодействия многих процессов, имеет особую актуальность. Это объясняется высокой стоимостью бизнеса, и что особенно важно высокой ответственностью за обеспечение безопасности полетов ТЗК, как объект повышенной опасности.

Ручные операции составляют около 90% от всех операций в процессах заправки ВС. Топливозаправочная деятельность аэропортового комплекса и ТЗК требует преобразования, устаревших технологий, внедрения автоматизированных комплексов с примененим современных информационных технологий, а также интеграционноговзаимодействия [11].

Внедрение информационных технологий в технологический процесс топливозаправочного комплекса и их интеграция с информационно управляющими системами аэропорта, позволит принимать своевременные и

качественные оперативные решения, на основе реальных данных, оптимизировать качество, и эффективность планирования и управления процессами приема, хранения, подготовки авиатоплива и заправки ВС [12, 14, 15, 21, 207, 208].

Управление производственной деятельностью ТЗК, организация, планирование и оптимизация технологических процессов топливозаправочного комплекса, в условиях роста количества обрабатываемой информации, требует разработки и внедрения аналитического программного обеспечения в топливозаправочный комплекс аэропорта [23, 42, 197]. В числе важнейших направлений цифровой трансформации ТЗК – внедрение в систему коллаборативного взаимодействия в контур аэропорт-авиакомпания-воздушное судно, дающее возможность расширять функционал ТЗК как до уровня взаимодействия с аэропортовыми автоматизированными системами управления, так и полноценно включатся в технологический процесс топливозаправочной деятельности аэропорта, а именно:

- взаимодействию с аэропортовыми автоматизированными системами управления подготовкой ВС к вылету;
- взаимодействию с бортовыми системами ВС с целью уточнения плана заправки на полет;
- ведению учетно-расчетных операций, включая банковские;
- управления качеством заправочных операций и мониторинга кондиционности заправляемого авиатоплива;
- выполнение основных и вспомогательных технологических операций топливозаправочного комплекса, такими, например, как: прием авиатоплива, внутри складские перекачки, подготовка авиатоплива к заправке ВС и т.д.

Работа в данной области позволит не только расширить актуальные возможности аэропортового комплекса, но и создать платформу для будущего взаимодействия с другими проектами на блокчейн технологии [21, 22, 23, 43].

Основная задача организации производственных процессов ТЗК заключена в организации технологии контроля и управлению качества авиатоплива в условиях пунктуального соблюдения технологического графика обслуживания ВС [23] в

аэропорту. Одной из наиболее продолжительных и ответственных операций в процессе наземного обслуживания ВС является заправка авиатопливом на местах их стоянки. Уровень качества и пунктуальность наземного обслуживания ВС, а в частности топливозаправочная деятельность, определяют в конечном случае готовность ВС к вылету и влияют на такие параметры, как регулярность полетов и пунктуальность полетов. При снижении уровня качества и пунктуальности обслуживания, появляется предпосылка возникновения сбойной ситуации,

В случае выполнения процедуры заправки с низким уровнем качества, и (или) с нарушением технологического графика обслуживания, сроки выполнения операции будут продлены, а лишняя минута, проведённая на земле, увеличивает совокупные издержки авиаперевозчика, аэропорта и обслуживающих компаний. Как следствие, возникает угроза потери репутации «надёжного» перевозчика, что в будущем отразится на объемах авиаперевозок [3, 42].

На рынке не существует какой-либо единой, общепризнанной системы управления аэропортом или механизма, дающего полноценное комплексное решение для формирования и контроля исполнения сезонного расписания, суточного плана полетов и управления всеми ресурсами наземного обслуживания.

ТЗК невозможно представить без высокотехнологичной системы комплексной автоматизации, которая должна обеспечивать решение широкого спектра задач, включая такие, например, как удаленное управление и мониторинг объектов системы, формирование комфортных условий работы персонала, эффективное использование ресурсов, контроль доступа в технические помещения, охранно-пожарные мероприятия и многое другое.

Очевидно, что использование единого интегрированного подхода для решения задачи внедрения платформы распределенной системы управления процессами является ключом к успеху. По сравнению с консолидацией независимых систем, использующих оборудование различных поколений и производителей и соответственно, различные протоколы, единая и масштабируемая платформа, обеспечивает более гибкое объединение и управление подсистемами функционально различных процессов, выполнять оперативную

маршрутизацию информационных и управляющих потоков данных между локальными и центральным узлами управления, в том числе и за пределы платформы системы, легко наращивать возможности развернутого комплекса и многое другое [21, 23].

Таким образом, в условиях стохастических воздействий, сбоев, нештатных ситуаций и статистической неопределенности целесообразно иметь решение синхронного планирования и оптимизации задач ресурсного управления аэропортовым комплексом.

Для выработки решения по синхронизации процессов аэрологистики наземного обслуживания ВС и задач своевременной подготовки кондиционного авиатоплива проведем анализ применяемых систем диспетчерского управления в отечественных и мировых аэропортах и диспетчерского управления ТЗК.

Одним из лидеров в области оптимизации операционной деятельности аэропорта является комплекс программных продуктов, автоматизирующих операционную деятельность аэропорта - GroundStar, флагманский набор продуктов Inform Groundstar является комплексным программным решением, удовлетворяющим требования аэропортов для наземного обслуживания ВС. представлена на рисунке 5.1.

Некоторыми из ключевых сфер являются планирование, создание графиков смен, мониторинг процессов базового аэропорта, управление трансферными потоками и оборудованием для наземного обслуживания.

Немецкая компания INFORM GmbH знаменита разработками программного обеспечения в области управления ресурсами авиатранспортных предприятий, алгоритмами по принятию управленческих решений [23, 24].

Информационно-управляющая система аэропортового комплекса Ground Star, схема показана на рисунке 5.2., представляет собой единое моноплатформенное решения по управлению аэропортовым комплексом, и включает в себя системы управления сезонным расписанием, суточным планом полетов и всеми ресурсами наземного обслуживания [42,43].

Рисунок 5.1 – Комплексная система управления аэропортом GroundStar, - конфигурация платформы GroundStar, компании INFORM

Эта система снижает расходы аэропортов, одновременно повышая качество наземных операций. Применение таких систем является этапом перехода от автоматизации к оптимизации.

Система управления аэропортом GroundStar включает в себя несколько подсистем, с помощью которых осуществляется планирование и оперативное управление суточным планом полетов и подготовкой ВС к вылету. Информация о суточном плане полетов, а также данные о расчетном и фактическом времени посадки воздушного судна, из центральной базы данных аэропорта, передается в программный комплекс Groundstar [23].

Подсистема Resource Management System (RMS) GroundStar предназначен для отслеживания и оптимизации ресурсов, планирования и управления наземным обслуживанием ВС. Подсистема VKOAir – подсистема оценки времени посадки ВС и положения ВС на перроне с использованием данных геоинформационной подсистемы (ГИС). Основываясь на полученных данных, система GroundStar позволяет оперативно оценивать ситуацию на перроне и сводит к минимуму возникновение нештатных ситуаций [23].

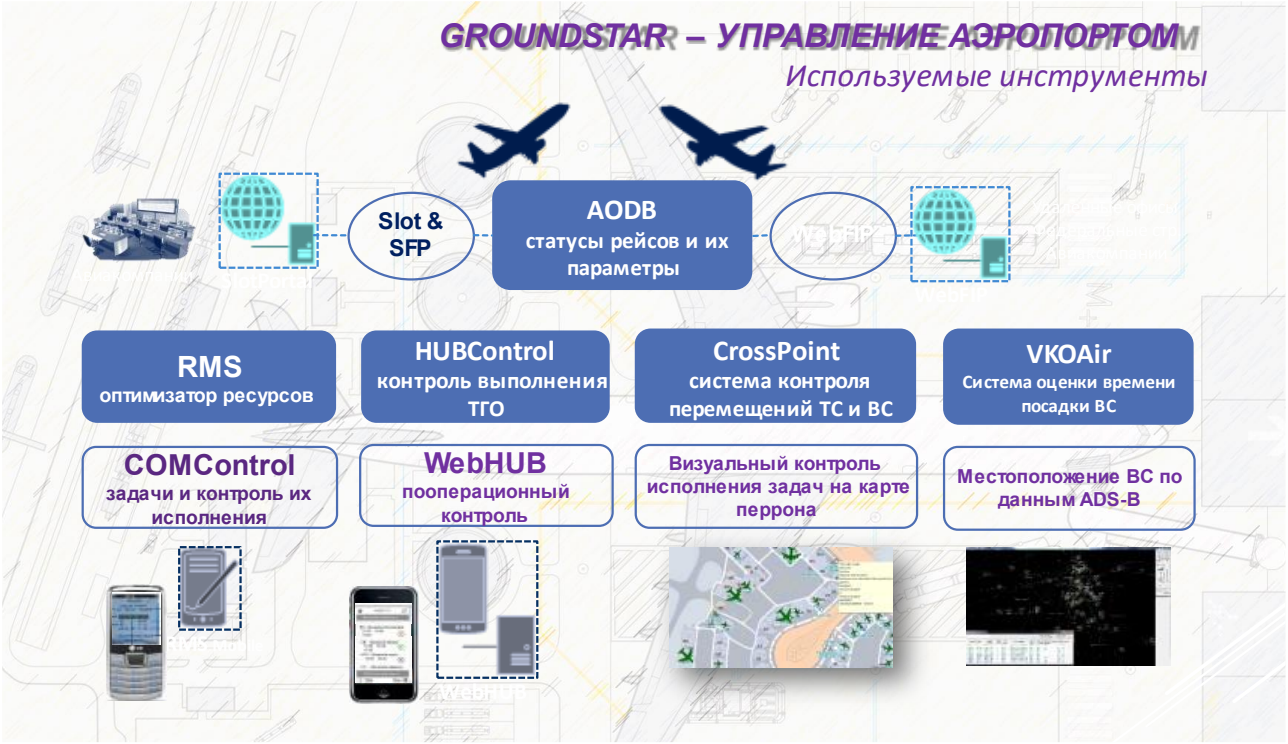


Рисунок 5.2 – Инструменты моноплатформенного решения, систем управления наземным обслуживанием ВС

Функциональные возможности системы GroundStar представлены четырьмя направлениями:

- Управление хабом;
- Управление ресурсами персоналом и сменами;
- Визуальный и технологический мониторинг мобильных ресурсов;
- Формирование отчетности о деятельности аэропортового комплекса.

Центральным пакетом программного обеспечения системы GroundStar является «Операционная база данных аэропорта (Airport Operational Database, AODB)» с шиной обмена данными. На базе AODB формируются операционные информационно-управляющие системы, обеспечивающие подготовку воздушных судов к вылету. RMS Planning – система планирования ресурсов по согласованным с перевозчиками технологическими графиками обслуживания воздушных судов. RMS RealTime - система оперативного управления ресурсами, реализующая функции планирования, распределения и контроля исполнения задач

и позволяет вести контроль графика выполнения операций в полностью автоматическом режиме с точностью до 1 минуты.

GroundStar:

• позволяет комплексное перспективное, долгосрочное и краткосрочное планирование ресурсов наземного обеспечения авиаперевозок;

• позволяет эффективно и без нарушений обслуживать ВС, осуществлять оперативное управление ресурсами наземного обеспечения, вносить необходимые коррективы в случае недоступности ресурса;

• предоставляет возможность избежать принятия неверных решений путем анализа сценария “What if” («что, если»);

• позволяет производить оценку результатов производственной деятельности по наземному обеспечению авиаперевозок.

Внедрение системы позволяет:

• повысить качество наземного обслуживания при существенном сокращении затрат на его выполнение;

• сократить время исполнения операций наземного обслуживания и оборачиваемости ВС, что является одним из ключевых требований авиакомпаний [21, 23].

Интеграционная шина данных позволяет унифицировать и стандартизировать обмен информацией между всеми системами, тем самым избегая файловый обмен. Преимущества — GroundStar — это наиболее полный пакет программного обеспечения для оптимизации деятельности аэропортового комплекса, существующий в настоящее время.

Моно платформенное решение, практически единая система, позволяющая минимизировать значительные финансовые затраты на построение интерфейсов межсистемного взаимодействия, внутри основного контура управления.

Графический интерфейс программной среды GroundStar представлен на рисунке Ж.1 в приложении Ж.

Информационная система GroundStar отвечает всем требованиям авиакомпаний, осуществляющих деятельность в аэропортах и авиакомпаниях, и

охватывает широкий спектр решений, таких как наземное обслуживание, операции в аэропорту и центральный офис, управление текучестью производства и помогает клиентам осуществлять свою деятельность бесперебойно и экономично, одновременно повышая пунктуальность. Являясь мировым лидером с более чем 70 клиентами в более чем в 160 аэропортах по всему миру, INFORM особенно доказала свою эффективность за счет включения новых тенденций и технологий (маяки, мобильность, хостинг, веб-сервисы и т.д.). Программное решение GroundStar является модульным, масштабируемым и полностью сделано в Германии.

Недостатки информационной системы GroundStar:

- не рассматривает движение топливных потоков, коммерческого и оперативного учета авиатоплива, задач важных для ТЗК, измерений и сквозной автоматизации учетно-отчетных операций;

- решение по принятию задачи заправки ВС принимает оператор ТЗ – в ручном режиме. Водитель получает задание и подтверждает его выполнение. Получает уточненную информацию о требуемом количестве топлива, времени заправки и месте стоянки ВС. Водитель связывается с диспетчером чтобы скорректировать требуемое количество топлива. Это не позволяет в полной мере автоматизировать, а значит оптимизировать именно топливозаправочную деятельность аэропорта;

- не рассматривает параметры кондиционности авиатоплива и готовности оператора. к заправке ВС;

- в результате санкций продукт на территории нашей страны INFORM больше не поддерживает.

Вторым программным продуктом является COTAS AFMS (Computer Operated Terminal Automation System) AFMS «Aircraft Fueling Information System» – это эффективная и динамичная система управления и координации – система автоматизации процессов перекачки массовых потоков. В настоящее время является одним из лидеров в области автоматизации технологических процессов и диспетчерского управления топливозаправочной деятельностью ТЗК. Продукт компании Mess- und Fördertechnik Gwinner G.m.b.H. & Co (M+F Technologies) - информационно -управляющая система COTAS предназначена для автоматизации

коммерческого и оперативного учета авиатоплива в пределах резервуарного парка, для поддержания пользователя, начиная от приема авиатоплива до выдачи на заправку, измерительного учета, создания накладных и учета наличия топлива.

Это комплексное решение для управления количествами и перевалочными процессами на складе ГСМ. Программное обеспечение на базе персонального компьютера координирует бизнес-процессы, начиная с размещения на складе и многопользовательского баланса количеств, заканчивая вывозом со склада. При этом система COTAS связана с внутрипроизводственным инструментарием и управляет погрузочно-разгрузочными процессами.

Благодаря большому количеству интерфейсов и их открытости COTAS может без проблем объединять разные процессы для обработки измеренных значений и, в свою очередь, может быть, с легкостью интегрирована в системы планирования ресурсов предприятия более высокого уровня, такие как SAP. Благодаря своей гибкой конфигурации COTAS (рисунок 5.3), а также в приложении Ж на рисунке Ж.2 может быстро применяться как на малых, так и на крупных складах ГСМ без затрат на программирование.

Недостатки COTAS:

- отсутствуют функции диспетчеризации аэрологистического планирования ресурсов и оптимизации диспетчерского управления средствами заправки на аэродроме;

- отсутствуют решения по автоматизированному контролю кондиционности [72], пригодности авиатоплива и формирования паспорта качества;

- в результате санкций COTAS больше не поддерживает свой продукт на территории нашей страны.

Таким образом, сходимость между результатами определения содержания ПВК жидкостей на различных диапазонах работы дозатора, находится на удовлетворительном уровне и не выходит за рамки точностных параметров метода испытаний.

Опытный образец дозатора обеспечил дозирование ПВК жидкости «И-М» в топливо на диапазоне 0,1% на уровне, близком, к максимально-допустимому, или равном ему (0,1+0.05%).

При работе дозатора в диапазоне 0.2 и 0,3 %, полученные при испытаниях значения содержания ПВК жидкости «И-М» в большинстве исследованных проб превышали максимально-допустимые значения, установленные отраслевой документацией.

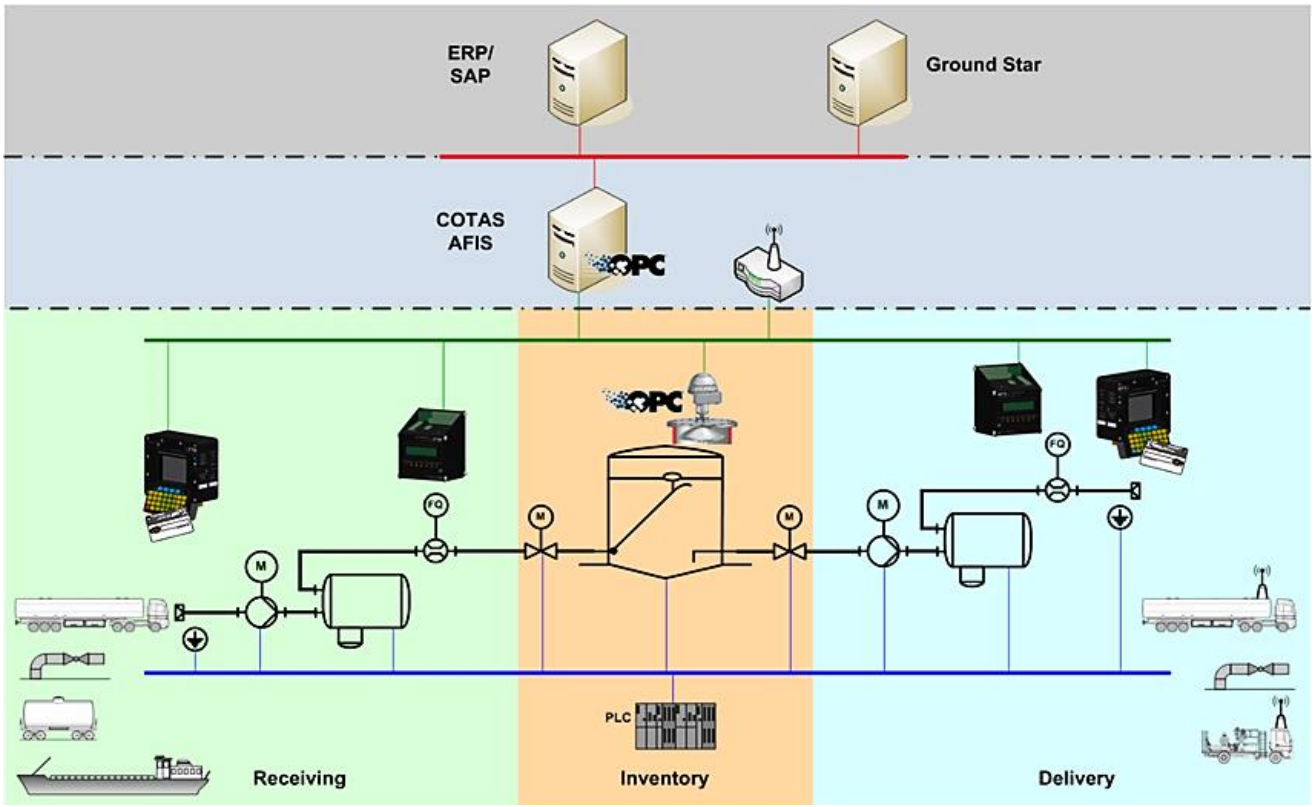


Рисунок 5.3 – Архитектура вертикальной интеграции COTAS

Информационная система совместного принятия решений Collaborative Decision Making (CDM) [40]. Широко популярна в аэропортовой отрасли, внедрена в аэропортах Шереметьево и Внуково. Предназначена для улучшения согласованности взаимодействия партнеров аэропортового комплекса – авиакомпаний, УВД и хендлинговых компаний и позволяет повысить пропускную способность в пиковые периоды [207].

Однако недостаток CDM и подобных информационных систем, в том, что алгоритмы их работы являются коммерческой тайной и практически не публикуются в открытой печати.

Резюмируя вышеизложенное, отметим, что проблеме устранения предпосылок возникновения и устранения последствий сбойных ситуаций аэропорта (ССА) уделяется важное внимание на этапах составления и оперативной корректировки суточного плана полета (СПП), порядка наземного обслуживания ВС, работы со скоплениями пассажиров в аэропорту. Проблемы оптимизации процессов оперативного управления выходом из сбойных ситуаций аэропорта, также, как и проблемы импортозамещения зарубежных IT и автоматизации взаимодействия процессов ТЗК и аэропорта целенаправленно не исследовались, что подтверждает актуальность настоящих исследований [206]. Особенно это можно сказать о процессах контроля чистоты авиатоплива, его коммерческого учета, и логистики наземного обслуживания ВС между ТЗК и аэропортом функционируют раздельно, что отрицательно сказывается на обеспечении регулярности и безопасности полетов.

Вместе с тем, не мене актуальной проблемой импортозамещения является разработка соответствующих отечественных IT. Известны и широко применяются отечественные системы управления и принятия решений в аэропортовой деятельности. Одной из таких систем является автоматизированная система (АС) «Кобра» изображена в приложении Ж на рисунке Ж и 3.

Информационно система «КОБРА» отечественный продукт, который предназначен для автоматизации производственных процессов, формирования сезонного расписания и суточного плана полетов, согласования слотов, планирования и оптимизации ресурсов управления персоналом и сменами, контроля исполнения технологических графиков обслуживания ВС, формирования аналитической отчетности о деятельности аэропортового комплекса. Функциональные возможности системы обеспечивает полную управленческую информацию для принятия оптимальных решений, позволяют организовать визуальный и технологический мониторинг мобильных ресурсов с использованием

интегрированных информационных технологий для эффективного планирования и управления существующей инфраструктурой аэропорта [42].

Автоматизированная система «КОБРА» не уступает зарубежным аналогам и при этом значительно дешевле. Сравнение функционала аналогов, отечественного и зарубежного ПО представлено в таблице 5.1.

Функциональное взаимодействие подсистем информационной системы «КОБРА» и информационные потоки операционной деятельности аэропортового комплекса представлены на рисунке 5.4.

Таблица 5.1. Сравнение аналогов, отечественного и зарубежного ПО

№	Зарубежные подсистемы-аналоги	Подсистемы АС «КОБРА-2»
1	GroundStar AODB (разработчик Inform, Германия)	Оперативное управление суточным планом полетов
2	SCORE (разработчик PDC, Дания)	Слот-координация
3	GroundStar RMS (разработчик Inform, Германия)	Управление ресурсами

К недостаткам информационно управляющей системы «КОБРА», как и у аналогичных систем GroundStar, с точки зрения деятельности авиатопливообеспечения ТЗК, отсутствие следующих функциональных возможностей:

- не рассматривает движение топливных потоков, коммерческого и оперативного учета авиатоплива, задач важных для ТЗК, измерений и сквозной автоматизации учетно-отчетных операций;

- функции управления парком спецтранспорта ТЗК, решение по принятию задачи заправки ВС принимает оператор АТЗ – в ручном режиме[23].;

- отсутствуют системы автоматизированного мониторинга параметров кондиционности авиатоплива и готовности оператора к заправке ВС[72].;

- отсутствуют функции отслеживания уровней авиатоплива в АТЗ, и оптимизации операций по заправке ВС с учетом количества авиатоплива в АТЗ и гибких изменений в последнюю минуту;

- не предусмотрено тактическое использование предварительной заправки.

Таким образом, применяемые системы управления и принятия решения имеют как свои достоинства, так и недостатки. Общим недостатком является отсутствие взаимодействия служб аэропорта и ТЗК, а также отсутствие импортозамещения IT технологий. Диспетчеризация наземного обслуживания ВС по авиатопливообеспечению между аэропортом и ТЗК не взаимосвязаны, что отрицательно сказывается на обеспечении регулярности и безопасности полетов. Это требует разработки диспетчерского управления между аэропортом и ТЗК.

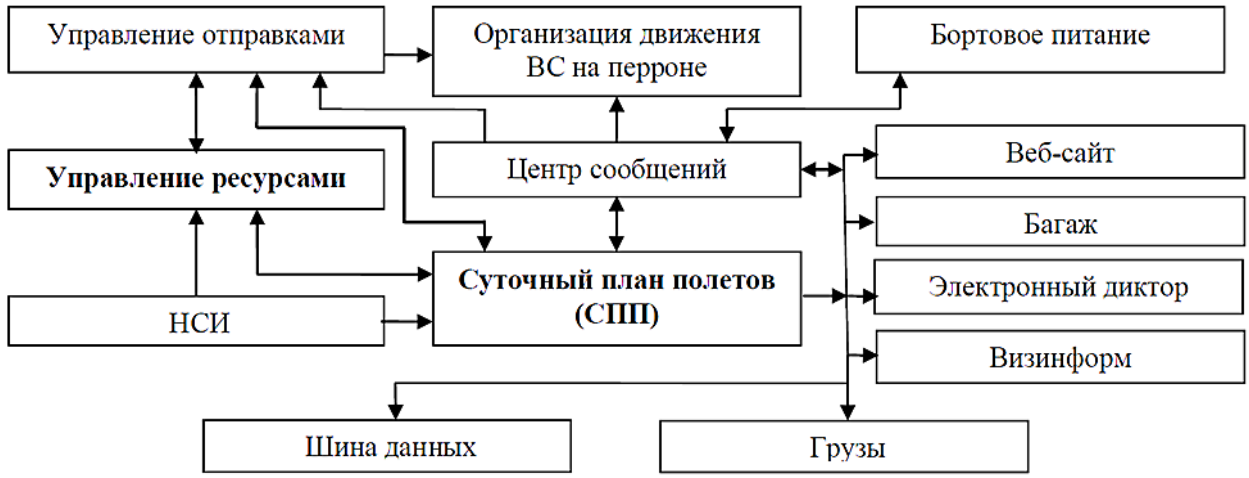


Рисунок 5.4 – Функциональное взаимодействие подсистем информационной системы «КОБРА» и информационные потоки операционной деятельности аэропортового комплекса

Особенно необходимо отметить отсутствие систем автоматизированного мониторинга показателей кондиционности авиатоплива на всех этапах авиатопливообеспечения, как определяющего параметра готовности авиатоплива к заправке, в свою очередь влияющего на готовность ВС к вылету.

Таким образом своевременность получения показателей кондиционности и решения о пригодности авиатоплива к применению, как фактор обеспечения регулярности полетов и пунктуальности аэропортовой деятельности, на сегодняшний день не имеет законченного решения и поэтому является актуальной проблемой, решить которую необходимо средствами автоматизации, инструментами информационных технологий и системной интеграции аэропортового и топливозаправочного комплексов.

Решение этой актуальной проблемы, также обеспечит реализацию прогностического подхода к управлению безопасностью полетов, в соответствии с требованиями системы управления безопасностью (СУБП – [Safety Management System (SMS)]) рисунок 5.19, способствующей непрерывному повышению безопасности полетов посредством определенных методов прогнозирования аварийных ситуаций [205, 207].

Прогностические подходы, в свою очередь, в результате оптимизации планирования и управления ресурсами, повысят бизнес-эффективность производственной деятельности аэропортового комплекса.

5.2 Инновационный подход к организации системы аэродромной логистики и диспетчеризации движения нефтепродуктов

Основной целью системы аэродромной логистики и диспетчеризации является комплексная автоматизация бизнес и производственных процессов на основе современных технологических решений, а также использование технологий искусственного интеллекта и машинного обучения для формирования единой системы поддержки принятия решений.

Система аэродромной логистики и диспетчеризации обеспечивает эффективность процессов планирования загрузки ресурсов для суточного графика заправок ВС посредством предоставления рекомендаций с учетом ограничений, автоматического создания заданий на заправку ВС и мониторинга их исполнения в реальном времени, а также автоматизации ручных операций через автоматизированное рабочее место Диспетчера ТЗА и Водителя ТЗА (рисунок 5.5).

Для разработки алгоритмов взаимодействия аэропортового комплекса и ТЗК в рамках диспетчерского управления процессами заправки ВС и модели

ресурсно-временного графика работы служб по наземному обслуживанию ВС, рассмотрим задачи, решаемые системой:

- обеспечивает соблюдение технологии выполнения работ по заправке ВС;
- обеспечивает выполнение требований ТГО;
- обеспечивает достоверность и оперативности данных.
- накопление информации о поведении ключевых бизнес-пользователей.

Объектом автоматизации являются бизнес-процессы:

- планирование заправок ВС и назначение заданий водителям ТЗА - обеспечивающий процесс;
- исполнение и мониторинг- поддерживающий процесс.

Рисунок 5.5 – Этапы процесса заправки ВС
в рамках технологического графика обслуживания

На рисунке 5.6 показано схематическое представление процесса выполнения заправок ВС.

Рассмотрим основные этапы процесса:

1. Авиакомпания регулярно (с частотой один раз в месяц) предоставляет в ТЗК заявки на заправку ВС. В заявке содержится следующая информация:

• Информация о рейсе (номер рейса, дни недели, пункт вылета и назначения, время вылета, время приземления и др.), на котором требуется заправка ВС;

• Предварительный объем заправки.

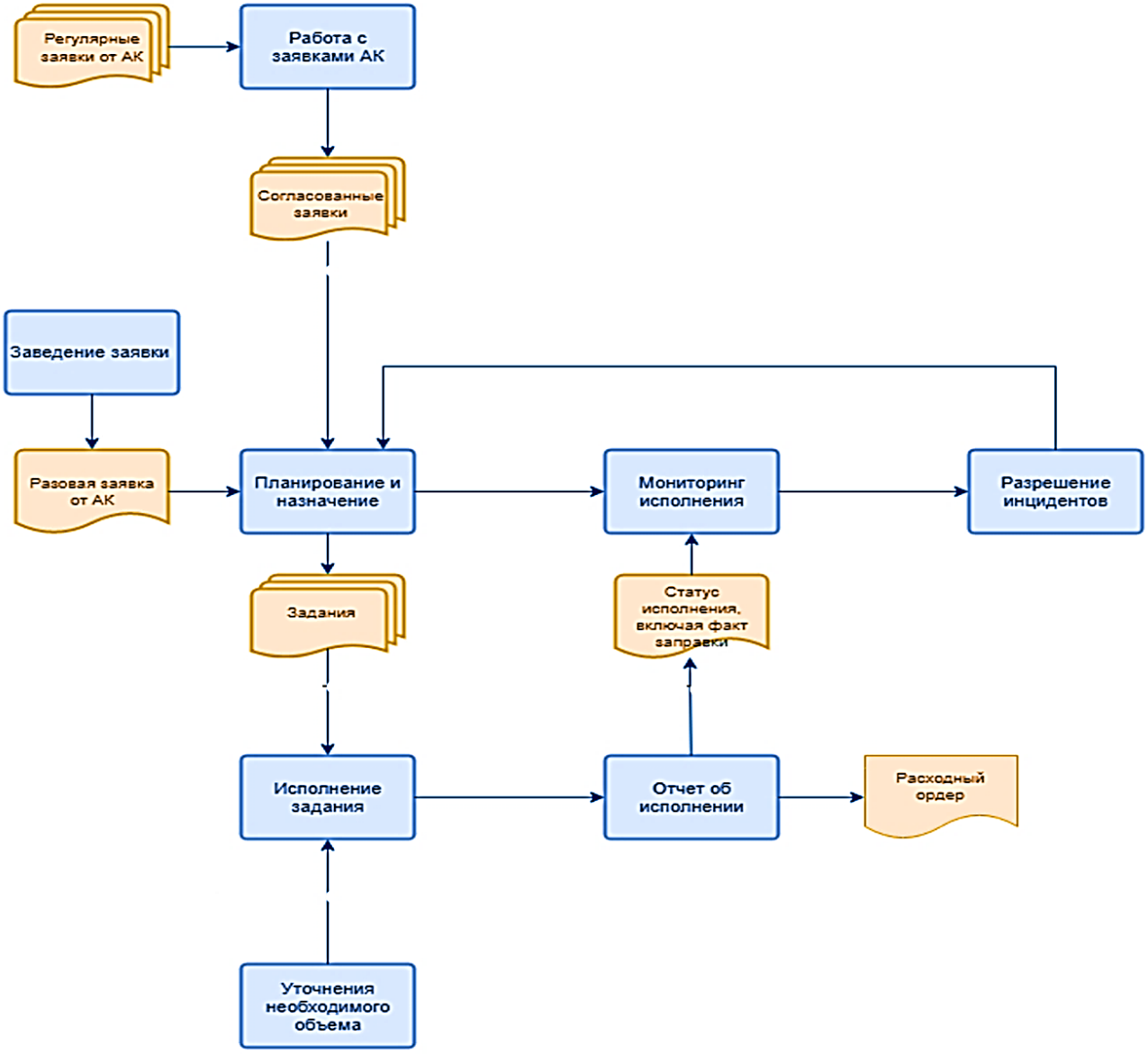


Рисунок 5.6 – Схема процесса выполнения заправки ВС

2. Коммерческая служба ТЗК согласовывает поступающие заявки и подтверждает возможность исполнения. После чего передает данные о заявках Диспетчеру по наземному обслуживанию аэропорта.

3. На основе предоставленных данных диспетчером ТЗК, формируется предварительный план заправок;

4. По факту получения актуальной информации от служб Аэропорта о времени приземления и месте стоянки, учитывая технологические карты и регламент наземного обслуживания судов предварительный план уточняется вплоть до конкретного технологического окна, в течении которого необходимо осуществить заправку ВС;

5. После получения уточненного времени исполнения на заявку назначается ТЗА, допущенные к авиатопливообеспечению, и водитель с соответствующей категорией прав для осуществления заправки с выписанным путевым листом. На ТЗА формируется задание на выполнение заявки;

6. Назначенное задание для исполнения содержит список действий, которые необходимо выполнить водителю и список событий, которые должны быть зарегистрированы в процессе исполнения;

7. Непосредственно перед началом заправки КВС у борта воздушного судна уточняет и/или подтверждает требуемый объем топлива. Изменение запрашиваемого ранее объема авиатоплива могут быть связаны со сложными метеорологическими условиями, загрузкой воздушного судна или неизрасходованными остатками в топливных баках воздушного судна;

По факту окончания заправки, КВС и водитель ТЗА оформляют отчетные документы (расходный ордер), соответствующая сумма переводится на счет ТЗК.

На рисунке 5.7 представлены основные шаги процесса осуществления планирования заправки ВС.

Процесс планирования заправки ВС состоит из следующих ключевых этапов:

1. Составление расписания заправок ВС.

На основе информации о заявках, суточном плане полетов, регламенте наземного обслуживания ВС создается базовый план выполнения заправок.

По мере поступления информации о времени фактического вылета и месте стоянки ВС базовый план непрерывно уточняется, время начала и окончания

каждой отдельной заправки по мере поступления информации о фактическом расписании полетов может изменить свои значения.

2. Назначение на заправку ВС.

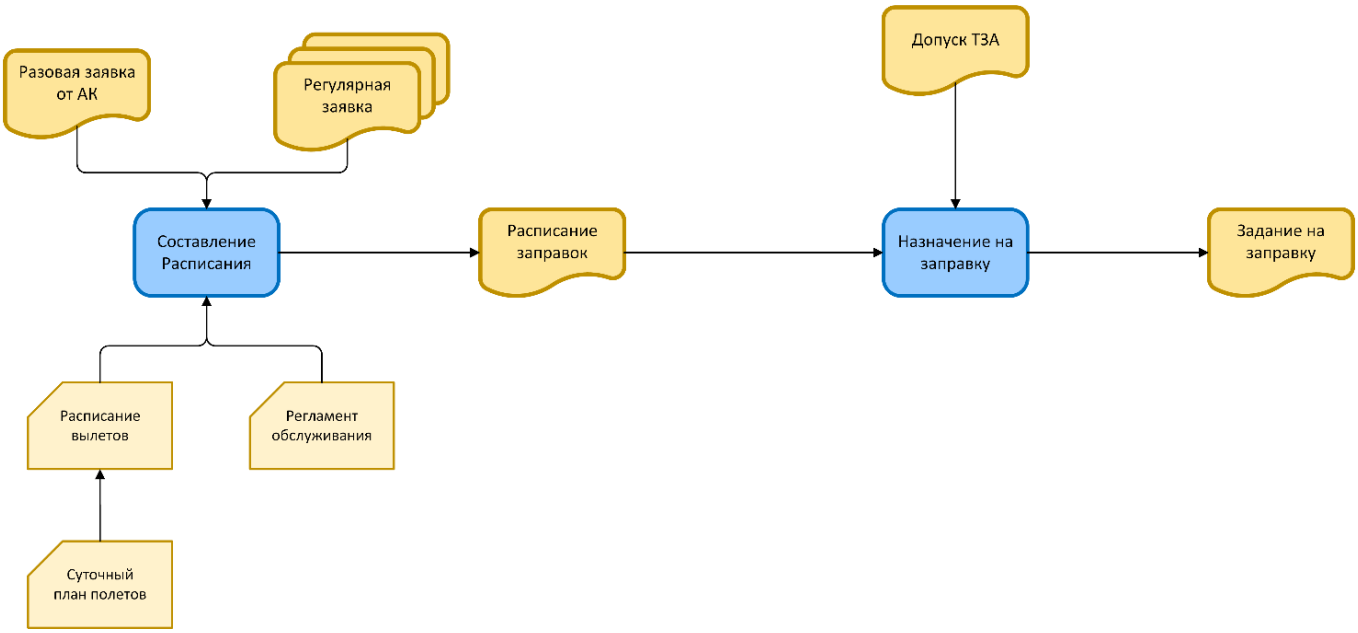


Рисунок 5.7 – Детализация процесса планирования заправки ВС

При приближении времени заправки ВС осуществляется назначение ТЗА и водителя для ее осуществления, при этом учитываются такие факторы как:

- допуск ТЗА к работе на смену;
- пройден аэродромный контроль;
- ТЗА допущен к работе;
- выписанные путевые листы на водителей;
- категория водительских прав и допуск к определенному типу ТЗА;
- текущие и планируемые назначения для ТЗА и водителей;
- текущее местоположение и время, необходимое на подачу ТЗА;
- объем топливной емкости у ТЗА;
- текущая наполненность топливной емкости и расчетная на момент начала исполнения заправки;
- время, необходимое для наполнения топливной емкости;
- время, необходимое для проведения регламентных работ по подготовке ТЗА к заправке воздушного судна;

- время ожидания, связанное с образование очередей на наливном пункте.

На рисунке 5.8. представлен процесс исполнения задания на заправку ВС и мониторинга исполнения задания со стороны Диспетчера ТЗА.

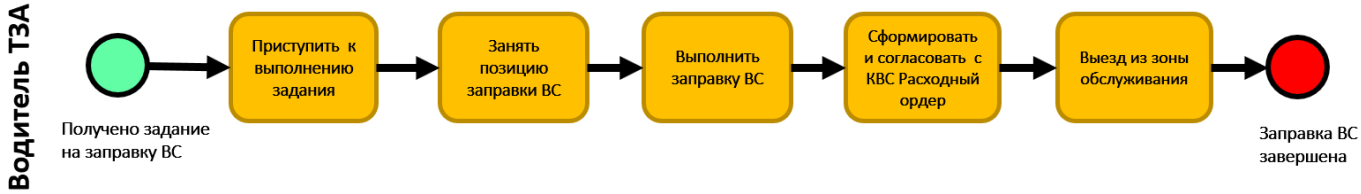


Рисунок 5.8 – Укрупненный процесс исполнения задания на заправку ВС

На рисунке 5.9 отображена детализация процесса исполнения задания на закачку авиатоплива.

Рисунок 5.9 – Укрупненный процесс исполнения задания на налив ТЗА

С целью оптимизации процессов взаимодействия служб аэропорта технология диспетчерского управления стала предметом пристального изучения математической статистики, анализа и обобщений, смесей теорий, марковских процессов и нечеткой логики. При этом за критерии показателей эффективности работы систем диспетчеризации топливозаправочной деятельности, как систем массового обслуживания принимаются такие показатели как:

- показатели среднего времени ожидания,

-требования начала обслуживания;

-среднего размера очереди на обслуживание;

-вероятности того, что в системе обслуживания будет находиться определенное количество требований;

- среднее число ресурсов, занятых или свободных от обслуживания, и ряд других.

Одним из таких процессов массового обслуживания является технология централизованной заправки самолетов (ЦСЗ), представленная в приложении А на рисунке А.2.

5.3 Концептуальное построение адаптивной информационно-управляющей системы технологической интеграции аэропортового комплекса

В ходе исследования был проведен анализ основных информационных автоматизированных систем управления ТЗК, на основе которого выявлены проблемы функционирования наземного обслуживания аэропорта, главные из которых — неэффективность управления стохастическими процессами, которые появляются в условиях сбойных ситуаций, а также отсутствие автоматизированных систем управления уровнем чистоты авиатоплива от механических примесей и воды. [23]. Решение этой проблемы возможно за счет применения и расширения (англ. upgrade) GroundStar Inform GmbH - единой комплексной системы управления аэропортом посредством увеличения возможностей системы за счет добавления новых компонентов [23].

Рост объема перевозок и по этой причине увеличение выполняемых заправочных операций при подготовке ВС к вылету, приводит к нагрузке на персонал и оборудование ТЗК аэропортов.

Как было отмечено выше, одной из главных задач работы ТЗК аэропорта являются задачи планирования и управления ресурсами с непрерывным контролем качества авиатоплива в условиях бесперебойного обеспечения выполнения плана полетов.

Решение задачи мультиресурсного планирования заправок ВС при протекании как жестко детерминированных (коим является план полетов аэропорта) процессов, так и стохастических процессов, которые появляются в условиях сбойных ситуаций, представляется возможным на основе имитационного моделирования [42, 126, 151, 152, 177, 197]. Под мультиресурсным планированием заправок ВС будем понимать алгоритм аппаратно-программного модуля планирования заправок ВС, который должен включать планирование всех

ресурсов, необходимых для обеспечения суточного плана полетов. Алгоритм мультиресурсного планирования как минимум должен включать: время заправки ВС, включая все подготовительные операции $T_{СЛ}$, объем подготовленного к заправке (паспортизованного) авиатоплива $Q_{ПТ}$, сменный парк средств заправки $P_{СП}$, персонал смены $S_{ПС}$, потребный бюджет на смену $B_{ПОТР}$ и другие ресурсы ТЗК. При отсутствии каких-либо данных невозможно говорить об обеспечении регулярности полетов, а при отсутствии компоненты потребного бюджета на смену $B_{ПОТР}$ невозможно решение бизнес-задач, т.е. задач, которые ставит перед собой бизнес, действующий в области аэропортовой деятельности.

Для разработки алгоритмов планирования удобно использование математического аппарата нечеткого моделирования и управления [23, 103, 126], нечетких множеств и нечеткой логики, лежащих в основе интеллектуального моделирования процессов. Применение комплекса математического аппарата нечетких множеств позволит строить нечеткие системы планирования и управления заправочными операциями, что особенно важно для планирования операционной деятельности ТЗК при работе в сбойных ситуациях, когда традиционные математические модели и методы неэффективны или даже вообще неприменимы из-за отсутствия достаточно точных данных о состоянии объекта управления[21, 23, 99, 125].

Решение задачи мультиресурсного планирования заправок ВС возможно на основе интеллектуального имитационного моделирования и управления ресурсами. Исходные данные для планирования заправок ВС поступают из Операционной базы данных аэропорта (AODB), в которую заложены плановые расписания аэропортов, актуализированные по фактическому движению ВС. Расписание аэропорта, формируется в виде временных интервалов или тайм слотов $T_{СЛ}$ (от англ., timeslot - ячейка времени) [21, 66]. Тайм слот $T_{СЛ}$ состоит из суммарного времени подготовки ВС к вылету, в том числе и для выполнения заправочных операций. Под термином «Заправочная операция» будем подразумевать слот, т.е. промежуток времени, необходимый для подготовки и выполнения плановой заправки ВС.

Решение задачи планирования заправок ВС в условиях высокой интенсивности полетов, в том числе и с точки зрения оптимизации решения задач бизнес-процесса. производится с помощью типовых автоматизированных систем подготовки и контроля ВС к вылету таких, как система GroundStar1 (ГраундСтар) Inform GmbH [21, 23, 66]. По объему и направленности решаемых задач типовая система GroundStar вполне может служить платформой для решения прикладных задач мультиресурсного планирования путем сс расширения (англ., upgrade), то есть путем увеличения возможностей системы за счет добавления новых компонентов (рисунок 5.10).

Рисунок 5.10 – Схема расширения конфигурации GroundStar

Функции автоматизированной системы GroundStar в полном объеме решают задачи Служб заправки ВС в плане планирования и контроля исполнения заправочных операций. Однако данная система не решает задачу планирования и контроля обеспечения авиатопливом, допущенного к выдаче на заправку и других сопутствующих задач на смену. Для решения этой задачи предполагается разработать аппаратно-программный модуль, функционально предназначенный для

планирования и контроля качества авиатоплива для выдачи на заправку, условно назовем его «Склад Заправка» [203]. В статье [23] представлена схема управления ТЗК с применением цифровых технологий, из которой всем понятен функционал и связи модуля «Управления складами ГСМ» (рисунок 5.15).

Формализованная технологическая схема аппаратно-программного модуля «Склад - Заправка» представлена на рисунке 5.11, из которой понятны основные технологические узлы, динамика движения авиатоплива и контроля его качества. При разработке концепции модуля задачи мультиресурсного планирования на платформе GroundStar планируется использовать стандартный программный модуль «Автоматическое планирование и диспетчеризация» (англ. Automated planning and scheduling, APS), который относится к области задач искусственного интеллекта [23, 66]. Касательно выполнения стратегии и последовательности действий, модуль оптимизирует ресурсы времени, средства заправки и персонала в процессе планирования заправок при подготовке ВС к вылету. В отличие от классических моделей планирования и управления, решения задач в области искусственного интеллекта должны быть комплексными, оперировать в области неопределенных множеств [23] с оптимизацией ресурсов в многомерном пространстве, каким является алгоритм аэропорта с высокой интенсивностью полетов.

Другой важной особенностью платформы является возможность использования языка планирования STRIPS (Stanford Research Institute Problem Solver) [21, 23, 66]. Применение языка планирования при разработке модуля «Склад - Заправка» позволит применять автоматический планировщик, создающий в сбойных ситуациях новую последовательность действий, которая ведет систему из начального состояния в состояние, удовлетворяющее поставленной цели.

Использование языка планирования STRIPS позволяет в автоматическом режиме реализовать решения задач автоматического мультиресурсного планирования. При этом описание задачи планирования на языке STRIPS включает в себя следующие компоненты:

- начальное состояние;

• определение целевых состояний — ситуаций, которые планировщик пытается достичь;

• набор возможных действий (операторов).

Каждое действие включает:

а) предусловия (preconditions) — предварительное условие, которое должно быть удовлетворено, чтобы действие могло быть выполнено;

б) постусловия (postconditions) — изменения состояния, которые произойдут после выполнения действия.

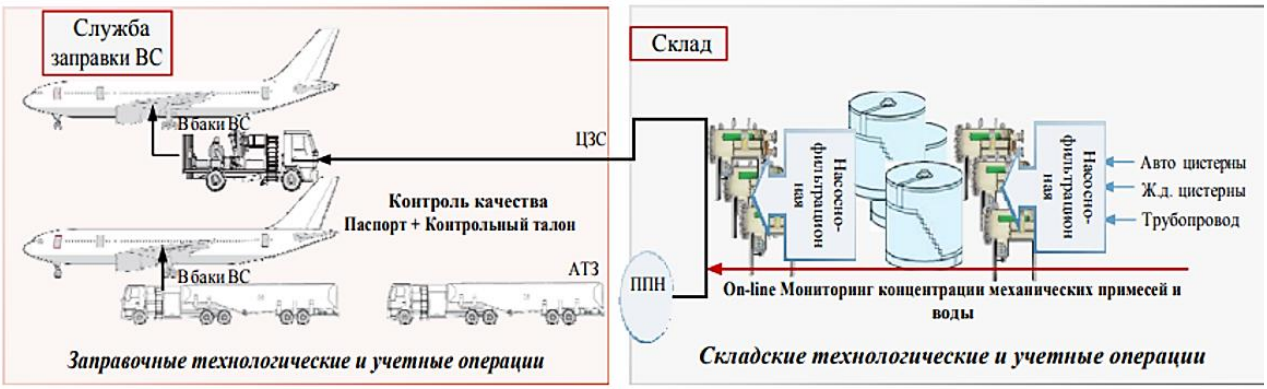


Рисунок 5.11 – Технологическая схема модуля «Склад - Заправка»

Логическим продолжением построения системы мониторинга кондиционности авиатопливо является создание, адаптивной информационно-управляющей системы (ИИУС) мониторинга чистоты авиатоплива на основе искусственного интеллекта. На основе прямых динамических средств измерений: гравиметрических (весовых) и гранулометрических параметров чистоты авиатоплива, с применением мультипараметрических преобразователей и вычислителей, основанных на одновременном (синхронном) использовании нескольких динамических методов прямых динамических измерений кондиционности (фотометрия кондуктометрия перепад давления), взаимодополняющих и повышающих результирующую точность и достоверность измерения параметров чистоты авиатоплива на всех этапах подготовки авиатоплива к заправке ВС.

На основе формирования базы данных о природе естественных загрязнителей, анализа истории онлайн мониторинга оценки чистоты и интеграции

с лабораторной информационно-управляющей системой возможна реализация прогностического подхода к управлению безопасностью полетов, в соответствии с требованиями системы управления безопасностью (СУБП – [Safety Management System (SMS)]) рисунок 5.12, способствующей непрерывному повышению безопасности полетов посредством определенных методов прогнозирования аварийных ситуаций [205].

Рисунок 5.12 – Система управления безопасностью (СУБП – [Safety Management System (SMS)]) стандарт безопасности авиационной промышленности

Таким образом, разработка алгоритмов аппаратно-программного модуля «Склад - Заправка» с использованием программного модуля «Автоматическое планирование и диспетчеризация» и языка планирования STIPS на базе математического аппарата неопределенных множеств позволит решить задачу мультиресурсного планирования на платформе информационно управляющей система ресурсно-временной оптимизации диспетчерского управления процессами заправки ВС и мониторинга топливозаправочной деятельности в условиях стохастических воздействий сбойных и нештатных ситуаций.

Выводы по главе 5

1. На основании проведенного анализа отечественного и зарубежного опыта, был сделан вывод, что широко эксплуатируемые в аэропортах ГА автоматизированные системы управления подготовки к вылету ВС не в полном объеме решают задачи координации процессов авиатопливообеспечения и заправки ВС, в части планирования и контроля исполнения топливозаправочных операций, в условиях стохастических воздействий, сбоев, нештатных ситуаций и статистической неопределенности, отсутствует решение синхронного планирования и оптимизации задач ресурсного управления топливозаправочного и аэропортового комплекса.

2. В результате анализа установлено, что в рамках наземного обслуживания не решена задача планирования и контроля обеспечения авиатопливом, допущенного к выдаче на заправку ВС.

3. Проведен апгрейд (англ. upgrade) системы наземного обслуживания и разработан аппаратно– программный модуль «Склад – Заправка» предназначенный для планирования и контроля качества авиатоплива, принятия решения о готовности авиатоплива для выдачи на заправку ВС, а также с целью увеличения возможностей системы диспетчерского управления наземного обслуживания ВС, за счет добавления новых компонентов, позволяющий решать задач бизнес–процессов.

4. Разработан и проведён расчет алгоритмов планирования - аппаратно-программного модуля «Склад – Заправка» с использованием программного модуля «Автоматическое планирование и диспетчеризация» и языка планирования STRIPS, на базе математического аппарата неопределенных множеств, нечеткой логики, которая позволит более качественно решать задачи мульти-ресурсного планирования заправок воздушных судов в условиях высокой интенсивности полетов, в том числе и в условиях сбойных ситуаций.

5. Разработана методика оценки эффективности систем ЦЗС с использованием аналитической модели на базе Марковского математического аппарата теории массового обслуживания в стационарном и переходном режимах для выбора состава, структуры и технических ее характеристик.

6. Разработана методология совершенствования информационно-управляющей системы авиатопливобеспечения ВС, позволяющая реализацию прогностического подхода к управлению безопасностью и регулярности полетов в условиях коллаборативного взаимодействия топливозаправочного и аэропортового комплексов.

Заключение

В диссертационной работе изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения проблемы контроля качества авиатоплива с применением автоматизированной системы, разработана концепция новой системы дозирования ПВКЖ в авиатопливо, а также разработана адаптивная информационно-управляющая система авиатопливообеспечения ВС направленная на системную интеграцию топливозаправочного и аэропортового комплексов в условиях коллаборативного их взаимодействия, позволяющая реализацию прогностического подхода к управлению безопасностью и регулярностью полетов.

При решении заявленной проблемы получены следующие результаты.

1. На основании анализа нормативно-технической документации и статистических данных об инцидентах, авариях и катастрофах с ВС коммерческой ГА РФ в период с 2010 по 2023 год установлено, что одной из причин событий является недостаточный уровень промышленной чистоты авиатоплива, показатели которой строго регламентируются.

2. Установлено, что применяемые методы контроля кондиционности авиатоплива являются статическими и косвенными, и основаны на дифференцированном отборе проб из назначенных точек, точность и достоверность которых может быть недостаточной и имеют низкую степень автоматизации и интеграции в системы коллаборативного взаимодействия (аэропорт, ТЗК, лаборатория, поставщики), что требует разработки и создания информационно-управляющих систем динамического мониторинга кондиционности заправляемого авиатоплива.

3. Выявлено, что существующие системы дозирования ПВКЖ топливозаправщика не автоматизированы, имеют низкую надежность, требуют постоянного трудоемкого и затратного контроля с высоким уровнем негативного влияния человеческого фактора, а применяемые дозаторы ПВКЖ в потоке

топлива являются агрегатами зарубежного производства, которые в силу конструктивных и технологических недостатков осуществляют неравномерность дозирования жидкости и не позволяют осуществлять учёт отпущенной ПВКЖ в массовых единицах.

4. Разработана математическая модель с использованием дебаевских уравнений и формул Клаузиуса — Моссотти, позволяющая производить измерения уровня влагосодержания и концентрации механических примесей в авиатопливе, показавшая 97,5% сходимости при экспериментальном исследовании.

5. Установлены зависимости комплексной диэлектрической проницаемости авиатоплива от частоты электромагнитных колебаний и проводимости авиатоплива при различных значениях критической (резонансной) частоты, что позволяет реализовать динамическое измерение веса механических примесей в потоке авиатоплива, а также получена зависимость диэлектрической проницаемости водной эмульсии в авиатопливе от ее концентрации, позволяющая количественно оценить содержание свободной воды в авиатопливе.

6. Проведен расчёт параметров измерительных схем и размеры устройств измерителей – диэлькометрических фильтров мониторов, а также разработан гидравлический стенд для исследований их характеристик.

7. Установлено, что диэлектрическая проницаемость авиатоплива зависит от концентрации молекул диэлектрика и поляризуемости каждой молекулы, поэтому зависит от природы диэлектрика, температуры и от частоты приложенного напряжения, а максимум достигается в интервале 2…20 г/м^3.

8. Впервые разработано устройство динамического измерения гранулометрических и гравиметрических показателей мехпримесей в топливе с точностью до 0,5%, а также устройство динамического измерения количества нерастворенной (эмульсионной) воды в потоке авиатоплива на основе измерения комплексной диэлектрической проницаемости механических примесей и воды, что позволяет принимать адаптивные решения по выбору технологических режимов подготовки авиатоплива и его применения на ВС.

9. Разработан метод динамического измерения мехпримесей и воды в авиатопливе, что позволяет контролировать чистоту авиатоплива непрерывно в потоке, предоставляя мгновенные данные о его кондиционности для принятия решения о пригодности авиатоплива к заправке ВС и характеризующийся относительной погрешностью определения содержания мехпримесей не более 4,6 %.

10. Разработана адаптивная информационно-управляющая система (ИИУС) мониторинга чистоты авиатоплива на основе прямых динамических средств измерений, позволяющая в онлайн режиме иметь объективные данные о кондиционности авиатоплива на всех этапах авиатопливообеспечения ВС [16] и осуществлять проектирования систем диспетчерского управления с целью принятия управленческих решений по применению авиатоплива на ВС.

11. Теоретически обоснована и разработана концепция новой системы дозирования ПВКЖ на основе гибридного сервошагового привода насоса-дозатора и программируемого логического контроллера, позволяющая автоматизировать процесс ее ввода в поток авиатоплива, снизить влияние человеческого фактора и повысить безопасность полетов [215], а также исключить недостатки существующих систем дозирования и обеспечить импортозамещение оборудования ТЗК.

12. Разработан прототип дозатора, на который получен патент РФ № 223152 и экспериментально подтверждены возможности создания системы дозирования ПВКЖ в авиатопливо, показавший высокую сходимость с нормативными показателями, а именно при нормативных дозах: 0,1+0,05%; 0,2$\pm$0,02% и 0,3$\pm$0,03%.

13. Разработан опытный образец универсального дозатора ПВКЖ, позволяющий:

- обеспечивать высокую точность введения присадки ПВКЖ [214, 215], за счет применения энкодера (датчика угла поворота) механически связанного с сервошаговым двигателем;

- дозирование как в объемных пропорциях, так и в пропорциях массовых единиц [214, 215];

- интеграцию в систему как с объемными счетчиками, так и с массовыми расходомерами любых конструкций и исполнений (с индивидуальной калибровкой) [214, 215];

- вариативный выбор дозы присадки ПВКЖ (0,1; 0,2 и 0,3%), а также любой другой концентрации;

- проводить точную подстройку (компенсацию) за счет обратной связи с плотномером и детектором % содержания ПВКЖ, что позволяет решить существующую на сегодня техническую проблему с ежесменными проверками работоспособности дозатора.

14. Разработана методология системной интеграции топливозаправочного и аэропортового комплексов в условиях коллаборативного их взаимодействия на основе предложенной автоматизированной адаптивной информационно-управляющей системы авиатопливообеспечения ВС, позволяющая реализацию прогностического подхода к управлению безопасностью и регулярностью полетов.

Полученные результаты дают возможность дальнейшего совершенствования системы непрерывного контроля чистоты авиатоплива в системе ТЗК для его подготовки к заправке в ВС, а также обеспечения регулярности и безопасности полетов за счет системной интеграции взаимодействия топливозаправочного и аэропортового комплексов.

Список сокращений и условных обозначений

АВК - аэровокзальный комплекс

АМКУА - система измерительная автоматизированного модуля коммерческого учета авиатоплива,

АРМ - автоматизированное рабочее место

АСИ - автоматизированная система измерений

АСУ ТП - автоматизированная система управления технологическими процессами

АТ - авиатопливо

АТО – авиатопливообеспечение

АЧХ – амплитудно- частотная характеристика

ВК – воздушный кодекс Российской Федерации

ВС - воздушное судно

ГА – гражданская авиация

ГСМ – горюче смазочные материалы

ГСМ – горюче-смазочные материалы

ГСШД – гибридный сервошаговый двигатель

ЖДЦ - железнодорожная цистерна

ИУС- информационно-управляющая система

КДП - комплексная диэлектрическая проницаемость

МП – механические примеси

ННЗ – наконечник нижней заправки

НТД – нормативно техническая документация

ОУДН – оперативное управление движением нефтепродуктов

ПВКЖ – противоводокристализационная жидкость

ПЛК –програмируемый логический контроллер

ППН- пункт предперронного налива ТЗА

СИ – система измерения

ССиПД - Сервер сбора и передачи данных

СУЗВС – система управления заправкой воздушных судов

ТЗА – топливозаправщик аэродромный

ТЗК – топливозаправочный комплекс

ТМР - топливно-масляный радиатор

ФАП - федеральные авиационные правила

ЦЗС -централизованная заправочная система

A-CDM (Airport Collaborative Decision Making) система совместного принятия решений (процедуры)

AFMS - (Aircraft Fueling Information System) Информационная система управления заправочными операциями ВС

AFSC - (Aviation fuel smart contracts) Смарт -контракты, блокчейн

AODB - (Airport Operational Database) Операционная база данных аэропорта

CoTAS - (Computer Terminal Automation System) - Компьютерная Терминальная Автоматизированная система) предназначен

ERP - (Enterprise Resource Planning) планирование ресурсов предприятия

IATA (ИАТА) - (International Air Transport Association) Международная ассоциация воздушного транспорта

ICAO (ИКАО) - (International Civil Aviation Organization) международная организация гражданской авиации

LIMS - (Laboratory Information Management System), система управления лабораторной информацией

MES - (manufacturing execution system) система управления производственными процессами

RMS - Система управления ресурсами

SAP - (System Analysis and Program Development) Системный анализ и разработка программ

SCADA - (Supervisory Control And Data Acquisition) -диспетчерское управление и сбор данных

Список использованных источников

1. Воздушный кодекс Российской Федерации от 19.03.1997 N 60-ФЗ (ред. От 08.08.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2025)

2. Федеральные авиационные правила "Правила наземного обслуживания гражданских воздушных судов" Приказ Министерства транспорта РФ от 20 марта 2023 г. – № 89

3. Авиационные происшествия, инциденты и авиакатастрофы в СССР и России [Электронный ресурс]: airdisaster.ru, 2014–2024. — Режим доступа: http://www. airdisaster.ru/. – 27.12.2024

4. Авиакатастрофы 1972-2012 [Электронный ресурс] /Сайт-справочник aircrash.ucoz.net, 2014-2024. — Режим доступа: http://aircrash.ucoz.net/publ/3-l-0-46.24.07.2012.

5. **Аксенов А.Ф.** Авиационные топлива, смазочные материалы и специальные жидкости. — М.: Транспорт, 1965. – 187 с.

6. **Альтшуль А. Д.** Гидравлика и аэродинамика (основы механики жидкости) / А. Д. Альтшуль, П. Г. Киселёв. – М.: Стройиздат, 1965. – 275 с.

7. Анализ качества горючего. Методическое пособие. /Под ред. В. В. Каука. – М.: Изд-во ОАО ИПК «Ульяновский Дом печати», 2008. – 696 с.

8. **Алямовский А.А., Собачкин А.А., Обинцов Е.В., Харитонович А.И., Пономарев Н.Б.** SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.

9. **Андронов, И. В.** Измерение расхода жидкостей и газов. / И. В. Андронов / М – Энергоиздат, 1981. – 88 с.

10. Aviation Safety Network [Электронный ресурс] / Flight Safety Foundation: aviation-safety.net, 1996–2024. — Режим доступа: http://aviation-safety.net/statistics/. — 25.06.2024.

11. **Anatoly BRAILKO, Boris ELISEEV,** «Теоретические предварительные

исследования контроля качества авиационного топлива как инструмента обеспечения безопасности полетов воздушных судов гражданской авиации», Acta Avionica Journal, Том XXII, 43 – № 2 http://acta-avionica.tuke.sk факультет аэронавтики технического университета Кошице (Словакия). 2020г.-С. 12-17.

12. **Аронов С.Г., Бернер Л.И., Зельдин Ю.М., Котов В.В., Рощин А.В., Щукин Д.В.** Система управления заправкой воздушных судов для автоматизации учета топлива. //ИТНОУ. Информационные технологии в науке, образовании и управлении. –2019. –№2. –С. 8-13.

13. **Бай А.С., Романенко В.А.** Имитационная модель процесса наземного обслуживания воздушных судов в аэропорту// Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, г. Самара – 2021. – С. 19-21.

14. **Богомолов Д.В., Харченко М.Э.** Планирование деятельности авиационных подразделений при помощи средств управления проектами. //Научный вестник МГТУ ГА. –Т. 20, №11. –2017. –С. 88-96.

15. **Большаков, Г. Ф.** Восстановление и контроль качества нефтепродуктов. // Г. Ф. Большаков / 2-е изд., перераб. и доп. – Л.; Недра, 1982. – 350 с.

16. **Борминский С.А., Скворцов Б.В., Солнцева. А.В.** Методы измерений количественных и качественных характеристик жидких энергоносителей // Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. –222 с.

17. **Большаков Г.Ф., Тимофеев В.Ф., Сибарова И.И.** Экспресс-методы определения загрязненности нефтепродуктов. Под ред. проф. Г. Ф. Большакова, Л., «Химия», 1977. –168 с.

18. **Борминский С.А., Скворцов Б.В., Солнцева А.В.** Исследование импеданса углеводородных топлив в мегагерцовом диапазоне частот//Известия Самарского научного центра Российской академии наук, –Т.14, №6, –2012. – С.206 – 211.

19. **Беляцкий И.В., Самойленко В.М., Козлов А.Н.** Проблема управления рисками для безопасности полетов в области авиатопливообеспечения воздушных перевозок. //Научный вестник МГТУ ГА. –

Т.26, №5, 2023, –С.8–18. DOI:10.26467/2079-0619-2023-26-5-8-18.

20. **Браилко А.А.** Метод непрерывного мониторинга чистоты авиатоплива в технологической схеме топливообеспечения воздушных судов. Дисс. кандидата технических наук.: 05.22.14 / Браилко Анатолий Анатольевич; МГТУ ГА. – М., 2017. – 134 с.

21. **Браилко А.А., Самойленко В.М., Дружинин Н.А., Дружинин Л.А**. Адаптивная информационно-управляющая система динамического мониторинга фактической обводненности авиатоплива в технологических процессах авиатопливообеспечения. // Научный вестник МГТУ ГА. –Т. 25, №02. –2022. –С. 20-29. DOI:10.26467/2079-0619-2022-25-2-20-29.

22. **Браилко А.А., Громов О.В., Литинский Г.И., Громов В.К.** Исследование рабочей зоны средств очистки авиатоплива при выполнении заправочных операций воздушных судов. // Научный вестник МГТУ ГА. –Т.24, №4. –2021. –С. 20-27. DOI:10.26467/2079-0619-2021-24-4-20-27.

23. **Браилко А.А., Громов О.В., Дружинин Л.А.** Цифровые технологии – база цифровой экономики топливозаправочных комплексов аэропортов гражданской авиации. // Научный вестник МГТУ ГА. –Т. 23, №4. –2020. –С. 20-32. DOI:10.26467/2079-0619-2020-23-4-20-32.

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

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

26. **Браилко А.А.** Кинетика накопления загрязнений в авиатопливе при технологическом процессе его подготовки для заправки в воздушные суда. //Научный вестник МГТУ ГА. Т. 20, № 06. –2017. –С. 73-80.

27. **Браилко А.А., Смульский А.В.** Оценка остаточного ресурса

фильтроэлементов// Информационный сборник Ассоциации организаций авиатопливообеспечения воздушных судов гражданской авиации. М., Ассоциация ОАТО ВС ГА. –№ 8. –2013. –С. 66-69.

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

29. **Бушланов В.П.** Теория фильтра Дарси. / В. П. Бушланов, И. В. Бушланов, Е. Н. Сентякова / Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, Научные ведомости Серия: Математика. Физика. – 2012. №11(130). –Вып. 27. – С.103-109.

30. **Васильев С.Б., Браилко А.А.** Практические вопросы строительства ЦЗС в аэропорту Внуково. // Информационный сборник Ассоциации организаций авиатопливообеспечения воздушных судов гражданской авиации. М., Ассоциация ОАТО ВС ГА. – №6. –2011. –С. 21-23.

31. **Васильев С.Б., Браилко А.А., Дружинин Н.А.** Особенности строительства объектов ТЗК в аэропорту Внуково. / Информационный сборник Ассоциации организаций авиатопливообеспечения воздушных судов гражданской авиации. М., Ассоциация ОАТО ВС ГА. –№7. –2012. –С. 34-39.

32. **Васильев С.Б., Браилко А.А., Дружинин Н.А.** Внуково принимает суперлайнеры. /Информационный сборник Ассоциации организаций авиатопливообеспечения воздушных судов гражданской авиации М., Ассоциация ОАТО ВС ГА. –№8. –2013. –С. 34 –39.

33. **Васильев С.Б. Браилко А.А. Толстова Л.В.** Качество на земле – безопасность в воздухе. / Информационный сборник Ассоциации организаций авиатопливообеспечения воздушных судов гражданской авиации. М., Ассоциация ОАТО ВС ГА. –№8. –2013. –С. 62 –63.

34. **Васильев С.Б. Браилко А.А. Дружинин Н.А**. На крыльях времени, Информационный сборник Ассоциации организаций авиатопливообеспечения воздушных судов гражданской авиации. // М., Ассоциация ОАТО ВС ГА. – №9. –2014.–С. 56 –59.

35. **Васильев С.Б. Браилко А.А. Дружинин Н.А.** Реконструкция комплекса

авиатопливообеспечения аэропорта «Внуково» // М., Аэрокосмический курьер 6(83)2012. – С. 38 –40.

36. **Вентцель Е.С., Овчаров Л.А**. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: учеб. пособие для ВТУЗ. 5-е изд. стер. М.: КНОРУС, 2013. –448 с.

37. **Гялахова О. Г.** Основы фазометрии. / - Л.: Энергия, 1976. – 256 с.

38. **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.

39. **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.

40. **Гарипов А. А.** Методика моделирования течения жидкости в каналах фильтроэлемента с объемным принципом фильтрации. Дисс. кандидата технических наук.: 05.04.13/ Гарипов Артур Альбертович, Уфимский государственный авиационном технический университет, Уфа, 2012. – 140 с.

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

42. **Головченко Г.В.** Методы ресурсно-временной оптимизации процесса оперативного управления аэропортом в сбойных ситуациях. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-петербургский государственный университет гражданской авиации, 2018. – 156с.

43. **Гордеев В.В., Громов О.В., Громов В.К., Литинский Г.И., Самойленко В.М.** Технология блокчейн в смарт-контрактах на заправку воздушных судов гражданской авиации. //Научный вестник МГТУ ГА. –Т.24, №5 –2021.–С. 21 –31. DOI:10.26467/2079-0619-2021-24-5-21-31

44. **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.

45. **Гостев В.И.** Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления. Киев: "Радіаматор", 2008. - 972 с.

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

47. **ГОСТ Р 52050-2006**. Топливо авиационное для газотурбинных двигателей Джет А-1 (Jet A-1). – М.: Стандартинформ, 2007. – 47 с.

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

49. **ГОСТ 28912-91.** Фильтры складские и фильтры сепараторы. ТУ. – М.: Стандартинформ, 2005. – 19 с.

50. **ГОСТ 17216-71**. Промышленная чистота. Классы чистоты жидкостей. – М.: Изд-во стандартов, 1971. – 5 с.

51. **ГОСТ 16887-71.** Разделение жидких неоднородных систем методами фильтрования и центрифугирования. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 14 с.

52. **ГОСТ Р 51109-97.** Промышленная чистота. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 20 с.

53. **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. – 5с.

54. **ГОСТ Р 18.12.02-2018.** Национальный стандарт РФ. Оборудование типовых схем авиатопливообеспечения. Общие технические требования: дата введения 2017-12-28 / Росстандарт. –Москва: Стандартинформ, 2018. – 46 с.

55. **ГОСТ 18675-2012.** Документация эксплуатационная и ремонтная на авиационную технику и покупные изделия на нее. – М.: Стандартинформ, 2009.

– 92 с.

56. **ГОСТ Р ИСО 9001-2011**. Системы менеджмента качества. Требования. – М.: Стандартинформ, 2013. – 31 с.

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

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

59. **ГОСТ 8313-88** Этилцеллозольв технический. Технические условия = Technical ethylcellosolve. Specifications национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитете СССР по стандартам от 22.06.88 N 2100: взамен ГОСТ 8313-76: Дата введения 1989-01-01 / разработан и внесен Министерством химической промышленности СССР. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 1988. - 16 с.

60. **ГОСТ 18995.2-73** Продукты химические жидкие. Метод определения показателя преломления = Liquid chemical products. Method for determination of refractive index. национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 17.07.73 N 1740: взамен ГОСТ 9884-61 : Дата введения 1974-07-01 / разработан и внесен Министерством химической промышленности СССР. – Москва :1974. - 2 с.

61. **ОСТ 54-3-175-73-99** Противоводокристаллизационная жидкость «И-М». Технические требования. стандарт отрасли авиатопливообеспечения: издание официальное: введен в действие Приказом Федеральной службой воздушного транспорта России от 17 февраля 2000 г. N 30 : введен впервые : Дата введения 01.01. 2000 / разработан Центром Сертификации авиационных горюче-смазочных материалов и спецжидкостей (ЦС авиаГСМ) Федерального государственного унитарного предприятия Государственного научно-исследовательского института гражданской авиации (ФГУП ГосНИИ ГА). – Москва: 2000. 9 с.

62. **Градус Л. Я**. Руководство по дисперсионному анализу методом микроскопии. — М.: Химия, 1979.– 232 с.

63. **Григорьев И. А.** AnyLogic за три дня: практическое пособие по имитационному моделированию / И. А. Григорьев. – Москва: Лань, 2016. – 202 с.

64. **Григорьев М.А.** Очистка масла и топлива в автотракторных двигателях. / М. А. Григорьев / – М., «Машиностроение», 1970.– 270 с.

65. **Громов В.К., Громов С.В.** Математическое моделирование гидравлических расчетов при проектировании систем ЦЗС. //Научный вестник МГТУ ГА. –№206. –2014. –С. 12 –16.

66. **Громов В.К**. Концепция модернизации. Процессный подход к организации топливозаправочных комплексов аэропортов // Информационный сборник Ассоциации ОАТО ВС ГА. –2011. – № 6. –С. 36 –41.

67. **Грохольский А.Л.,** Меньшиков А.П. Определение числа диэлектрических микропримесей в различных средах // Труды метрологических институтов СССР / ВНИИМ: Исследования в области измерений электромагнитных параметров. - Вып.177/237. - Л. –1975. - С. 66 –69.

68. **Грядунов К. И., Браилко А. А., Балышин К. Э., Савушкин С. А., Харина В. К.** Применение методов оценки термоокислительной стабильности реактивных топлив в гражданской авиации. // Научный вестник МГТУ ГА. –Т. 26, №3. –2023. –С. 38 –52. DOI: 10.26467/2079-0619-2023-26-3-38-52

69. **Грядунов К.И., Козлов А.Н., Самойленко В.М., Ардешири Ш.** Сравнительный анализ показателей качества авиационных керосинов, биотоплив и их смесей. // Научный вестник МГТУ ГА. –Т.22, №5. –2019. –С.67–75. DOI:10.26467/2079-0619-2019-22-5-67-75

70. **Домогацкий В.В.** Создание гидропередачи на базе роликолопастных машин // Строительные и дорожные машины. – 2009. – № 5. – С. 30 –34.

71. Доклад «Об итогах работы Федерального агентства воздушного транспорта в 2022 году, основных задачах на 2023 год и среднесрочную перспективу» федеральное агентство воздушного транспорта росавиаци, министерство транспорта российской федерации 10 .03. 2023. –87с.

72. **Дружинин Н.А.** Метод непрерывного мониторинга обводненности авиатоплива при топливообеспечении воздушных судов. Дисс. кандидата

технических наук.: 2.9.6 /Дружинин Никита Александрович; МГТУ ГА. – М., 2022. – 116 с.

73. **Думболов Д.У.** Дозирование противокристаллизационных жидкостей в поток авиационного топлива расходомерами на основе ролико-лопастных гидромашин / Тюнин С.В., Дикий П.В. - Текст: электронный //Евразийский союз ученых. - 2020. - № 7-1 (76). - С. 19…23. https://www.elibrary.ru/item.asp?Id=43969914 (дата обращения: 12.11.2022). - Режим доступа: Научная электронная библиотека elibrary.RU.

74. **Думболов Д.У**. и др. Разработка и исследование аппаратно-программных средств измерения физических величин // Итоговый отчет о НИР. - Ульяновск: УВВТУ, 2008. – 155 с.

75. **Думболов Д.У., Елькин А.В., Галко С.А., Дроздов Д.А., Прохоров А.А**. Способ, устройство для его осуществления и математическая модель определения расхода топлива, содержащего нерастворенную воду.//Журнал Территория Нефтегаз WWW.NEFTEGAS.1MFO, автоматизация, –№10, октябрь. –2013. –С. 22 –25.

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

77. **Ентов В. М.** Теория фильтрации / В. М. Ентов / Соросовский образовательный журнал. - 1998. –№2. - С. 121 –128.

78. **Есауленко В.Н., Липчанский А.А.** Основы теории электрохимического фазового метода многопараметрического анализа концентрации веществ. / Журнал Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность 2004, Электротехника, электронная техника, информационные технологии, Электроаналитические методы анализа. Электрохимические методы анализа, процессы и аппараты, –2004. –С. 255 –259.

79. **Жижиков В.А.** Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий. / В.А. Жижиков /. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Москва: Химия, 1980. – 400 с.

80. **Заде Л.А**. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Пер. с англ. Н.И. Ринго, под ред. Н.Н.

Моисеева и С.А. Орловского. М.: Мир, 1976. – 165 с.

81. **Зайдель Р.М.** Диэлектрические свойства с плоскими частицами примеси // Электричество. - 1967. - № 1. - С. 89 –91.

82. **Зубков Н.А.,** Современный подход к решению проблемы отрицательного влияния топлива на безопасность полетов. // Научный вестник МГТУ ГА. –№149. 2009. –С. 172 –175.

83. **Иванов А.А., Пирогов Ю.Н. Сыроедов Н.Е.,** Математическая модель процесса функционирования централизованной системы заправки воздушных судов топливом на аэродроме. // Научный вестник МГТУ ГА № 127 серия Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. Безопасность полетов. –2008. –№4. –С. 56-63.

84. **Карандеев К. В.** Мостовые методы изменения. /- Киев: Гостсхиздат, 1983. – 354 с.

85. **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/. 25.06.2012

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

87. **Кирш А. А.** Фильтрация аэрозолей волокнистыми материалами ФП /А. А. Кирш, А. К. Будыка, В. А. Кирш/ журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева. – 2008. Т. LII, № 5. –С. 97 –102.

88. **Климов П.И., Самойленко В.М.** Концепция автоматизированной обучающей системы подготовки персонала топливозаправочных комплексов. // Научный вестник МГТУ ГА. –Т. 22, №5. –2019. –С. 67 –75 DOI:10.26467/2079-0619-2019-22-5-67-75

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

90. **Кобзарь А.И.** Прикладная математическая статистика / А.И, Кобзарь. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.

91. **Козлов А.Н.** Технологические процессы авиатопливообеспечения. / А.Н. Козлов, А.Н. Тимошенко / учеб. пособие. – М.: МГТУ ГА, 2012. – 60 с.

92. **Коваленко В.П.** Основы техники очистки жидкостей от механических примесей. / В.П. Коваленко, А.А. Ильинский. – М.: «Химия», 1982. – 272 с.

93. **Коваленко В.П., Думболов Д.У., Сыромятников В.И. и др.** Способ измерения расхода углеводородного горючего в потоке. //Международный технико-экономический журнал. - 2010. - №4. - С. 6.

94. **Коняев Е.А.** Проблемы точности фиксированного норматива продолжительности отстаивания авиатоплива / Е.А. Коняев, А.Н. Тимошенко // Научный вестник МГТУ ГА – 2014. – № 206 (08). – С. 131 –136.

95. **Коробко А.А.** Многочастотные алгоритмы определения влагосодержания жидких эмульсий методом резонасной диэлькометрии. / УДК 621.317.39. DOI:10.20998/2074-272X.2017.3.06 // ISSN 2074-272X Електротехніка і Електромеханіка. –2017. –№3.–С. 40 –46

96. **Кофман А.** Введение в теорию нечетких множеств / Пер. с фр. В.Б. Кузьмина, под ред. С.И. Травкина. М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.

97. **Кремлевский П.П.** Расходомеры и счетчики количества веществ: справочник / под ред. Е. А. Шорникова / 5-е изд., перераб. и доп. Кн. 2: Расходомеры: обтекания, силовые, тепловые, оптические, ионизационные, ядерно-магнитные, концентрационные, меточные, корреляционные, вихревые, электромагнитные, ультразвуковые (акустические). – СПб.: Политехника, 2004. – 412 с.

98. **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. ЦНИИ ВВС МО РФ. г. Люберцы. –2016.–С. 4 –9.

99. **Кухтерин Е. И.** Исследование основных параметров систем централизованной заправки самолетов авиатопливом. / Дисс. кандидата технических наук.: Кухтерин, Евгений Иннокентьевич; / Гос. проектно-изыскат. и науч.-исслед. ин-т гражд. авиации "Аэропроект". – М., 1975. – 51 с.

100. **Литвинов А.А.** Основы применения горюче-смазочных материалов в гражданской авиации: учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1987. – 311 с.

101. **Литвиненко А.Н.** Технологии и установки для очистки и продления срока службы смазочно-охлаждающих жидкостей / Думболов Д.У., Галиахметов Р.Ф. // Химическая техника. – 2007. – №8. – С. 37

102. Материалы международной научно-технической конференции, ФАУ 25 ГосНИИ. Совершенствование системы контроля авиатоплива в оборудовании авиатопливообеспечении аэропорта. – 2014. –С.481–488.

103. **Марасанов Л.О.** Современные информационные технологии в работе авиационного эксплуатационного предприятия. //Научный вестник МГТУ ГА. – 2014. –№201.– С. 86–90.

104. **Мелкумян В.Е**. Измерение и контроль влажности материалов. - М.: Изд-во Комитета стандартов мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, 1970. – 138 с.

105. **Михеичев П.А., Поплетеев А.С., Поплетеев С.И.** Очистка авиатоплива от загрязнений с помощью фильтров и фильтров-сепараторов, оснащенных новыми типами фильтроэлементов российского производства. Комитет по авиаГСМ. Информационный сборник. –№ 2. –2007. –С. 20.

106. **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.

107. **Новичков Б.М.** Метод автоматизированного контроля чистоты топлив для реактивных двигателей. Дисс. кандидата технических наук.:20.02.19/Новичков Борис Михайлович, Ульяновское высшее военно-техническое училище (военный институт) М., 2008. – 165 с.

108. Наставление по службе горюче-смазочных материалов на воздушном транспорте Российской Федерации НГСМ-94: утв. МГА РФ. – 01.11.1991.

109. Наиболее часто самолеты падают в США и Российской Федерации [Электронный ресурс] / ООО «АвиаПорт»: aviaport.ru, 2009—2012. — Режим

доступа: http://www.aviaport.ru/digcst/2007/03/23/118096.html/. –26.06.2012.

110. **Немчиков М.Л., Коняев Е.А., Козлов А.Н., Грядунов К.И.** Оценка эффективности работы фильтроэлементов и мониторинг содержания в них механических примесей из авиационных топлив// Научный вестник МГТУ ГА. – №225. –2016. –С. 14–17.

111. **Немчиков М.Л., Козлов А.Н., Грядунов К.И., Мелешников А.М.** Исследование возможности оценки эффективности работы топливных фильтроэлементов при применении рентгенофлуоресцентного метода. // Научный вестник МГТУ ГА. –Т.20, №1. –2017. –С. 107–115.

112. **Никитин ГА., Чирков С.В.** Влияние загрязнений жидкости на надежность гидросистем летательных аппаратов. — М.: Транспорт, 1969. – 143 с.

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

114. **Оделевский В.И**. Расчет обобщенной проводимости гетерогенных сред // Журнал технической физики. - Т. 21, №3. –1951. - С. 46–51.

115. **Орешенков А.В., Гришин Н.Н.** Оценка эффективности действия противоводокристаллизационных жидкостей для реактивных топлив. //Научный вестник МГТУ ГА. –№217. –2015. –С. 69–74.

116. Отчет «Разработка экспресс-метода определения показателей эффективности работы пористых фильтрующих материалов». – М.: НПО НАТИ, 1985. – 132 с.

117. **Патент RU ПМ №122491** РФ, МПК G01N 35/08, G01N 33/22 «Устройство для определения содержания воды в углеводородном топливе или в воздухе» **/А.А. Браилко,** Дружинин Н.А. Смульский А.В./ Опубликовано от 27.11. 2012 г.

118. **Патент RU №2502069**, РФ, МПК G01N 33/22, B01D 25/00 «Способ определения содержания воды в углеводородном топливе и устройство для его осуществления» **А.А. Браилко,** Дружинин Н.А. Смульский А.В. Опубликовано от 20.12. 2013 г.

119. **Патент RU ПМ №141654,** РФ, МПК G01N 33/22, B01D 25/00**.**

«Устройство контроля содержания механических примесей в жидкости и система мониторинга содержания механических примесей в потоке жидкости». / **Браилко А.А**. и др. (5 соавторов). Опубликовано от 30.04. 2014 г.

120. **Патент RU №2563813**, РФ, МПК G01N 33/22 «Способ контроля содержания механических примесей в жидкости, для его осуществления и система мониторинга содержания механических примесей в потоке жидкости». **Браилко А.А.** Дружинин Н.А. (7 соавторов), Опубликован от 26.08.2015.

121. **Патент RU 2673004** C1, РФ, МПК B65D 90/28 «Дыхательная система резервуара для легкоиспаряющихся жидкостей» **А.А. Браилко,** Н.А. Дружинин, Л.А. Дружинин, А.В.Смульский/ Опубликовано от 29.08.2018 г.

122. **Патент RU ПМ №182746** U1, РФ, МПК B65D 90/28 «Дыхательная система резервуара для легкоиспаряющихся жидкостей» **А.А. Браилко,** Н.А. Дружинин, Л.А. Дружинин, А.В.Смульский/ /Опубликовано от 21.11.2018 г.

123. **Патент RU ПМ №223152,** U1, МПК B67D 7/04 B64F 1/28 Устройство дозирования противоводокристаллизационной жидкости (ПВКЖ) в авиатопливо **Браилко А.А**. и др. (10 соавторов). Опубликовано от 02.02. 2024 г.

124. **Патент RU 2 640 664 C1** Система дозирования жидкой присадки в поток топлива / Зарецер Я.М., Думболов Д.У., Севрюков И.Т., Лысенко М.Ю., Кирилов А.В. // Патент РФ на изобретение No 2640664, Опубликовано 11.01.2018г.

125. **Пегат А.** Нечеткое моделирование и управление: пер. с англ. 2-е изд. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с.

126. **Пирогов Ю.Н.** Математическое моделирование процессов функционирования объектов и технических средств обеспечения горючим. //-М.: Неография, 2006. – 228 с.

127. **Полешкина И.О., Васильева Н.В.** Технология blockchain как инструмент управления цепями поставок с участием воздушного транспорта. //Научный вестник МГТУ ГА. –Т.23, №2. –2020. –С. 72–86. DOI:10.26467/2079-0619-2020-23-2-72-86

128. Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р об

утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации».

129. **Прищепенко В.Ю**. Разработка микроволнового резонаторного метода контроля свободной влаги в авиационных топливах. /Дисс. кандидата технических наук.: Прищепенко Владислав Юрьевич, Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина (Воронеж), 2016. –134с.

130. **Резников М. Е.** Химия и авиационные горючие и смазочные материалы. / М. Е. Резников, Старостенко Г.К. / — Харьков: Издание ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1977. –300 с.

131. **Романенко В.А.** Использование смесей вероятностных распределений в имитационной модели аэропорта / Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. –№ 6 (30) 2011. –С. 241-251.

132. **Романенко В.А.** Оптимальное комплексирование ресурсов производственных систем в условиях неопределенности Романенко В. А. /Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. –Т.14, № 4. –2015. –С. 80-91.

133. **Романенко В.А**. Имитационная модель технологических процессов наземного обслуживания перевозок в аэропорту / Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2011. – № 1 (17). – С. 79–95.

134. **Романенко В.А.** Стохастическое оптимальное комплексирование технологических ресурсов узлового аэропорта /Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета –Т.14, № 4. –2015. - С.81–91.

135. **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.

136. **Рудаков В.В., Коробко А.И., Коробко А.А.** Электрофизическая модель поведения эмульсии типа минеральное масло - вода инженерного типа // Вестник НТУ «ХП1». -2009. - №39. - С. 158–161.

137. **Рудаков В.В., Коробко А.А.** Повышение чувствительности измерений

содержания влаги в трансформаторном масле диэлькометрическим методом в резонансном режиме //Вестник НТУ «ХІІІ». - 2014. - №50(1092). - С. 143–149.

138. **Рудаков В.В., Коробко А.А.** Резонансные спектры неоднородных коаксиальных резонаторов для определения диэлектрической проницаемости жидких сред в СВЧ диапазоне // Вестник НТУ «ХП1». - №20(1129). - С. 129 – 137.

139. **Рудаков В.В., Коробко А.А.** Исследования метрологических характеристик измерительных преобразователей в виде ступенчатого коаксиального неоднородного резонатора для диэлькометрии жидких сред в СВЧ диапазоне //Вестник НТУ «ХП1». - 2015. - №51(1160). - С. 91 – 95.

140. **Рудаков В.В., Коробко А.А.** Высокочувствительный СВЧ измеритель влагосодержания в неполярных диэлектрических жидкостях на основе ступенчатого неоднородного коаксиального резонатора. // ISSN 2074-272X. Електротехніка і Електромеханіка. – №5. – 2016. – С. 51 – 56.

141. **Рыбаков К.В.** Фильтрация авиационных топлив. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1983. –158 с.

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

143. Приказ Министерства обороны РФ от 13.07.1992г. № 65 «О введении в действие норм расхода и инструкции по нормированию и применению горючего, масел, смазок и специальных жидкостей при эксплуатации и ремонте вооружения и военной техники»: одобрен первым заместителем Министра обороны Российской Федерации генерал-полковник В. Дубынин. – Москва: 376 с.

144. 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.

145. Руководство по технической эксплуатации складов и объектов горюче-смазочных материалов предприятий гражданской авиации

(утвержденный руководящий документ МГА от 27.07.91 № 9/И) – М.: МГА, 1991. – 121 с.

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

147. Руководство по обеспечению чистоты и очистке авиационных топлив, масел, рабочих и специальных жидкостей на предприятиях ГА (утверждена МГА 24.03.86) - М.: Воздушный транспорт, 1987. –32 с.

148. Рекомендации по применению авиаГСМ. Порядок производства, поставки в гражданскую авиацию, приема, хранения, выдачи и контроля качества противоводокристаллизационной жидкости. НЦ-28: Издание 2/ август 2021 г. ГосНИИ ГА – М.: ГОСНИИ ГА, 2021. – 25 с.

149. **Скворцов Б.В., Борминский С.А**. Импульсные методы измерений количества и качества жидких углеводородных топлив. //Самара: Издательство СНЦ РАН, 2010. – 220 с.

150. **Самойленко В.М., Громов О.В., Литинский Г.И., Громов В.К**. Математическое моделирование процесса функционирования объектов и технических средств обеспечения аэродромного контроля. // Научный вестник МГТУ ГА. – Т.24, №2. – 2021. – С.119 – 129. DOI: 10.26467/2079-0619-2021-24-2-119-129.

151. **Самуленков Ю.И., Бабков А.Б., Филатова Я.А.** Совершенствование инфраструктуры аэропортов гражданской авиации с учетом проектирования организаций по техническому обслуживанию воздушных судов. Научный вестник МГТУ ГА. – 2022; 25(1): – С. 35 – 52. DOI:10.26467/2079-0619-2022-25-1-35-52.

152. **Самуленков Ю.И., Филатова Я.А., Грузд А.Д.** Построение имитационной математической модели системы технического обслуживания воздушных судов. Научный вестник МГТУ ГА. – 2021. -№ 24(4). – С. 38 – 49. DOI:10.26467/2079-0619-2021-24-4-38-49.

153. **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.

154. **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. 97-41.

155. (http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_3_08/pdfs /AERO_Q308_article3.pdf) 2008г. Статья «Engine Fuel Filter Contamination, By Michael Jones Senior Service Engineer, Propulsion, С. 15…18.

156. AERO - Engine Fuel Filter Contamination - Boeing» 03.2008г, С.17-19. Более точное название статьи по загрязнениям в баках ВС.

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

158. Сертификационные требования к организациям авиатопливообеспечения воздушных перевозок: ФАП: приняты приказом ФСВТ от 18.04.2000 г. № 89, зарегистрированы Минюстом 05.10.2000 г. № 2411.

159. Сертификационные требования к организациям, осуществляющим контроль качества авиационных топлив, масел, смазок и специальных жидкостей, заправляемых в воздушные суда: ФАП: приняты приказом Минтранса России от 07.10.2002 г. № 126, зарегистрированы Минюстом 18.10.2002 г. № 3867.

160. Стандарт EI/JIG 1530. Требования к обеспечению качества системы производства, хранения и доставки авиационного топлива в аэропорты. Принят 01 ноября 2013г.

161. 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.

162. **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

163. **Тимошенко А. Н.** Проблемы использования фиксированного норматива продолжительности отстаивания авиатоплива в службах ГСМ аэропортов / А. Н. Тимошенко, Е. А. Коняев, С. П. Урявин // Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2014. – № 4 – С. 80 – 85.

164. **Тимошенко А. Н.** Биотопливо как источник заражения самолетов / А. Н. Тимошенко, С. П. Урявин, А. Н. Козлов // Авиаглобус. – 2010. – № 4 (132) – С. 18 – 23.

165. **Тимошенко А. Н.** FAME – прямая угроза безопасности полетов / А. Н. Тимошенко, С. П. Урявин, А. Н. Козлов // Научный вестник МГТУ ГА. – 2012. – № 178 (4) – С. 178 – 182.

166. **Тимошенко А. Н.** Метод определения продолжительности подготовки авиатоплива к применению на воздушных судах. / А. Н. Тимошенко / Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. – М.: МГТУ ГА, 2014г. – 197 с.

167. **Тимошенко А. Н.** Разработка метода экспериментального определения скорости седиментации механических примесей в авиатопливе и исследование формы частиц наиболее критичного загрязнителя / А. Н. Тимошенко, С. П. Урявин, А. Н. Козлов, И. С. Мельникова // Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2013. – № 3 – С. 54 – 61.

168. **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.

169. **Титов Б.А., Кропивенцева С. А.** Количественная оценка длительности операции «заправка воздушного судна топливом» / Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – №2 (40). – 2013. С. 245-247.

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

171. **Топильский А. В**. Микроволновые резонаторные методы определения

объемного влагосодержания в жидких углеводородах. Дисс. кандидата технических наук.: / Топильский Алексей Викторович, ФГБОУ ВО "ТГТУ" "Тамбовский государственный технический университет" Тамбов, 2004. –124 с.

172. **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.

173. **Тук Д. Е**. Исследование течения жидкости в фильтроэлементах с объемным принципом фильтрации / Д.Е. Тук, А. А. Гарипов, В. А. Целищев. / Гидравлические машины, гидропневмоагрегаты. – Уфа.: УГАТУ. – 2011. – Т. 15, № 4 (44). – С. 159 – 163.

174. **ТУ 2432-127-05757587-98.** Жидкость противоводокристаллизационная (ПВКЖ-М) к топливам для реактивных двигателей. Технические условия.

175. Инструкция № 776/У по единой технологии ввода, контроля содержания противоводокристаллизационных жидкостей в авиационном топливе и эксплуатации дозирующих устройств (указание МГА от 29.10.87 № 776/У) Об упорядочении применения ПВК жидкостей – М.: МГА, 1987. – 55 с.

176. Технические требования и порядок квалификационной оценки топливных фильтров-водоотделителей спецификация API/IP 1581. Пятое издание, Июль 2002.

177. **Умнов А.Е.** Методы математического моделирования: учебное пособие / А. Е. Умнов. – Москва: МФТИ, 2012. – 295 с.

178. **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.

179. **Удлер Э.И.** Метод оценки эффективности пористых фильтров по их проницаемости. / Э. И. Удлер / Журнал «Двигателестроение». – 1985, №7, С. 38-41.

180. **Фокин Л.Г.** Диэлектрическая проницаемость смеси // Журнал

технической физики. - 1971. - Т. 41. - № 6. - С. 1073 – 1079.

181. **Чертков Я.Б.** Применение реактивных топлив в авиации / Я. Б. Чертков, В. Г. Спиркин. – М.: Транспорт, 1974. – 160 с.

182. **Шапкин В. С.** Как влияют на безопасность полетов изменения нормативной базы в области авиатопливообеспечения / В.С. Шапкин, В.Ю. Санников, П.А. Михеичев // Крылья Родины. – 2016. – № 11/12. – С. 70 – 76.

183. **Шейдеггер А.Э**. Физика течения жидкостей через пористые среды. / А. Э. Шейдеггер /— М.: Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2008. – 254 с.

184. **Шишкин А.С.** Разработка модели процесса седиментационного анализа: дис. … канд. техн. наук: 05.17.08 / А. С. Шишкин. – Екатеринбург, 2004 – 177 с.

185. **Эме Ф.** Диэлектрические измерения. - М.: Химия, 1967. – 223 с.

186. **Ягер Р.Р**. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / Пер. с англ., под ред. Р.Р. Ягера. М.: Радио и связь, 1986. – 406 с.

187. **Яковлева А. В.** Влияние качества авиационных топлив на безопасность полета и окружающую среду. / А. В. Яковлева, С. В. Бойченко, О. А. Вовк / Институт экологической безопасности Национального авиационного университета. – Киев, Наука та інновації. – 2013. – Т. 9, № 4. – С. 25 – 30.

188. **Яновский Л. С** Инженерные основы авиационной химмотологии / Л. С. Яновский, Н. Ф. Дубовкин, Ф. М. Галимов [и др.]. – Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 2005. – 714 с.

189. **Яновский Л. С.** Основы авиационной химмотологии. / Л. С. Яновский, В. П. Дмитренко, Н. Ф. Дубровкин [и др.]. / Учебное пособие. — М.: МАТИ, 2005. – 680 с.

190. **Яновский Л.С.** Горюче-смазочные материалы для авиационных двигателей. / Л. С. Яновский, Н. Ф. Дубовкин, Ф. М. Галимов [и др.]. — Казань: Мастер Лайн, 2002. – 400 с.

191. **Яновский Л.С**. Энергоёмкие горючие для авиационных и ракетных двигателей. / Л. С. Яновский, Н. Ф. Дубовкин [и др.] / Учебник. – М.: Физматлит, 2009. – 400 с.

192. НПО Агрегат: официальный сайт. – Чехов. – 2005. – URL: http://www.agregatnpo.ru (дата обращения: 25.04.2023). - Текст: электронный.

193. ЧАО «Ивано-Франковский завод «Промприбор»: официальный сайт. – Ивано-Франковск. – 2012. – URL https://prylad.prom.ua (дата обращения 28.04.2023). – Текст: электронный.

194. Alfons Haar: официальный сайт. – Гамбург. 2022. – URL https://www.alfons-haar.de (дата обращения 29.04.2023). – Текст: электронный.

195. **HilemanJ.I., Wong H.M., Waitz I.** Near-Term Feasibility of Alternative Jet Fuels. — Santa Monica, California: RAND Corporation, 2009. — 120 p.

196. Aviation Safety Network [Электронный ресурс] / Flight Safety Foundation: aviation-safcty.net, 1996-2012. — Режим доступа: http://aviation-safcty.net/statistics/. —25.06.2012.

197. **Boichenko S. Yakovleva A.** Prospects of biofuels introduction into aviation // Transport engineering and management: Proceedings of the 15-th conference for Lithuania Junior researchers. Science — future of Lithuania, 4 May 2012. - Vilnius: Tcchnika. - 2012. - P. 90-94

198. Practical Handbook of Genetic Algorithms. Editor I. Chambers. V.l, Washington, US A, CRC Press, 1995.

199. Practical Handbook of Genetic Algorithms. Editor I. Chambers. V.2, Washington, US A, CRC Press, 1995.

200. Practical Handbook of Genetic Algorithms. Editor I. Chambers. V.3, Washington, US A, CRC Press, 1999.

201. Report on the accident to Boeing 777-236ER, G-YMMM, at London Heathrow Airport on 17 January 2008 Air Accidents Investigation Branch Department for TransportAir Farnborough HouseBerkshire Copse Road AidershotHampshire GU11 2IIII

202. **Dvoryashin B.V**. Osnowi metrologii i radioizmeremva [Fundamentals of metrology and radio measurements). Moscow, Radio i svyiz Publ., 1993. 320 p. (Rus). //Дворяшин Б.В. Основы метрологии и радиоизмерения: Учеб, пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 1993. - 320 с.

203. Fully integrated software suite for optimized aviation processes [Электронный ресурс) // Inform-digital decision nuk¬ing. URL: http$://www.inform-software.conVproducts'groundstar https://www.inform-software.com/en/software/groundstar (дата обращения 30.10.2024).

204. Основы измерения диэлектрических свойств материалов Рекомендации по применению © Keysight Technologies 2015 Published in USA, April 27, 2015 5989-2589RURU.

205. Руководство по обучению Пул ИАТА по качеству топлива (IATA Fuel Quality Pool) (включены требования стандартов ATA 103-2017.2 и JIG 12) Действует с апреля 2019 1.00 ИЗДАНИЕ 11 (перевод руководства по качеству изд.12).

206. **Абчук В.А., Матвейчук Ф.А., Томашевский Л.П.** Справочник по исследованию операций. – М.: Воениздат, 1979. – 368 с.

207. **Головченко Г.В.** Организация процессов совместного принятия решений на базе АС «КОБРА». М.: Аэропорт Партнер. Журнал Ассоциации «Аэропорт» ГА стран СНГ. – №1 (109). – 2016. – С. 9-10.

208. **Волкова Л.П.** Взаимодействие аэропорта и авиакомпаний при наземном обслуживании воздушных перевозок. Научный Вестник. – №41. - МГТУ ГА. – 2001. – С.83-88.

209. ГОСТ Р 52906-2008. Национальный стандарт РФ. Оборудование авиатопливообеспечения. Общие технические требования. : дата введения 2008-01-24 / Росстандарт. –Москва: Стандартинформ, 2008. – 38с.

210. **Калякин А.В., Калякина К.А**. Использование метода многокритериального группового ранжирования при решении задач оптимизации номенклатуры показателей качества топлив для реактивных двигателей. – Научный вестник УИГА. – №9. – 2017. – С. 150…153.

211. **Фигуровский Н.А.** Седиментометрический анализ. Монография / Под ред. и с предисл. П.А. Ребиндера — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948. – 332 с.

212. **Новиков Е.А.** Об измерении загрязнения жидкостей твердыми частицами. Научно-технический журнал «Аналитика». – Т.10, №2. – 2020 – С.148-152.

213. **Мальчиков К. Ю**. Расширение динамического диапазона датчиков встроенного контроля параметров дисперсной фазы рабочей жидкости. Дисс. кандидата технических наук: 05.13.05 / Мальчиков Константин Юрьевич; СГАУ. Самара, 2009 -130с.

214. **Осипов А.О.** Совершенствование технологии заправки топливом воздушных судов на основе исследования физико-химической механики взаимодействия эмульсии ПВКЖ с фильтровальными картонами в топливе ТС-1 в условиях отрицательных температур. Дисс. кандидата технических наук.: 05.22.14 /Осипов Артем Олегович; МГТУ ГА. – М., 2015. – 131 с.

215. **Савушкин С.А**. Совершенствование технологии заправки топливом воздушных судов в процессе введения ПВКЖ. Магистерская диссертация 25.04.01/ Савушкин Сергей Александрович; МГТУ ГА. – М., 2023. – 101 с.

216. **Браилко А.А.** Управление процессами в топливозаправочных комплексах [Текст] : учебное пособие / А.А. Браилко, А.Н. Козлов, К.Э. Балышин, С.А. Савушкин. – М. : ИД Академии Жуковского, 2024. – 80 с.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

На правах рукописи

БРАИЛКО АНАТОЛИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ

МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ АВИАТОПЛИВООБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЦИИ АЭРОПОРТОВОГО КОМПЛЕКСА

Том 2. ПРИЛОЖЕНИЯ

Специальность 2.9.6 – «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники»

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
доктора технических наук

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

Москва 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Структурная схема системы мониторинга кондиционности авиатоплива в технологической схеме топливозаправочного комплекса…….. 2

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Мнемосхемы (видеокадры) подсистем мониторинга качества информационно-управляющей системы ТЗК …… 8

ПРИЛОЖЕНИЕ В. Математическое обеспечение. Описание алгоритмов информационно-управляющей системы ТЗК…….. 19

ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Объемы дозирования ПВКЖ (справочное)…… 133

ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Программа делителя импульсов сервошагового привода…… 134

ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Результаты исследования проб авиакеросина на содержание ПВК -жидкости «И» …… 137

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Интеграционное взаимодействие систем управления технологическими процессами ТЗК в рамках операций наземного обслуживания ВС в аэропортовом комплексе……. 143

ПРИЛОЖЕНИЕ З. Патент на полезную модель «Устройство дозирования противоводокристаллизационной жидкости (ПВКЖ) в авиатопливо»……... 147

ПРИЛОЖЕНИЕ А
СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КОНДИЦИОННОСТИ АВИАТОПЛИВА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЕ ТОПЛИВОЗАПРАВОЧНОГО КОМПЛЕКСА (ОБЯЗАТЕЛЬНОЕ)

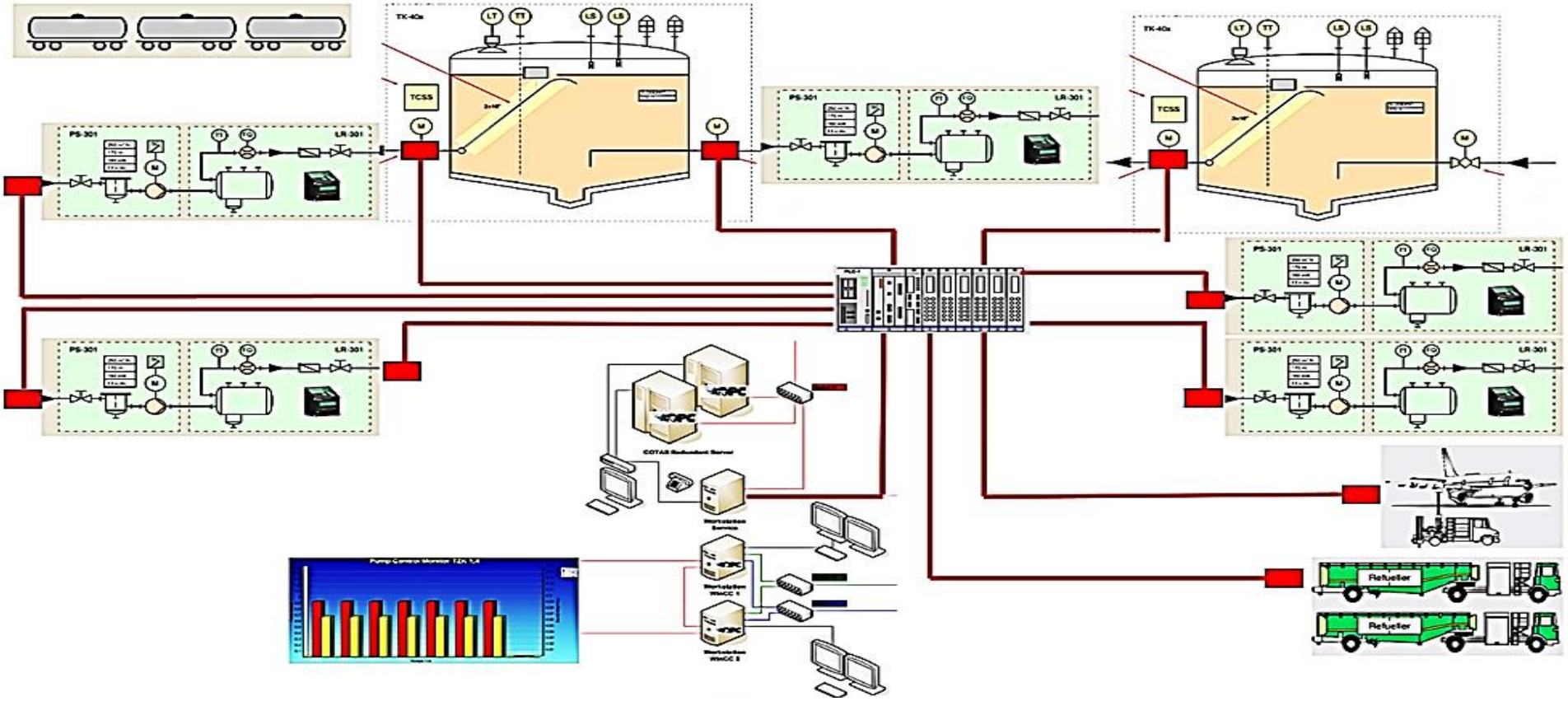


Рисунок А.1 – Структурная схема системы мониторинга кондиционности авиатоплива в технологической схеме ТЗК: при приеме авиатоплива из ЖДЦ (1) и по трубопроводу (2); при внутрискладских перекачках (3 и 4); при выдаче авиатоплива в средства заправки (5)

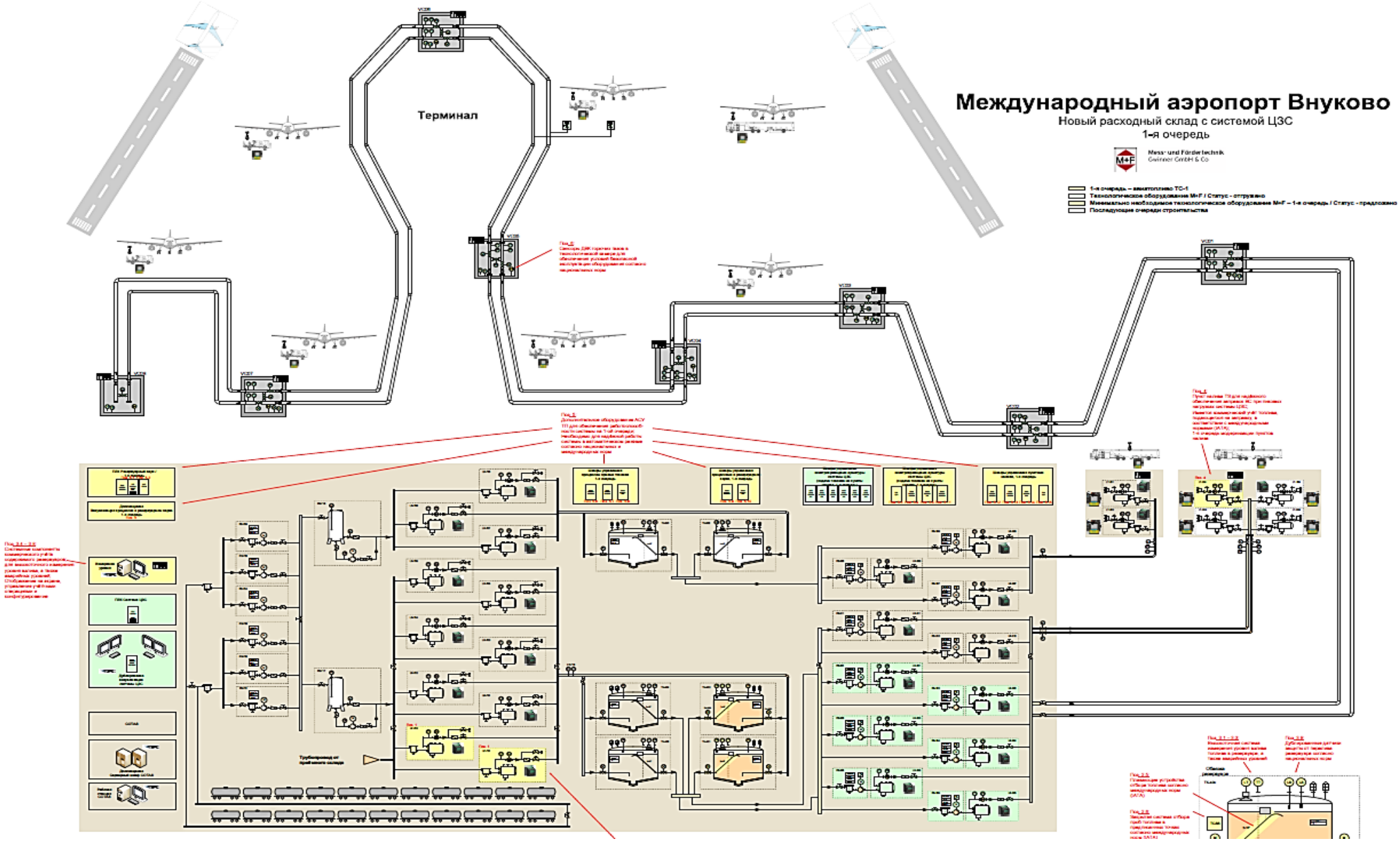


Рисунок А.2 – Схема организации централизованной заправки ВС: АСУТП ТЗК+ ИУС мониторинга качества ТЗК

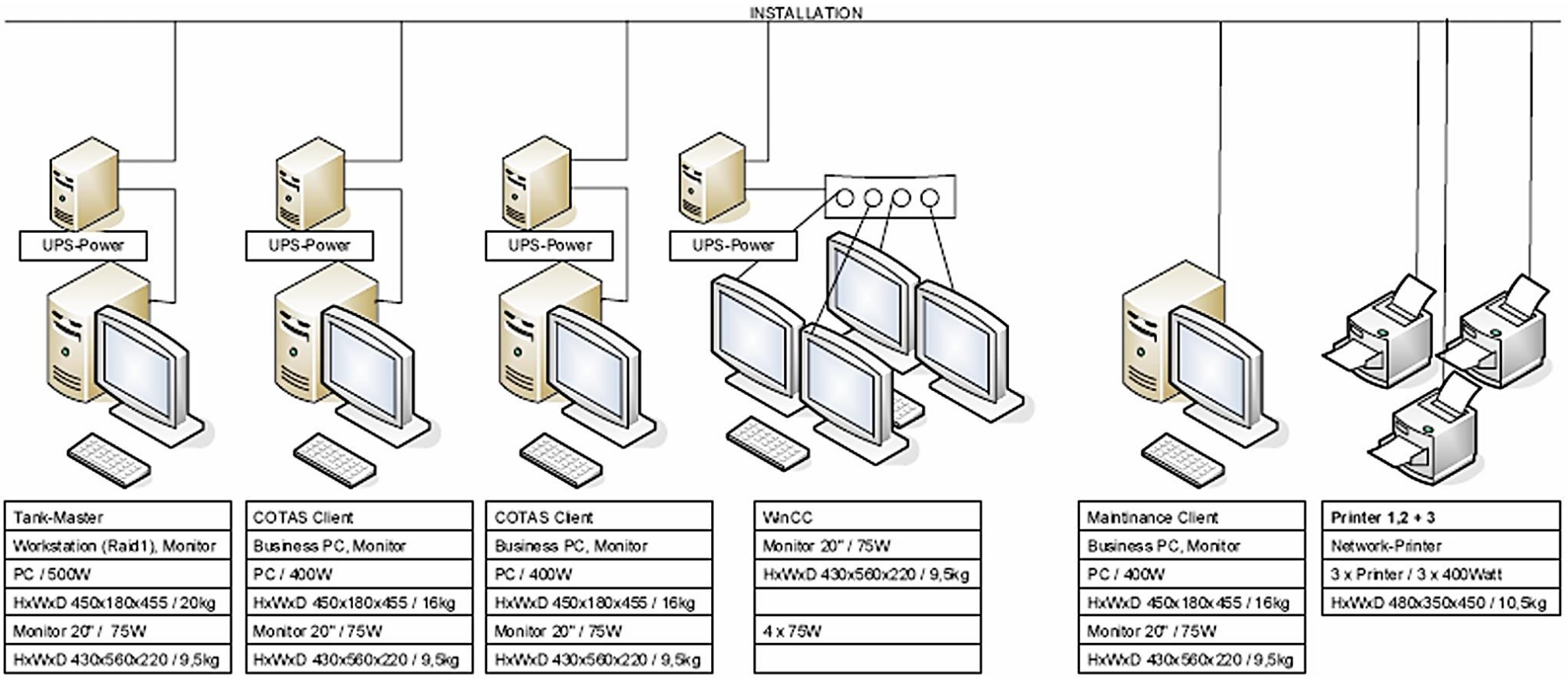


Рисунок А.3 – Структурная схема оборудования визуализации центральной диспетчерской: Tank-Master - рабочая станция визуализации уровней взлива в резервуарах хранения; COTAS Client - сервисная станция системы учета материальных потоков COTAS; WinCC - система визуализации процесса; Maintinance Client - сервисная станция настройки системы.

На ППН размещен удаленный диспетчерский пункт заправки топливозаправщиков

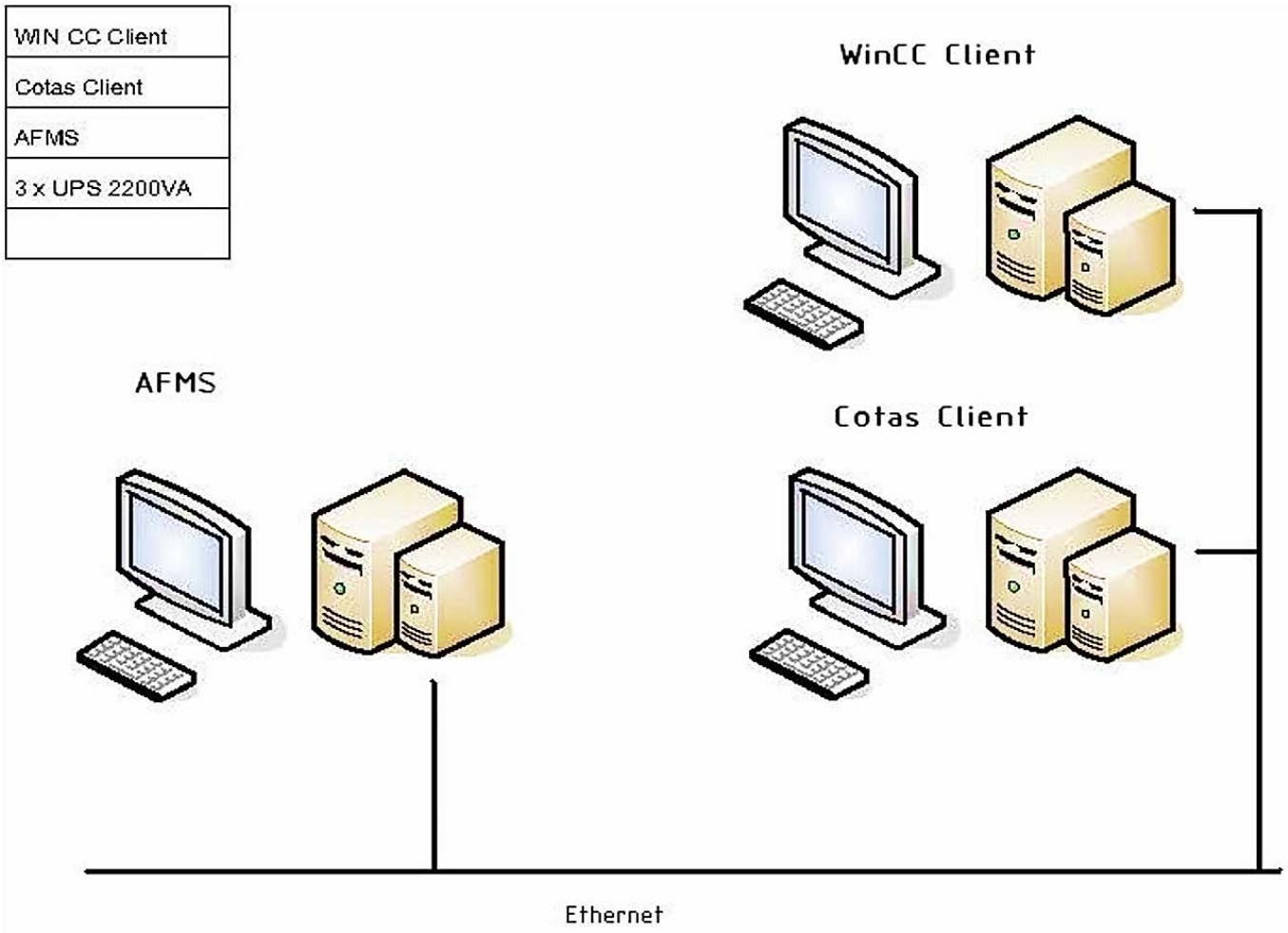


Рисунок А.4 – Состав оборудования визуализации диспетчерского пункта ППН: WinCC Client - система визуализации процесса, клиентская станция; COTAS Client - серверная станция системы учета материальных потоков COTAS; AFMS - система диспетчеризации и управления движением средств заправки воздушных судов

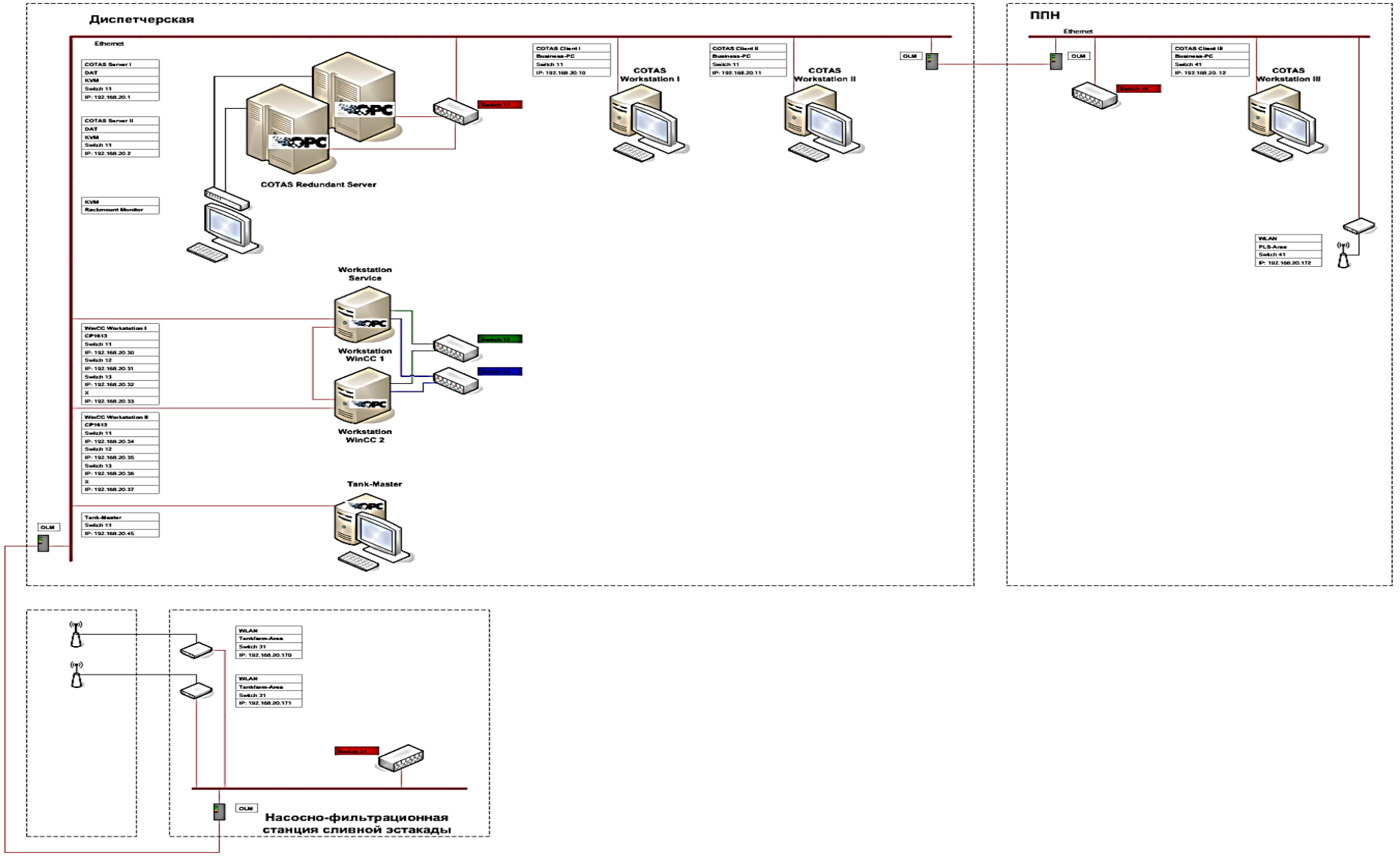


Рисунок А.5 – Структура подсистемы контроля качества авиатоплива

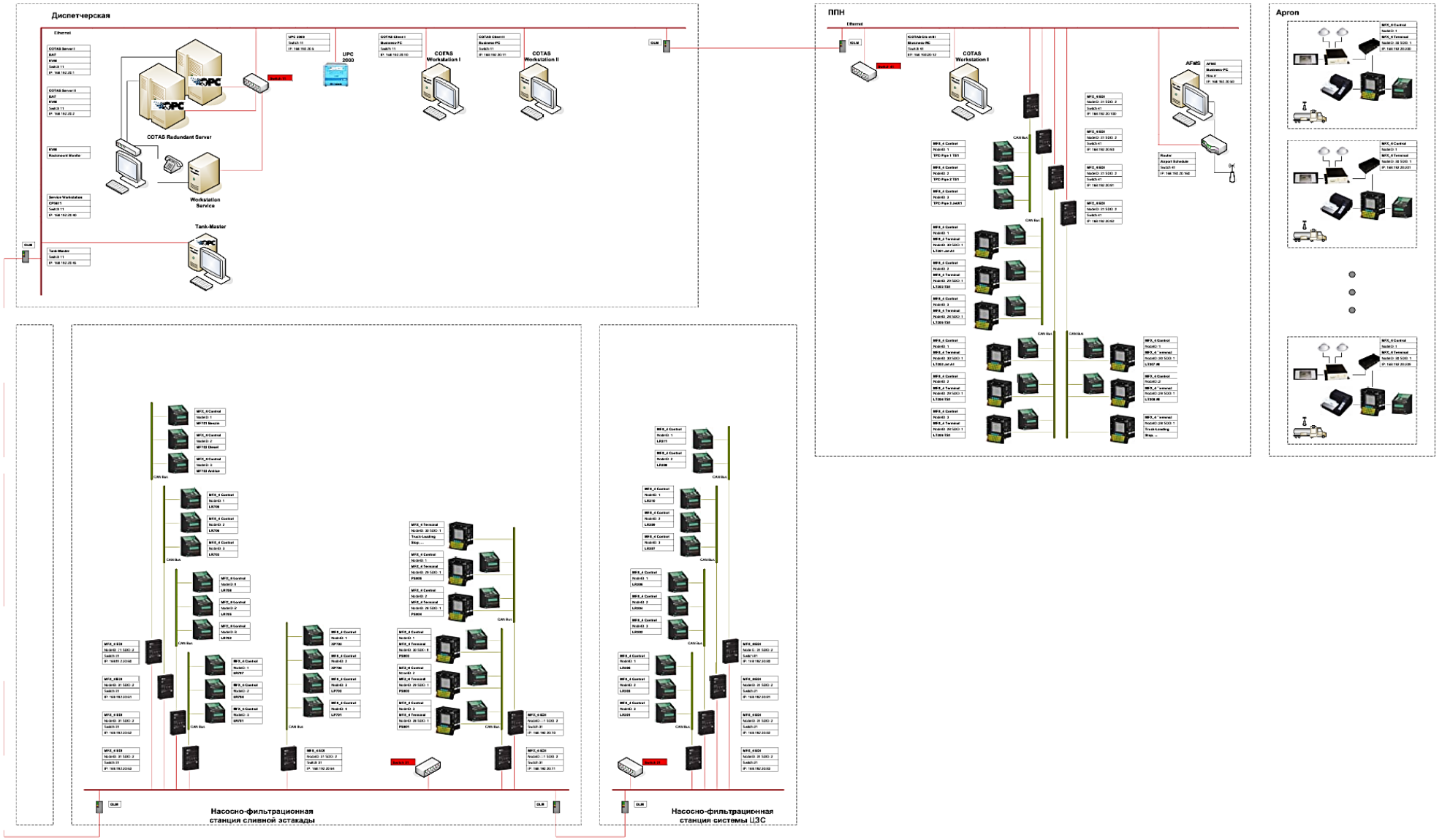


Рисунок А.6 – Структура подсистемы измерений ПЛК

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

МНЕМОСХЕМЫ (ВИДЕОКАДРЫ) ПОДСИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА АВИАТОПЛИВА

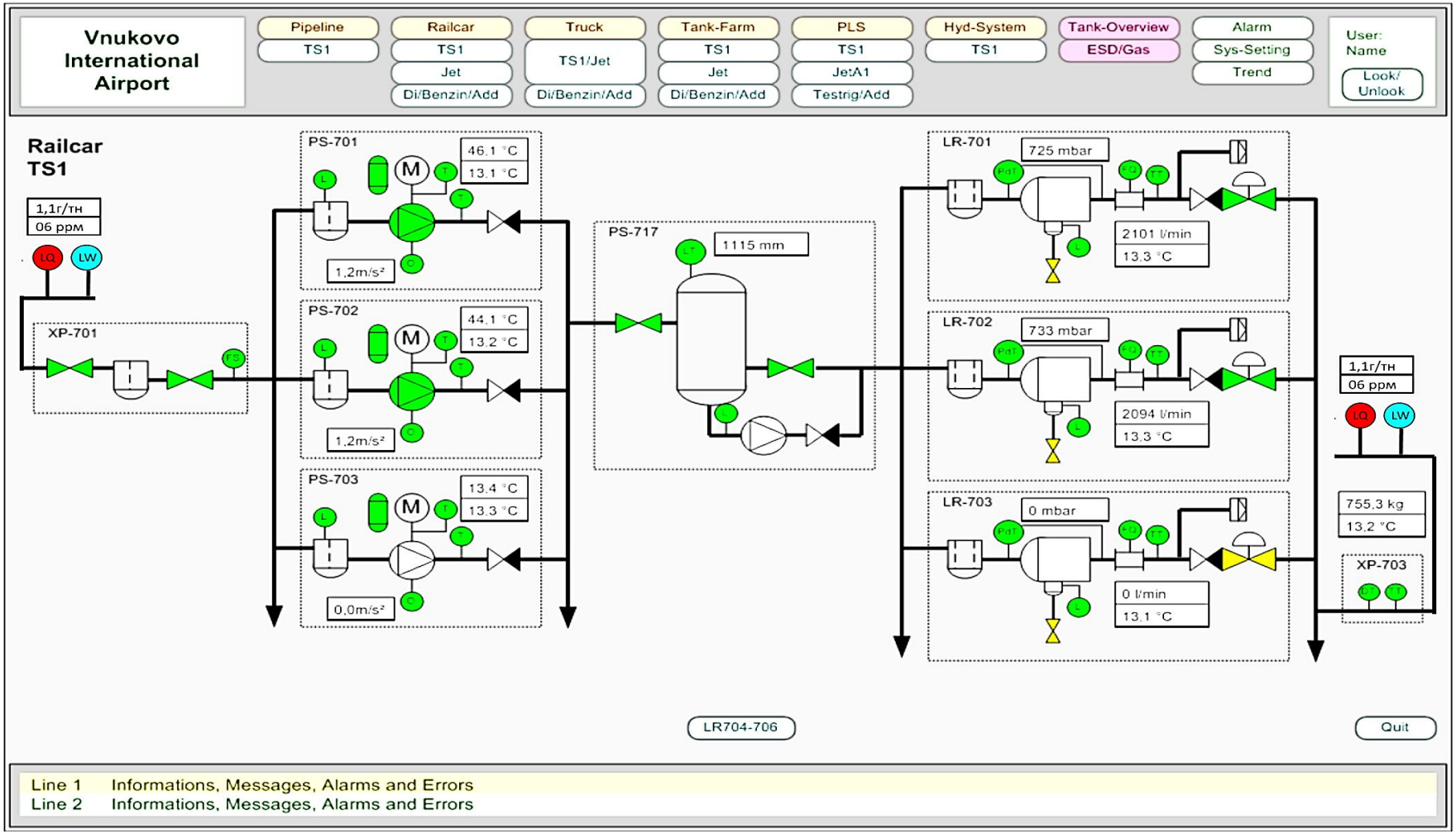


Рисунок Б.1 – Мнемосхема подсистемы слива топлива из ж/д-цистерн

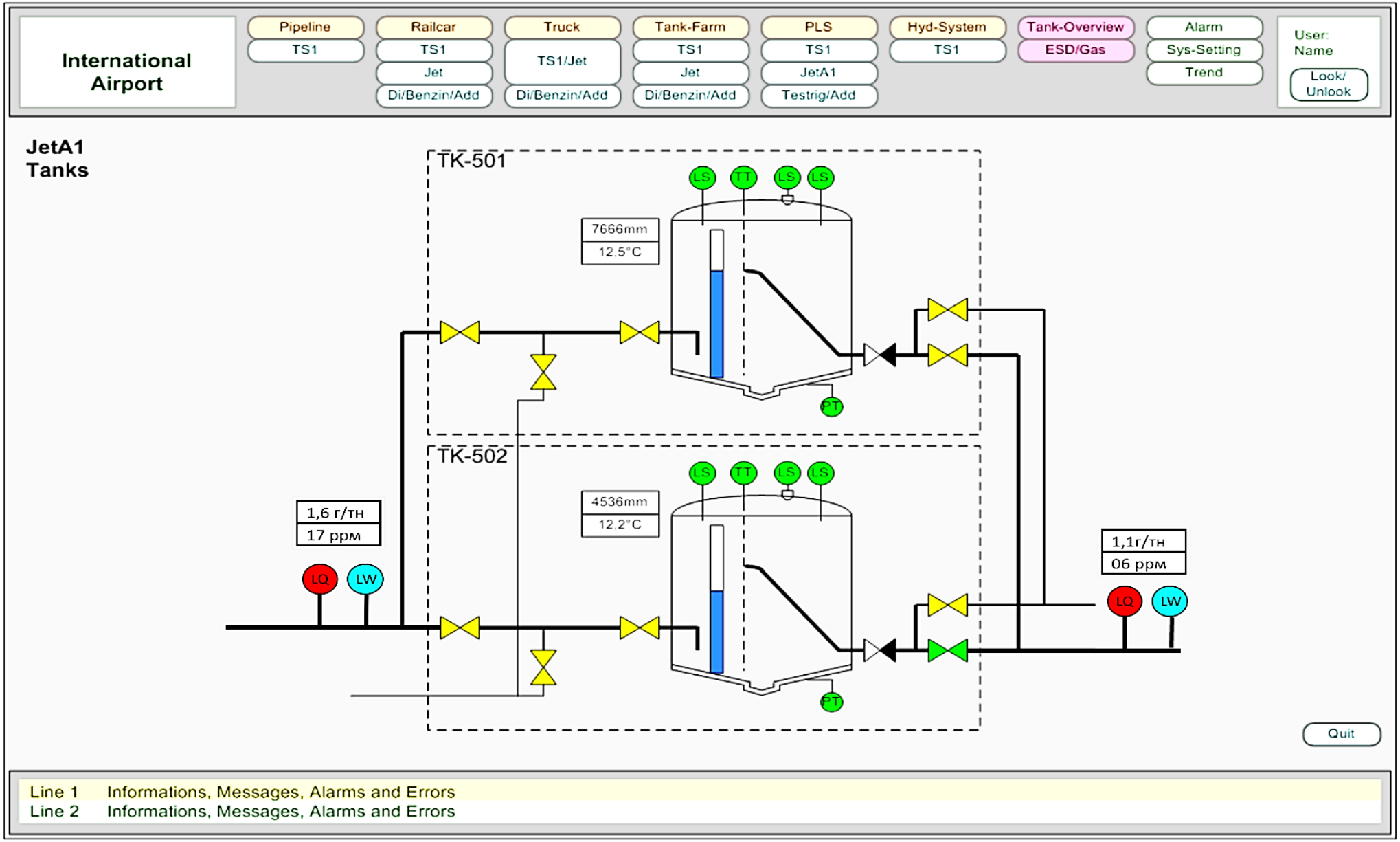


Рисунок Б.2 – Мнемосхема подсистемы вертикальных резервуаров

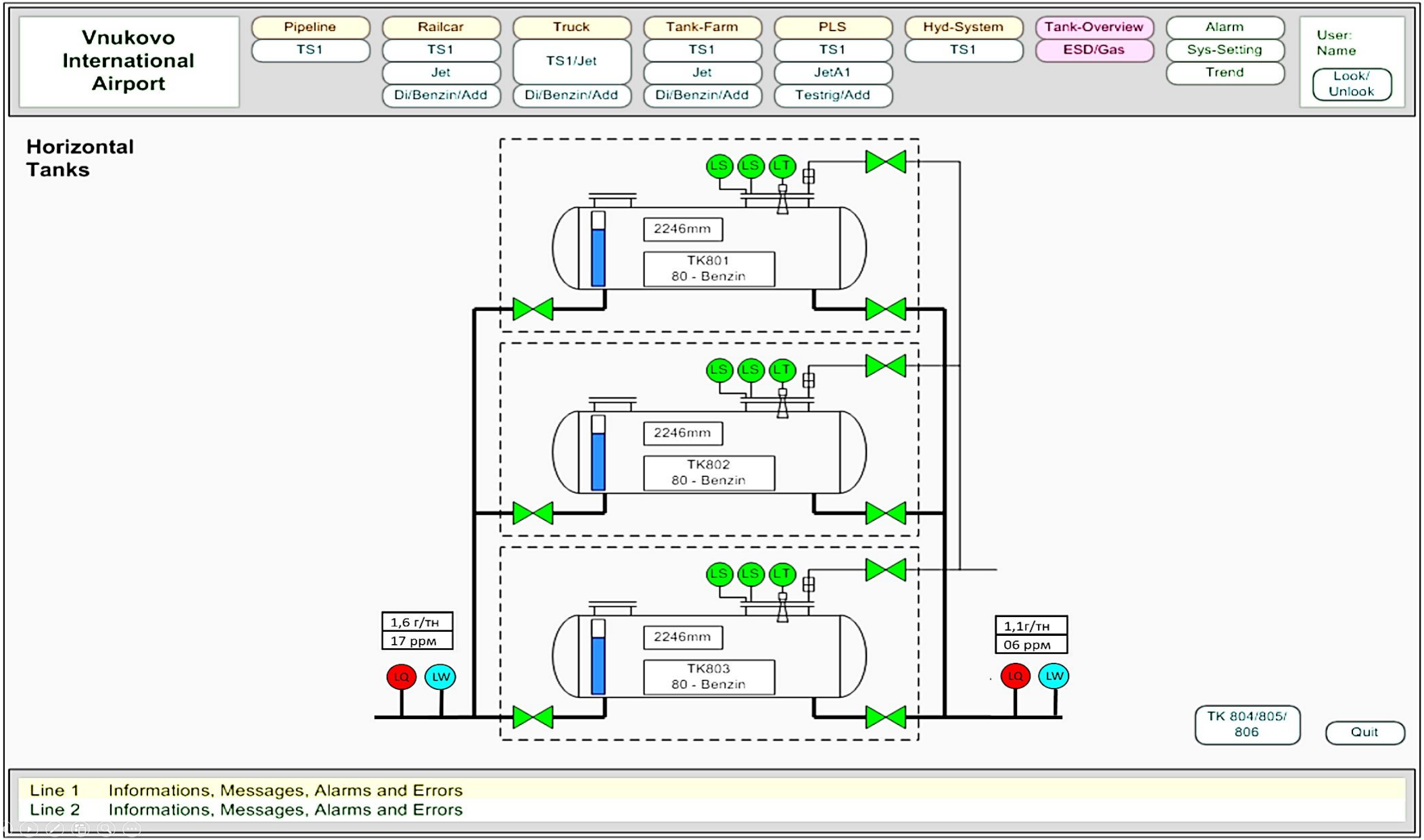


Рисунок Б.3 – Мнемосхема подсистемы горизонтальных резервуаров

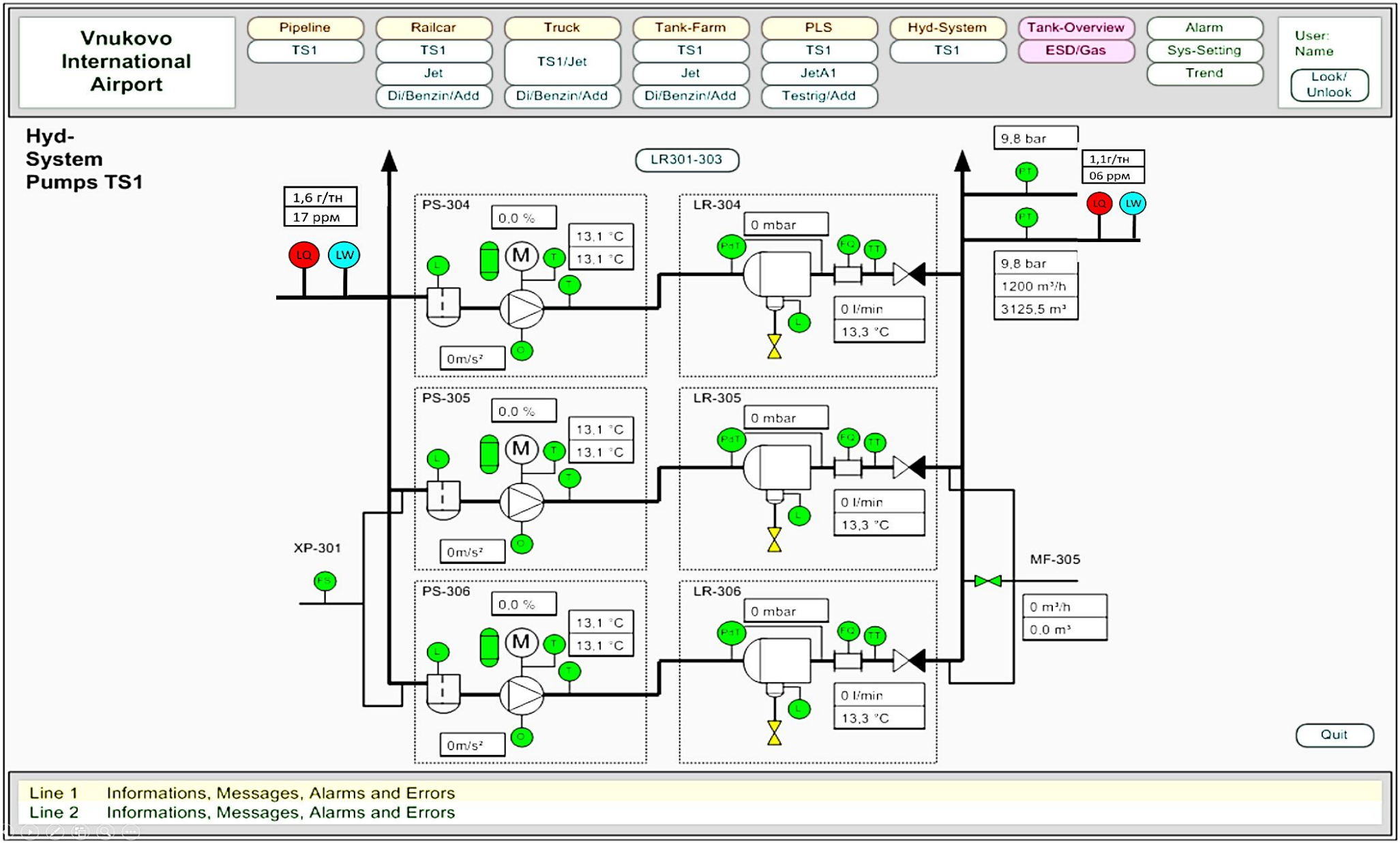


Рисунок Б.4 – Мнемосхема подсистемы насосных и фильтрационных модулей

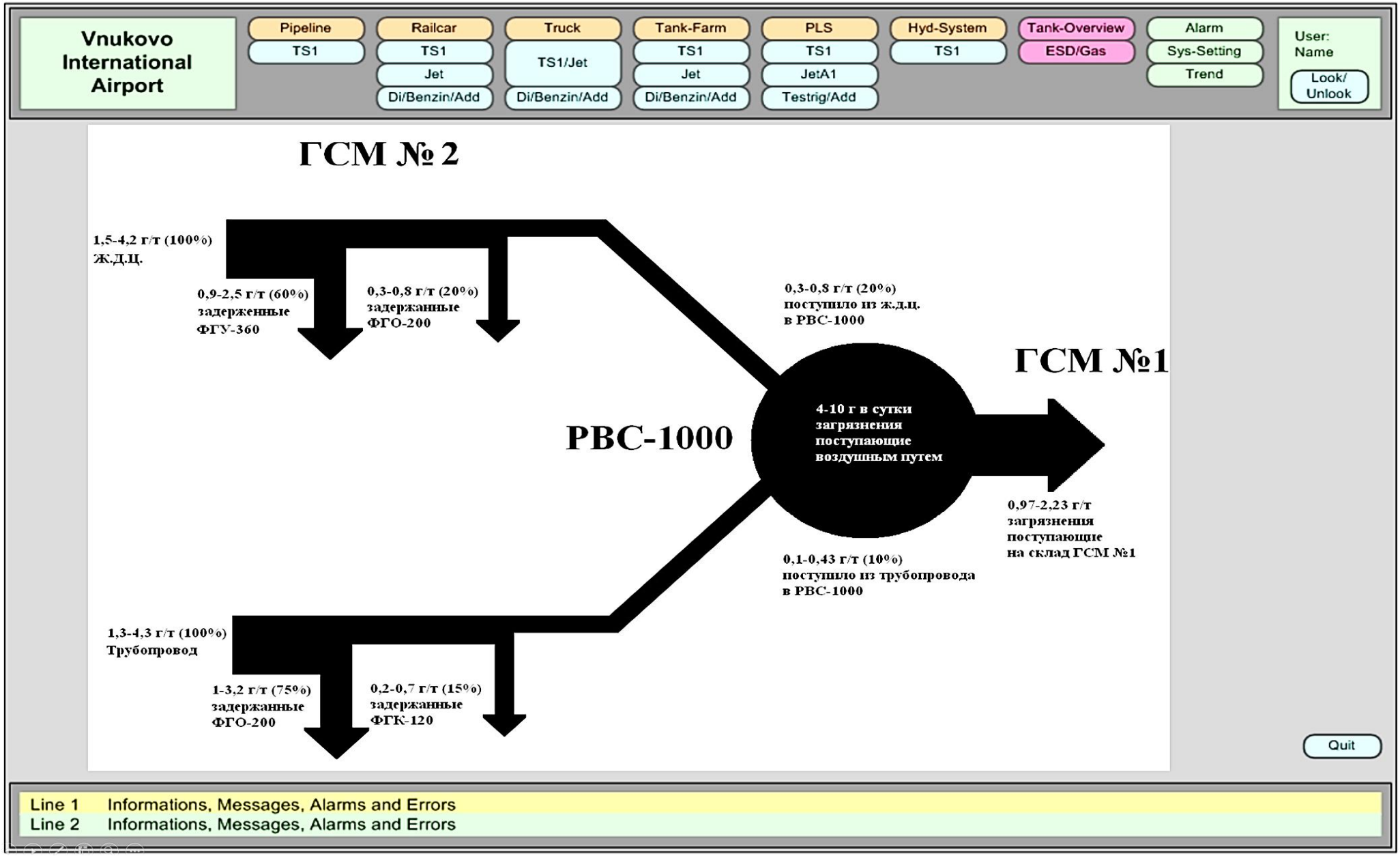


Рисунок Б.5 – Мнемосхема баланса загрязнения авиатоплива при выполнении технологического процесса в ТЗК

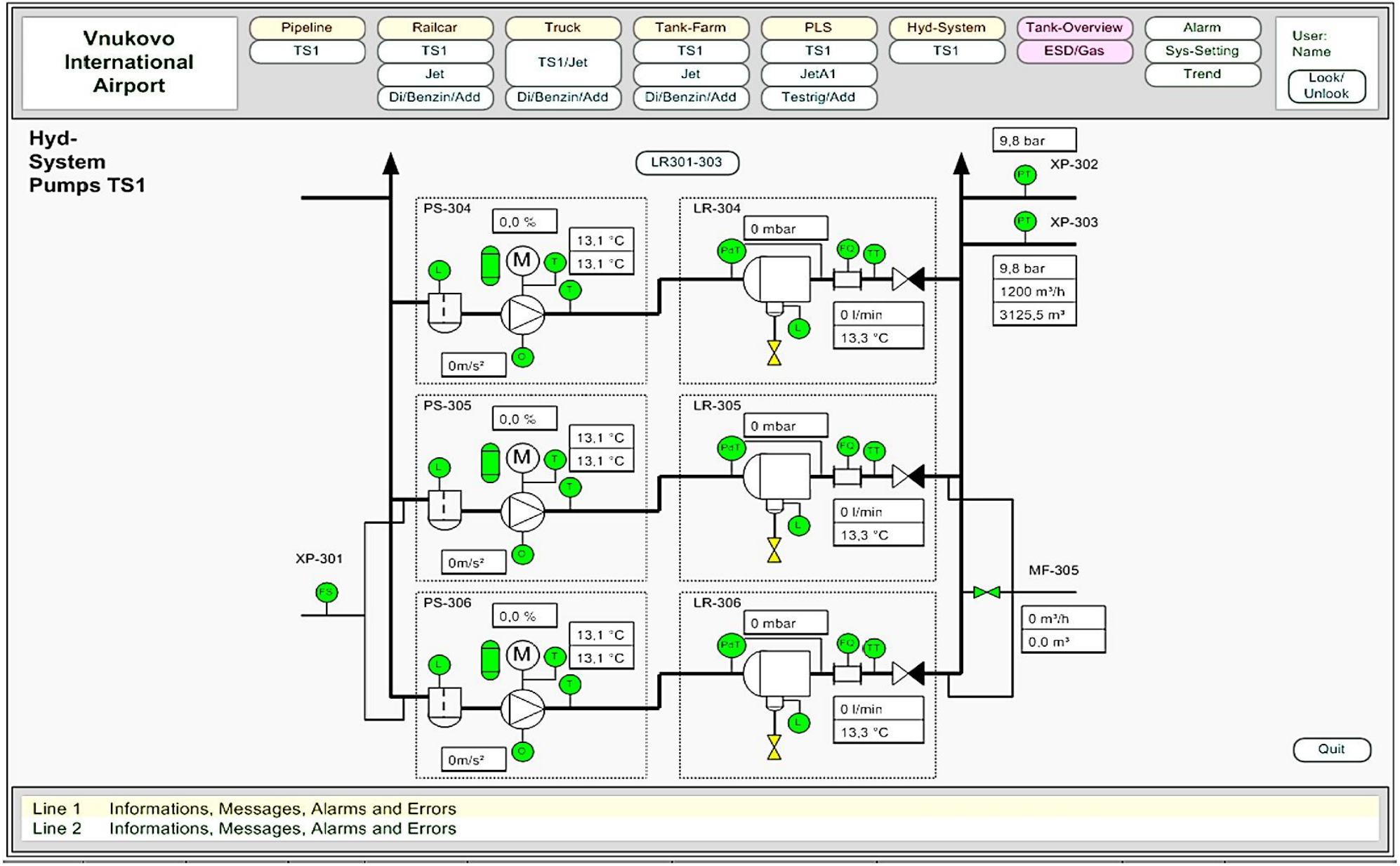


Рисунок Б.6 – Мнемосхема подсистемы насосной гидрантной системы

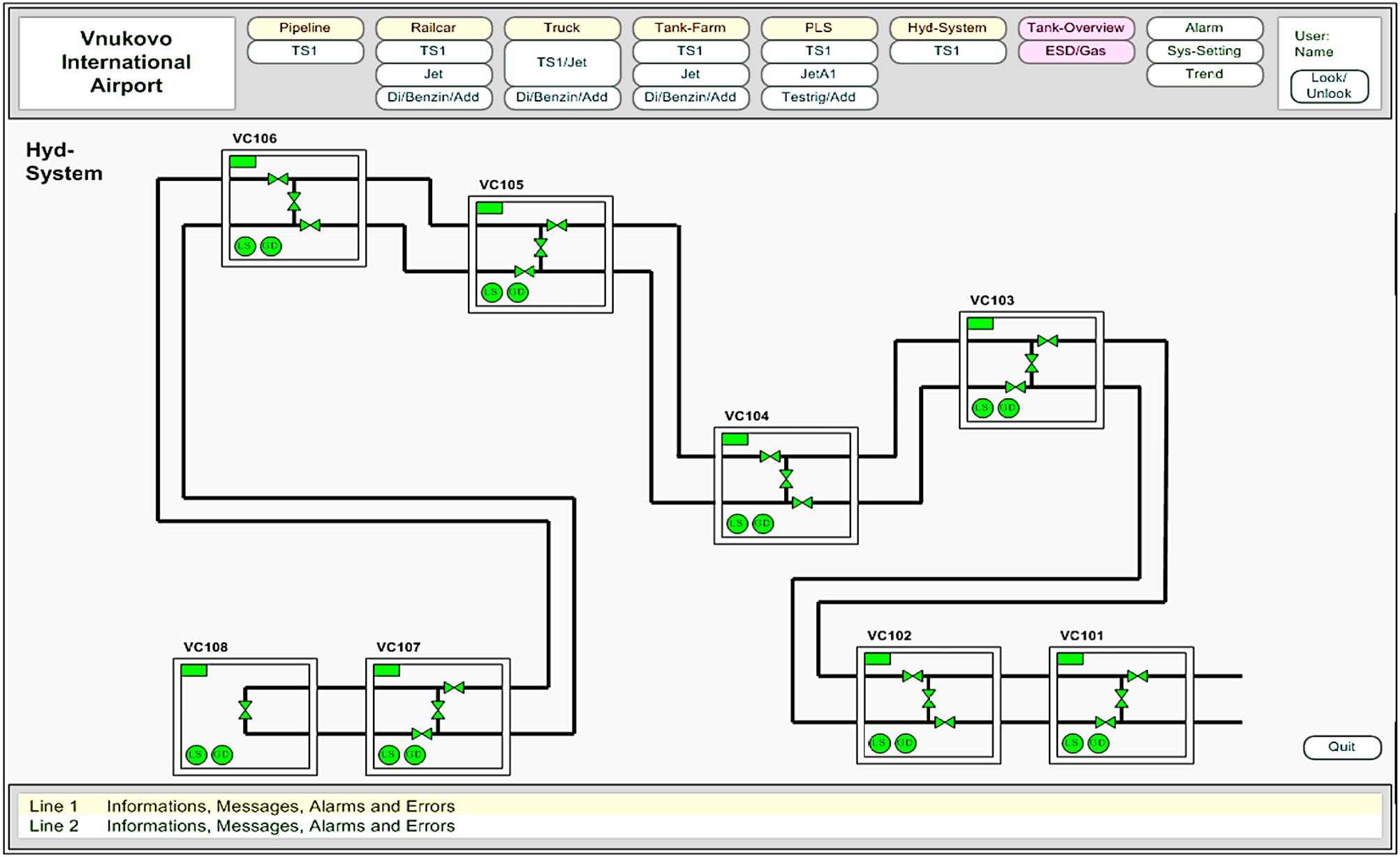


Рисунок Б.7– Мнемосхема подсистемы линейной части трубопроводов ЦЗС

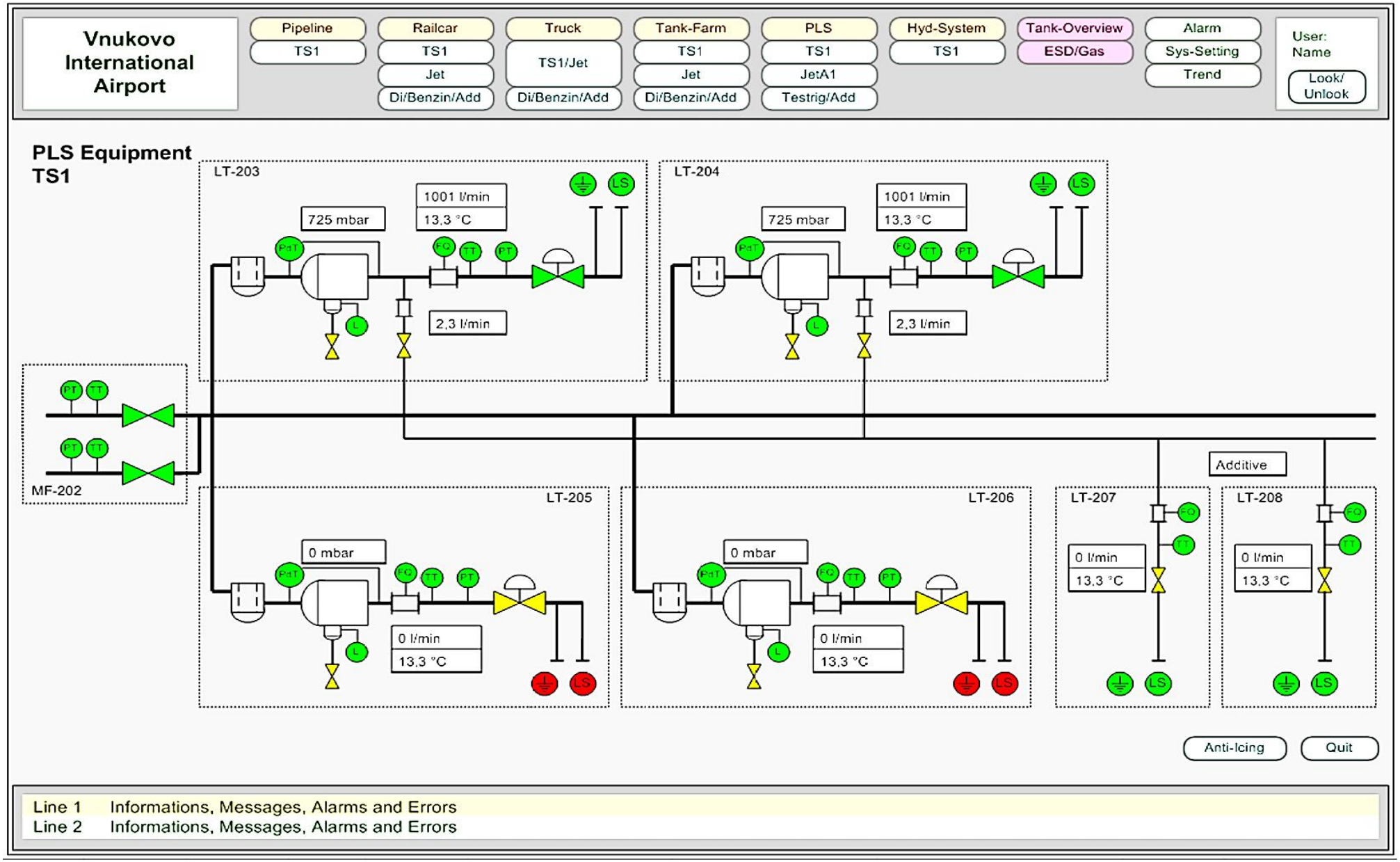


Рисунок Б.8 – Мнемосхема подсистемы пунктов предперронного налива ППН

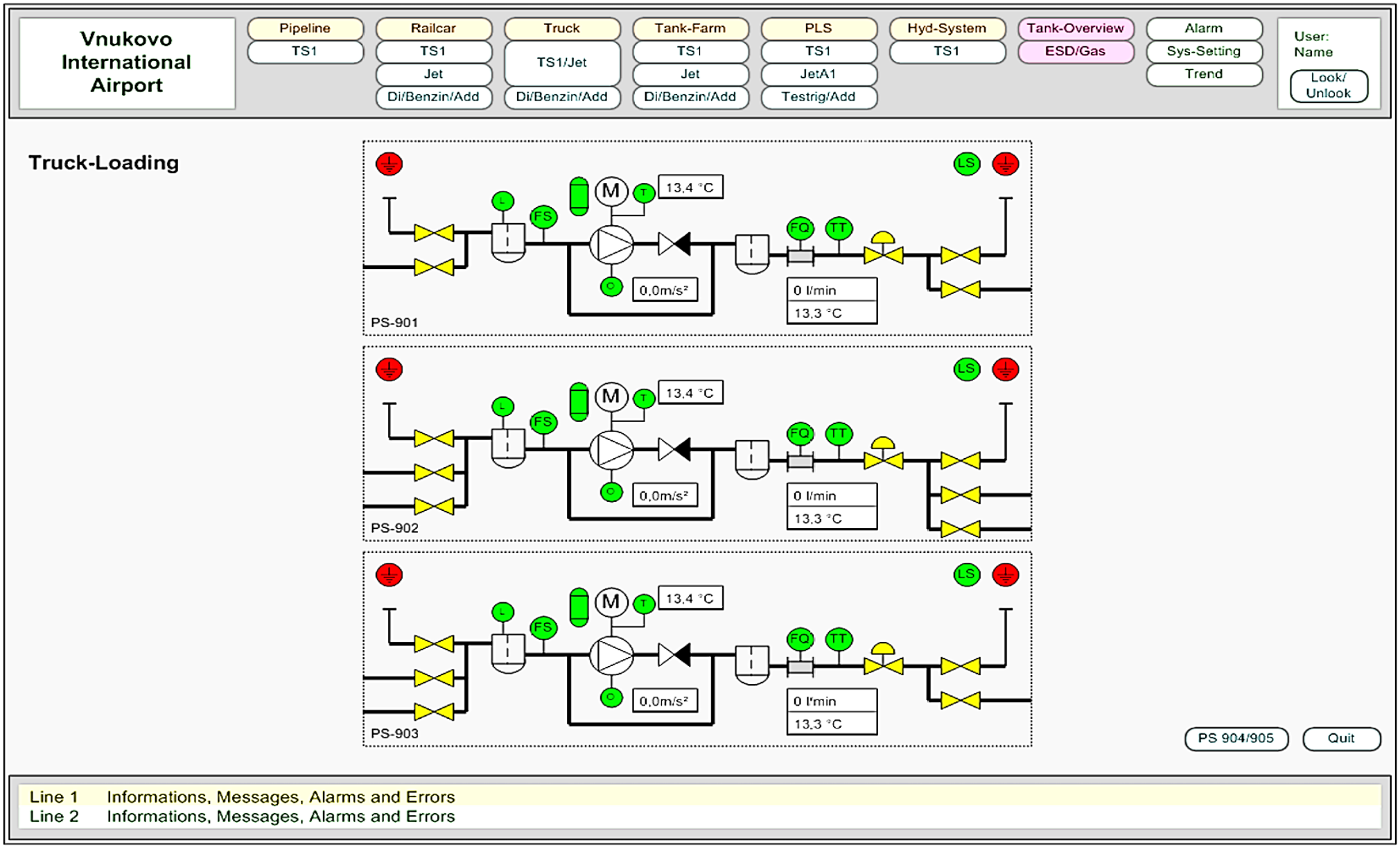


Рисунок Б.9 – Мнемосхема подсистемы пункта предперронного налива ТЗА

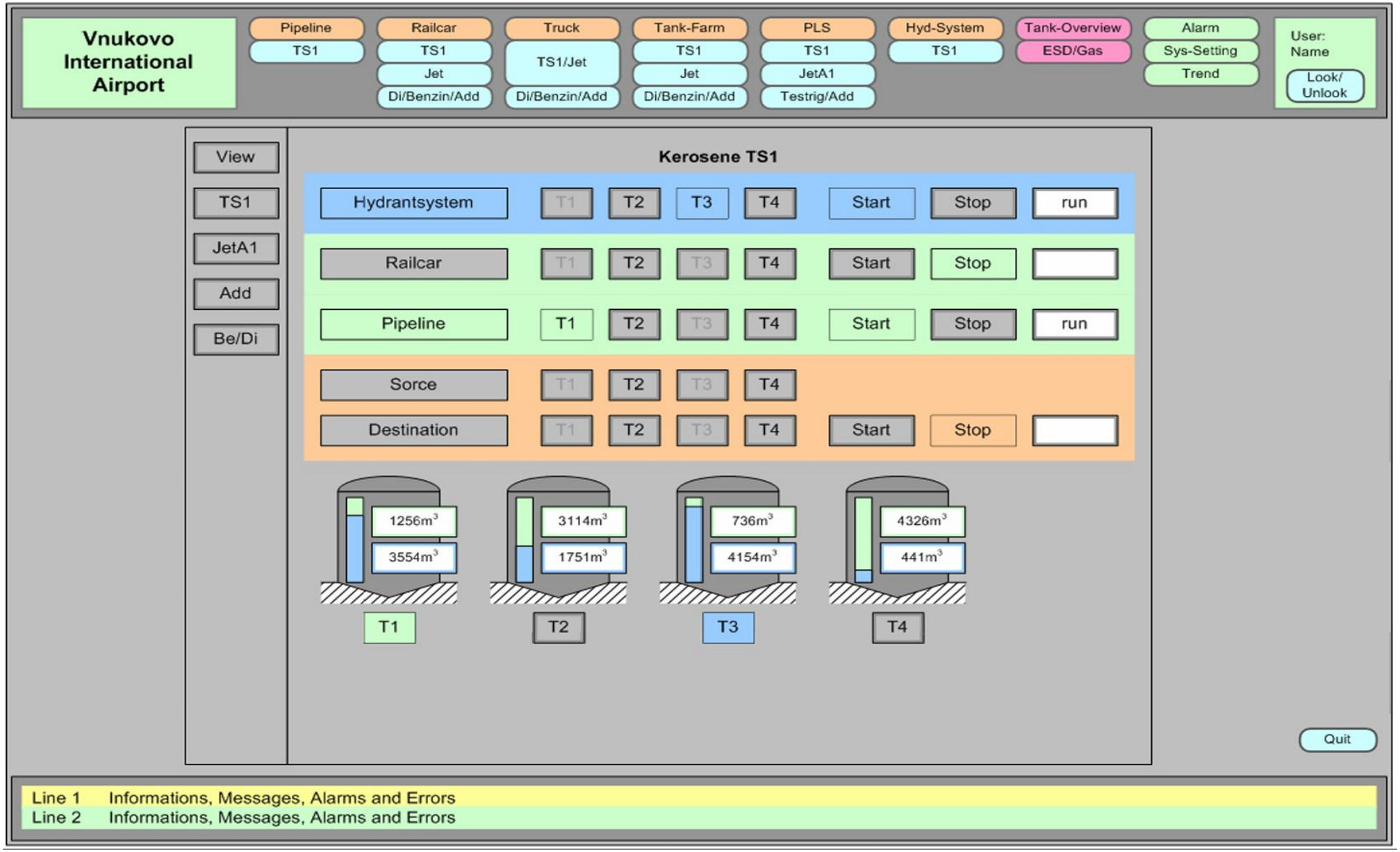


Рисунок Б.10 – Мнемосхема процесса

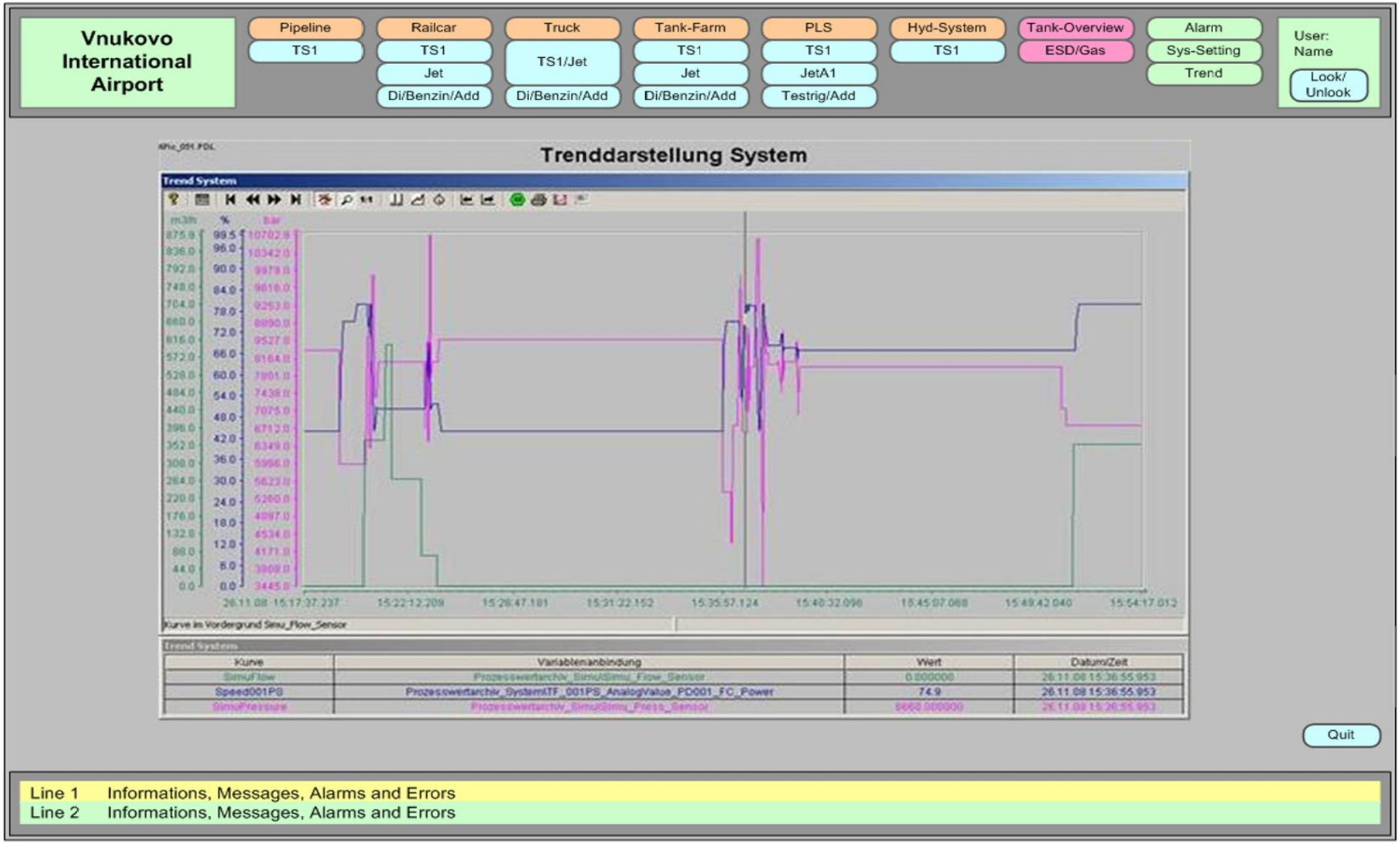


Рисунок Б.11– Пример трендов

ПРИЛОЖЕНИЕ В
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМОВ ИНФОРМАЦИОННО УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА АВИАТОПЛИВА

Алгоритмы разделяются на несколько групп:

- алгоритмы управления основными технологическими процессами,
- алгоритмы управления процессами гидрантной системы,
- алгоритмы управления насосами гидрантной системы,
- алгоритмы управления насосами ППН,
- алгоритмы управления перекачкой нефтепродуктов из ж/д цистерн в резервуары, - алгоритмы приема нефтепродуктов по трубопроводу,
- алгоритмы управления вертикальными резервуарами,
- алгоритмы управления горизонтальными резервуарами,
- алгоритмы управления межрезервуарными перекачками.

Полный перечень алгоритмов приведен в таблице I.

В алгоритмах используются обозначения сигналов с датчиков и сигнализаторов:

VCl0l_LS002 - сигнал с сигнализатора уровня LS002 на VCIOI,

VClO2_LSOO2 - сигнал с сигнализатора уровня LS002 на VC102,

VClO3_LSOO2 - сигнал с сигнализатора уровня LS002 на VC103,

VCl04_LS002 - сигнал с сигнализатора уровня LS002 на VC104,

VClO5_LSOO2 - сигнал с сигнализатора уровня LS002 на VC105,

VCl06_LS002 - сигнал с сигнализатора уровня LS002 на VC106,

VCl07_LS002 - сигнал с сигнализатора уровня LS002 на VC107,

VCl08_LS002 - сигнал с сигнализатора уровня LS002 на VC108, VCl0l_PT00l и VCl0l_PT002 - сигналы с датчиков давления PT001 и PT002 на

VCIOI, VCl02_PT00l и VCl02_PT002 - сигналы с датчиков давления PT001 и PT002 на

VC102, VCl03_PT00l и VCl03_PT002 - сигналы с датчиков давления PT001 и PT002 на

VC103, VCl04_PT00l и VCl04_PT002 - сигналы с датчиков давления PT001 и PT002 на

VC104, VCl05_PT00l и VCl05_PT002 - сигналы с датчиков давления PT001 и PT002 на

VC105, VCl06_PT00l и VCl06_PT002 - сигналы с датчиков давления PT001 и PT002 на

VC106,

VC107_PT001 и VC107_PT002 - сигналы с датчиков давления PT001 и PT002 на VC107,

VC108_PT001 и VC108_PT002 - сигналы с датчиков давления PT001 и PT002 на VC108.

Обозначения задвижек ЦЗС:

VC101_VD001, VC101_VD002, VC 10l_VD003 - задвижки на VC101,

VC102_VD001, VC102_VD002, VC 102_VD003 - задвижки на VC 102,

VC103_VD001, VC103_VD002, VC 103_VD003 - задвижки на VC 103,

VC104_VD001, VC104_VD002, VC104_VD003 - задвижки на VC104,

VC105_VD001, VC105_VD002, VC 105_VD003 - задвижки на VC 105,

VC106_VD001, VC106_VD002, VC 106_VD003 - задвижки на VC 106,

VC107_VD001, VC107_VD002, VC 107_VD003 - задвижки на VC 107, VC108_VD001, VC108_VD002, VC 108_VD003 - задвижки на VC 108.

Алгоритмы перечислены в таблице В.1.

Таблица В.1 – Алгоритмы контроллера

Наименование алгоритма	Имя подпрограммы	Рисунок
1	2	3
1 Алгоритмы управления основными технологическими процессами		
алгоритм управления гидрантной системой TS1	Into Hydrant-System	B.1
алгоритм управления ППН TS1	To PLS TS1	B.2
алгоритм управления ППН JetAl	To PLS Jet A-1	B.3
алгоритм разгрузки ж/д цистерн	Railcar-Unloading TS1	B.4
алгоритм разгрузки ж/д цистерн	Railcar-Unloading JetAl	B.5
алгоритм управления трубопроводом	Pipeline-loading TS1	B.6
2 Алгоритмы технологических процессов гидрантной системы		
алгоритм контроля уровня VC101	Valve-Chamber VC101 Level LS002	B.7
алгоритм контроля уровня VC102	Valve-Chamber VC 102 Level LS002	B.8
алгоритм контроля уровня VC103	Valve-Chamber VC 103 Level LS002	B.9
алгоритм контроля уровня VC104	Valve-Chamber VC 104 Level LS002	B.10
алгоритм контроля уровня VC105	Valve-Chamber VC 105 Level LS002	B.11
алгоритм контроля уровня VC106	Valve-Chamber VC 106 Level LS002	B.12
алгоритм контроля уровня VC107	Valve-Chamber VC 107 Level LS002	B.13
алгоритм контроля уровня VC108	Valve-Chamber VC 108 Level LS002	B.14
алгоритм контроля давления VC101	Valve-Chamber VC 101 Pressure PT001 Valve-Chamber VC101 Pressure PT002	B.15
алгоритм контроля давления VC102	Valve-Chamber VC 102 Pressure PT001 Valve-Chamber VC 102 Pressure PT002	B.16
алгоритм контроля давления VC103	Valve-Chamber VC 103 Pressure PT001 Valve-Chamber VC 103 Pressure PT002	B.17
алгоритм контроля давления VC104	Valve-Chamber VC 104 Pressure PT001 Valve-Chamber VC 104 Pressure PT002	B.18
алгоритм контроля давления VC105	Valve-Chamber VC 105 Pressure PT001 Valve-Chamber VC 105 Pressure PT002	B.19
алгоритм контроля давления VC106	Valve-Chamber VC 106 Pressure PT001 Valve-Chamber VC 106 Pressure PT002	B.20
алгоритм контроля давления VC107	Valve-Chamber VC 107 Pressure PT001 Valve-Chamber VC 107 Pressure PT002	B.21
алгоритм контроля давления VC108	Hydrant-System IN Pressure PT001 Hydrant-System IN Pressure PT002	B.22

Наименование алгоритма	Имя подпрограммы	Рисунок
1	2	3
основной алгоритм гидрантной системы ЦЗС	Into Hydrant-System TPC	B.23
алгоритмы контроля резервуаров	Product-Tank1 TS1, Product-Tank2 TS1, Product- Tank3 TS1, Product-Tank4 TS1	B.24
алгоритмы контроля качества в резервуарах	Quality Tank1 TS1, Quality Tank2 TS1, Quality Tank3 TS1, Quality Tank4 TS1	B.25
алгоритм проверки трубопровода к гидрантной системе	Processline Tank1 to Hydrantsys, Processline Tank2 to Hydrantsys, Processline Tank3 to Hydrantsys, Processline Tank4 to Hydrantsys	B.26
алгоритм открытия задвижек при откачке из резервуара	Tank l to Hydrant-Sys	B.27
алгоритм гидрантной системы	Hydrant-system	B.28
алгоритм подготовки насоса	Hydrant-system pumpstring	B.29
алгоритм управления насосом	Pump-Control	B.30
алгоритм контроля фильтра-водоотделителя	Filter-Water-Separator	B.31
алгоритмы управления секциями 1.1 и 2.1	TPC Section 1.1", "TPC Section 2.1	B.32
алгоритмы управления секциями 1.2 и 2.2	TPC Section 1.2", "TPC Section 2.2	B.33
алгоритмы управления секциями 1.3 и 2.3	TPC Section 1.3", "TPC Section 2.3	B.34
алгоритмы управления секциями 1.4 и 2.4	TPC Section 1.4", "TPC Section 2.4	B.35
алгоритмы управления секциями 1.5 и 2.5	TPC Section 1.5", "TPC Section 2.5	B.36
алгоритмы управления секциями 1.6 и 2.6	TPC Section 1.6", "TPC Section 2.6	B.37
алгоритмы управления секциями 1.7 и 2.7	TPC Section 1.7", "TPC Section 2.7	B.38
алгоритмы управления секциями 1.8 и 2.8	TPC Section 1.8", "TPC Section 2.8	B.39
3 Алгоритмы управления насосами гидрантной смистемы		
основной алгоритм гидрантной системы TS1	Into Hydrant-System	B.40
алгоритмы контроля резервуаров	Product-Tank 1 TS1, Product-Tank2 TS1, Product- Tank3 TS1, Product-Tank4 TS1	B.41
алгоритмы контроля качества в резервуарах	Quality Tank1 TS1, Quality Tank2 TS1, Quality Tank3 TS1, Quality Tank4 TS1	B.42
алгоритм проверки трубопровода к гидрантной системе	Processline Tank1 to Hydrantsys, Processline Tank2 to Hydrantsys, Processline Tank3 to Hydrantsys, Processline Tank4 to Hydrantsys	B.43
алгоритм гидрантной системы	Hydrant-system	B.44
алгоритм открытия задвижек при откачке из резервуара	Tank1 to Hydrant-Sys	B.45
алгоритм подготовки насоса	Hydrant-system pumpstring	B.46
алгоритм контроля насосов	Pump-Control	B.47
алгоритм управления фильтром-водоотделителем	Filter-Water-Separator	B.48

Наименование алгоритма	Имя подпрограммы	Рисунок
1	2	3
4 Алгоритмы управления насосами ППН		
4.1 Алгоритмы насосной станции ППН Jet A1		
основной алгоритм насосной станции ППН JetAl	Into PLS JetAl	B.49
алгоритмы контроля резервуаров	Product-Tank1 JetAl, Product-Tank2 JetAl	B.50
алгоритмы контроля качества в резервуарах	Quality Tank1 JetAl, Quality Tank2 JetAl	B.51
алгоритм проверки трубопровода к гидрантной системе	Processline Tank1 to PLS, Processline Tank2 to PLS	B.52
алгоритм контроля трубопровода	Pipeline to PLS	B.53
алгоритм перекачки из резервуара в ППН	Tank1 to PLS JetAl	B.54
алгоритм подготовки насоса	PLS JetAl pumpstring	B.55
алгоритм контроля насосов	Pump-Control	B.56
алгоритм управления фильтром-водоотделителем	Filter-Water-Separator	B.57
4.1 Алгоритмы насосной станции ППН TS1		
основной алгоритм насосной станции ППН TS1	Into PLS TS1	B.58
алгоритмы контроля резервуаров	Product-Tank1 TS1, Product-Tank2 TS1, Product-Tank3 TS1, Product-Tank4 TS1	B.59
алгоритмы контроля качества в резервуарах	Quality Tankl TS1, Quality Tank2 TS1, Quality Tank3 TS1, Quality Tank4 TS1	B.60
алгоритм проверки трубопровода к гидрантной системе	Processline Tank1 to PLS, Processline Tank2 to PLS, Processline Tank3 to PLS, Processline Tank4 to PLS	B.61
алгоритм гидрантной системы	Pipeline to PLS	B.62
алгоритм перекачки из резервуара в ППН	Tank1 to PLS TS1	B.63
алгоритм подготовки насоса	PLS TS1 pumpstring	B.64
алгоритм контроля насосов	Pump-Control	B.65
алгоритм управления фильтром-водоотделителем	Filter-Water-Separator	B.66
5 Алгоритмы разгрузки ж/д цистерн		
основной алгоритм разгрузки цистерн	Railcar-Unloading	B.67
алгоритм подготовки к перекачке	Preparation	B.68
алгоритмы контроля резервуаров	Product-Tank1, Product-Tank2, Product-Tank3, Product-Tank4	B.69
алгоритмы контроля качества в резервуарах	Quality Tank1, Quality Tank2, Quality Tank3, Quality Tank4	B.70
алгоритм проверки трубопровода разгрузки ж/д цистерн в резервуары	Processline railcar to Tank1, Processline railcar to Tank2,	B.71

Наименование алгоритма	Имя подпрограммы	Рисунок
1	2	3
	Processline railcar to Tank3, Processline railcar to Tank4	
алгоритм перекачки	Railcar to Tankl	В.72
алгоритм контроля насоса	Railcar Pumpstring	В.73
алгоритм управления насосами	Pump-Control	В.74
алгоритм контроля воздуховыпускного бачка	Emptying Air-Separator	В.75
алгоритм управления фильтром-водоотделителем	Filter-Water-Separator	В.76
алгоритм отсоединения цистерны	Deconnection	В.77
6 Алгоритмы приема нефтепродуктов по трубопроводу		
основной алгоритм приема нефтепродуктов	Pipeline Receiving	В.78
алгоритмы контроля резервуаров при приеме нефтепродуктов	Product-Tank1, Product-Tank2, Product-Tank3, Product-Tank4	В.79
алгоритмы контроля качества в резервуарах	Quality Tank1, Quality Tank2, Quality Tank3, Quality Tank4	В.80
алгоритм проверки трубопровода при приеме нефтепродуктов в резервуары	Processline Pipeline to Tank1, Processline Pipeline to Tank2, Processline Pipeline to Tank3, Processline Pipeline to Tank4	В.81
алгоритм контроля трубопровода в резервуар при приеме нефтепродуктов	Pipeline to Tank 1	В.82
алгоритм управления фильтром-водоотделителем	Filter-Water-Separator	В.83
7 Алгоритмы управления горизонтальными резервуарами		
основной алгоритм управления горизонтальными резервуарами	Horizontal-Tanks	В.84
алгоритм работы с резервуарами (отпуск и прием нефтепродуктов)	Loading Tank, Unloading Tank	В.85
алгоритм контроля качества в резервуарах	Quality Tank	В.86
алгоритм контроля за переполнением	Overfill Detection HHH	В.87
8 Алгоритмы управления вертикальными резервуарами		
основной алгоритм управления вертикальными резервуарами	Vertikal-Tanks	В.88
алгоритмы работы с резервуарами	Loading Tank, Unloading Tank, Tank to Tank	В.89
алгоритм контроля качества в резервуарах	Quality Tank	В.90
алгоритм контроля за переполнением	Overfill Detection HHH	В.91
9 Алгоритмы управления межрезервуарными перекачками		
основной алгоритм межрезервуарной перекачки	From Tank to Tank	В.92

Наименование алгоритма	Имя подпрограммы	Рисунок
1	2	3
алгоритмы контроля резервуаров-источников	Product-Tank1 Source, Product-Tank2 Source, Product-Tank3 Source, Product-Tank4 Source	В.93
алгоритмы контроля резервуаров-приемников	Product-Tank1 Destination, Product-Tank2 Destination, Product-Tank3 Destination, Product-Tank4 Destination	В.94
алгоритмы контроля качества в резервуарах	Quality Tank1, Quality Tank2, Quality Tank3, Quality Tank4	В.95
алгоритм проверки трубопровода между резервуарами	Processline Tank1 to Tank2, Processline Tank2 to Tank3,...	В.96
алгоритм перекачки	Tank1 to Tank2	В.97
алгоритм подготовки насоса	TankToTank	В.98
алгоритм контроля насосов	Pump-Control	В.99
алгоритм управления фильтром-водоотделителем	Filter-Water- Separator	В.100

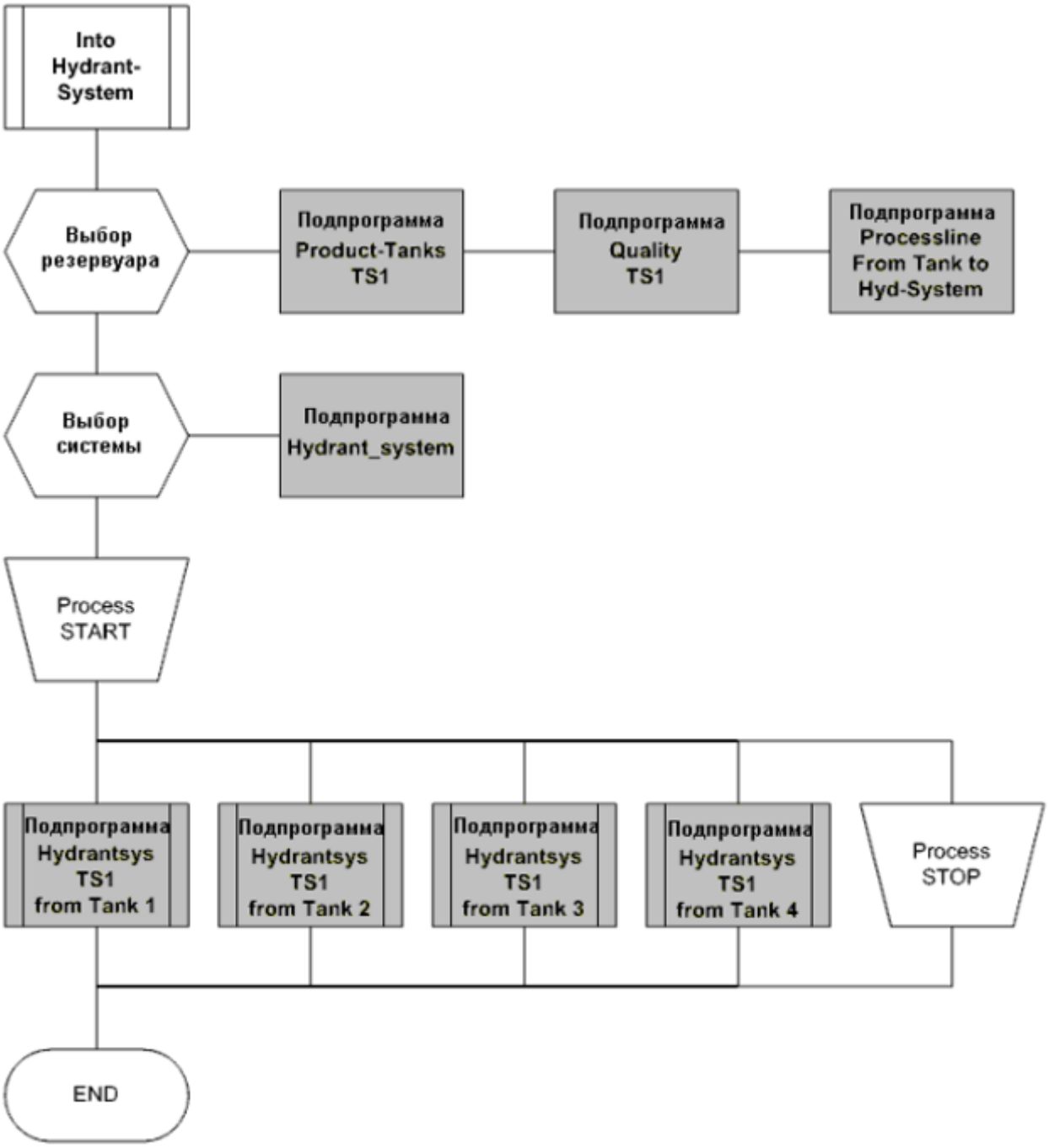


Рисунок В.1– Алгоритм управления гидрантной системой TS1 “Into Hydrant-System”

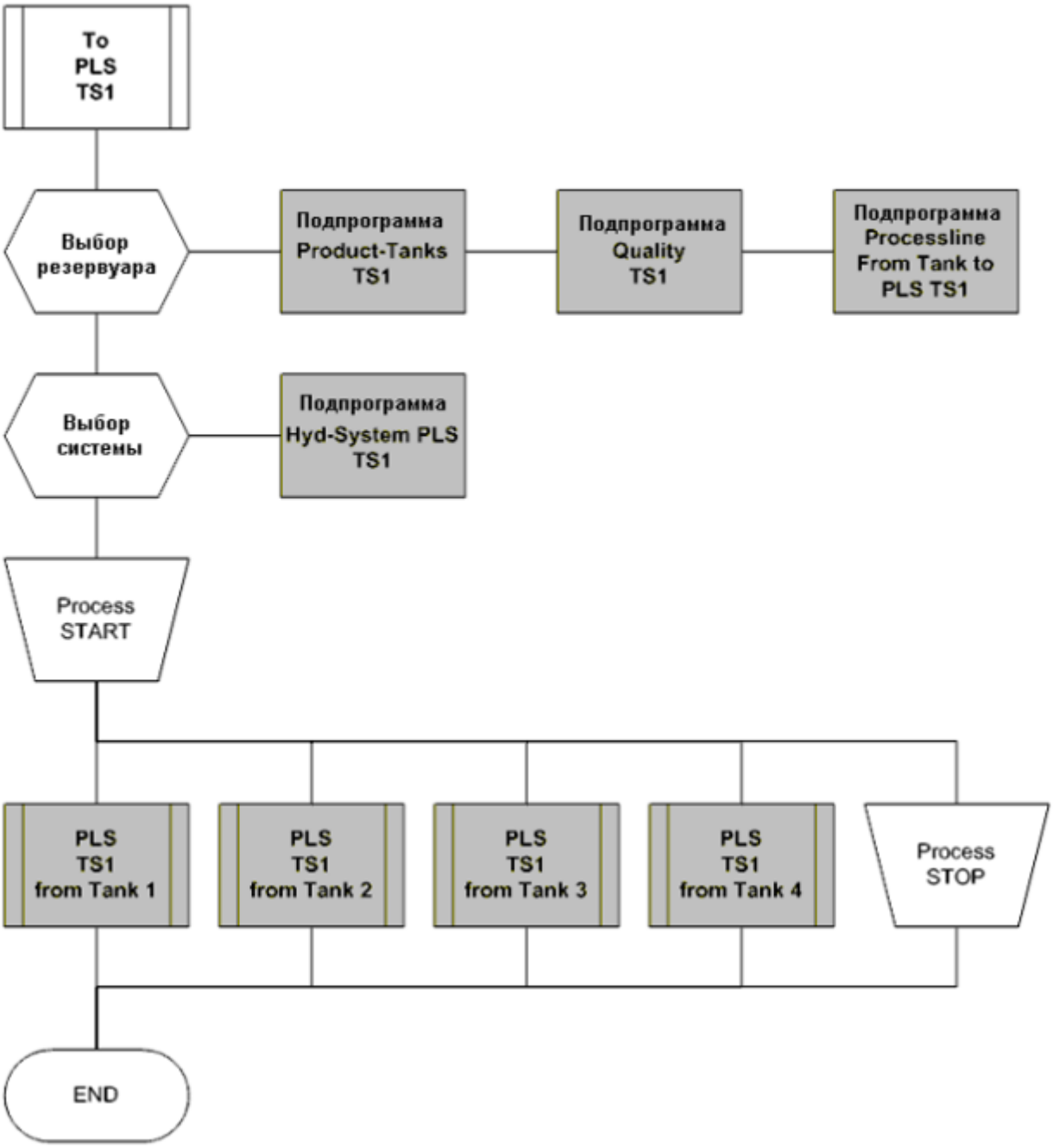


Рисунок В.2 – Алгоритм управления ППН TS1 “To PLS TS1”

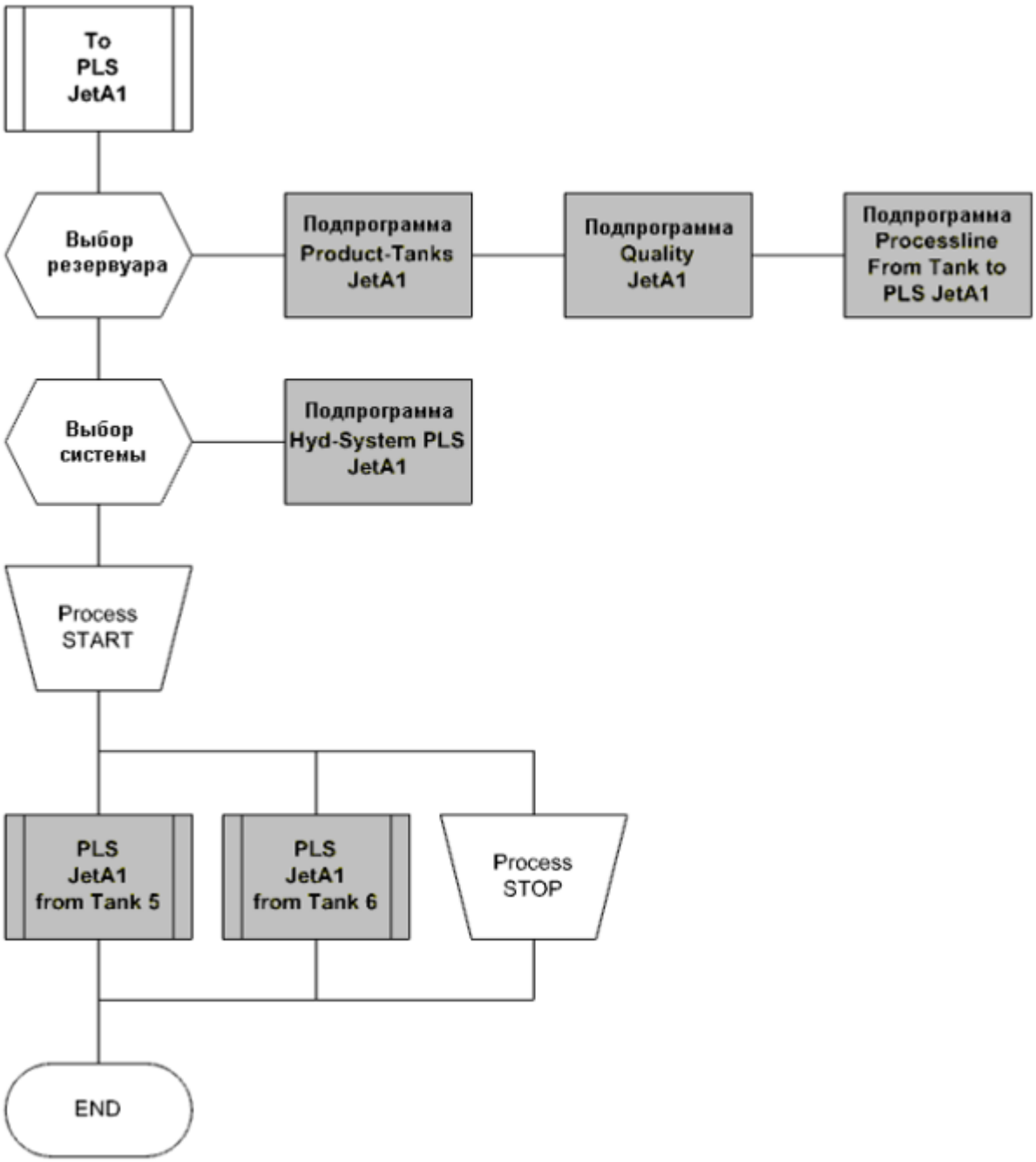


Рисунок В.3 – Алгоритм управления ППН JetAl
“To PLS JetAl”

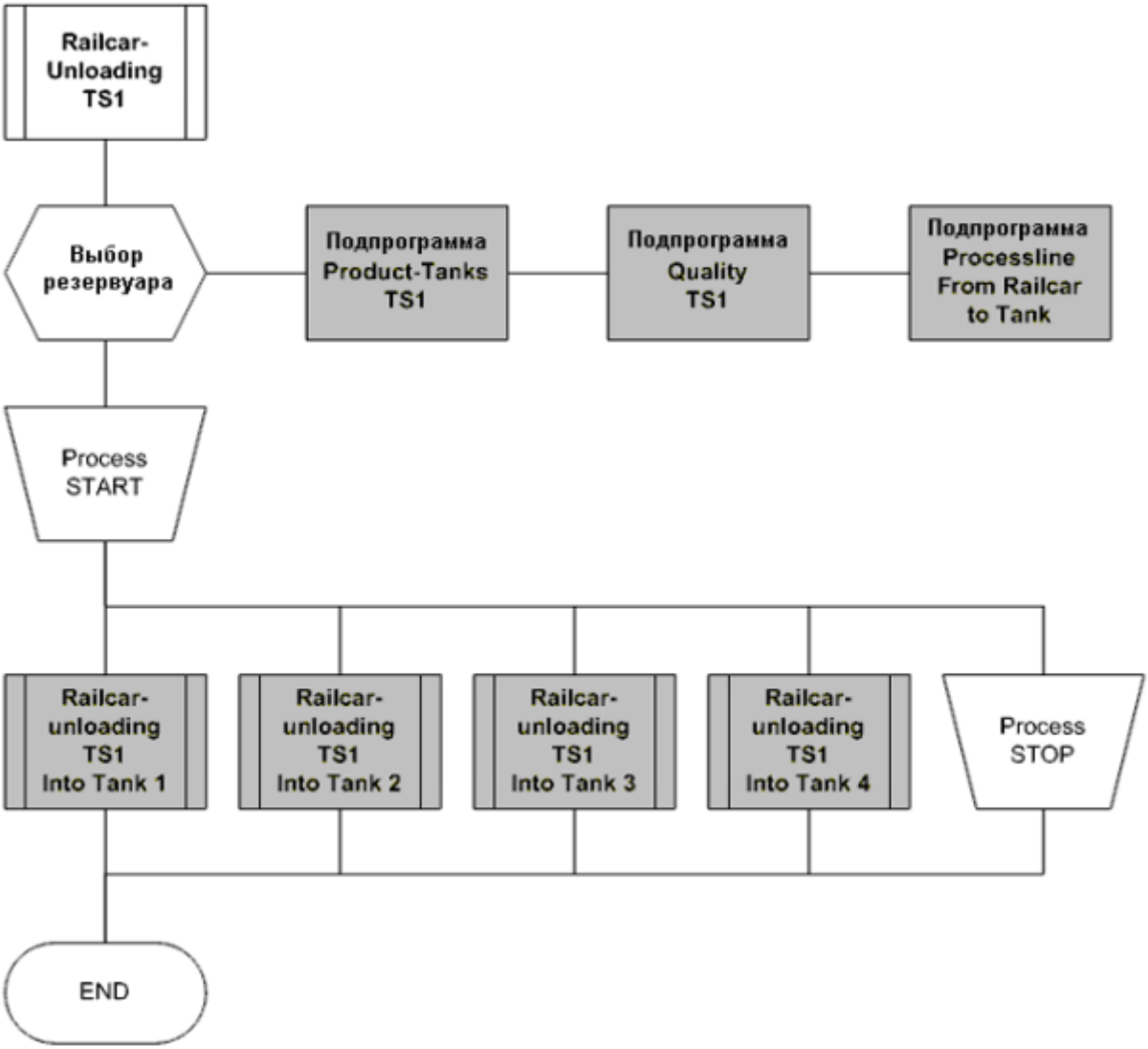


Рисунок В.4 – Алгоритм разгрузки ж/д цистерн “Railcar-Unloading TS1”

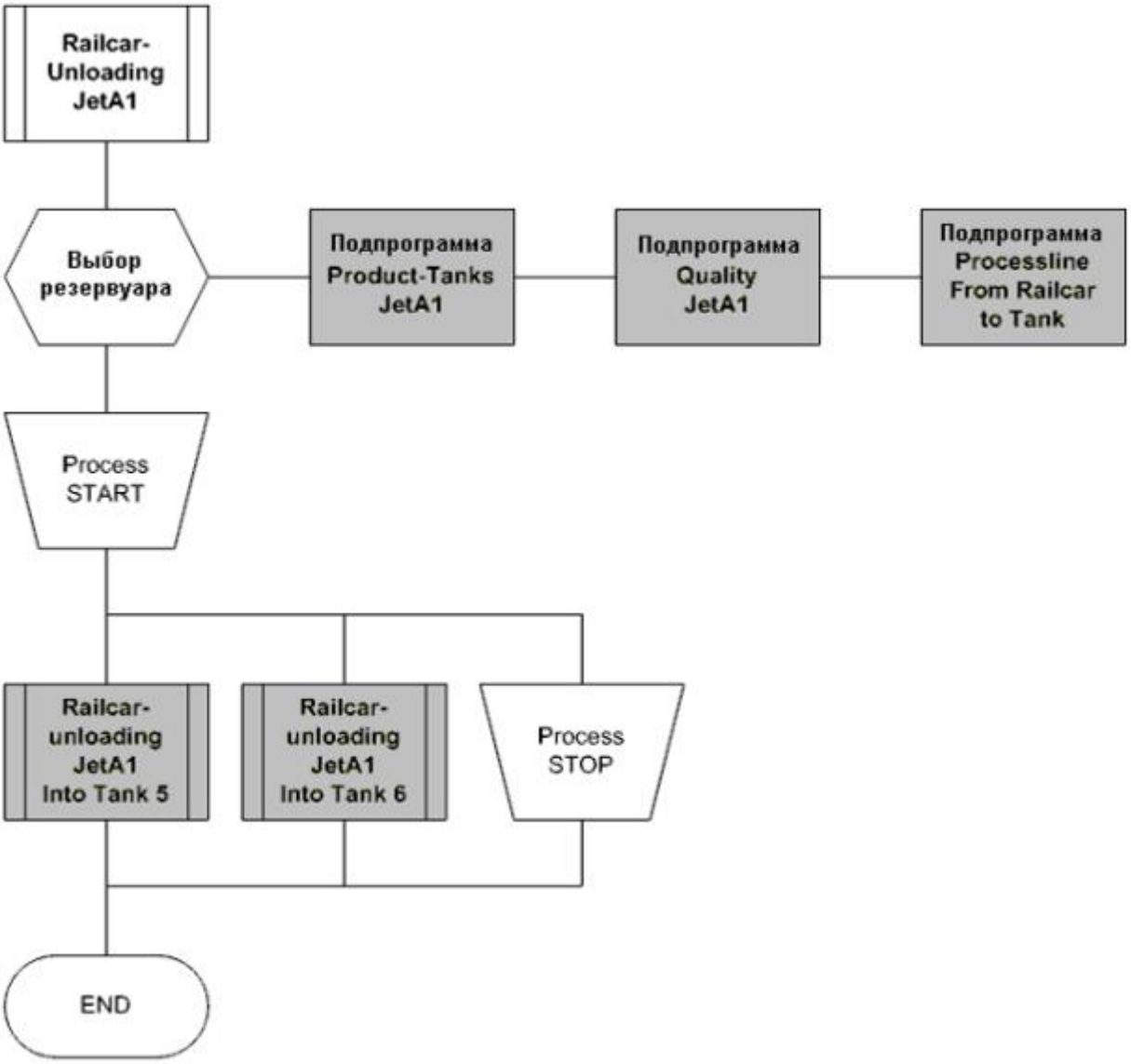


Рисунок В.5 – Алгоритм разгрузки ж/д цистерн “Railcar-Unloading JetAl”

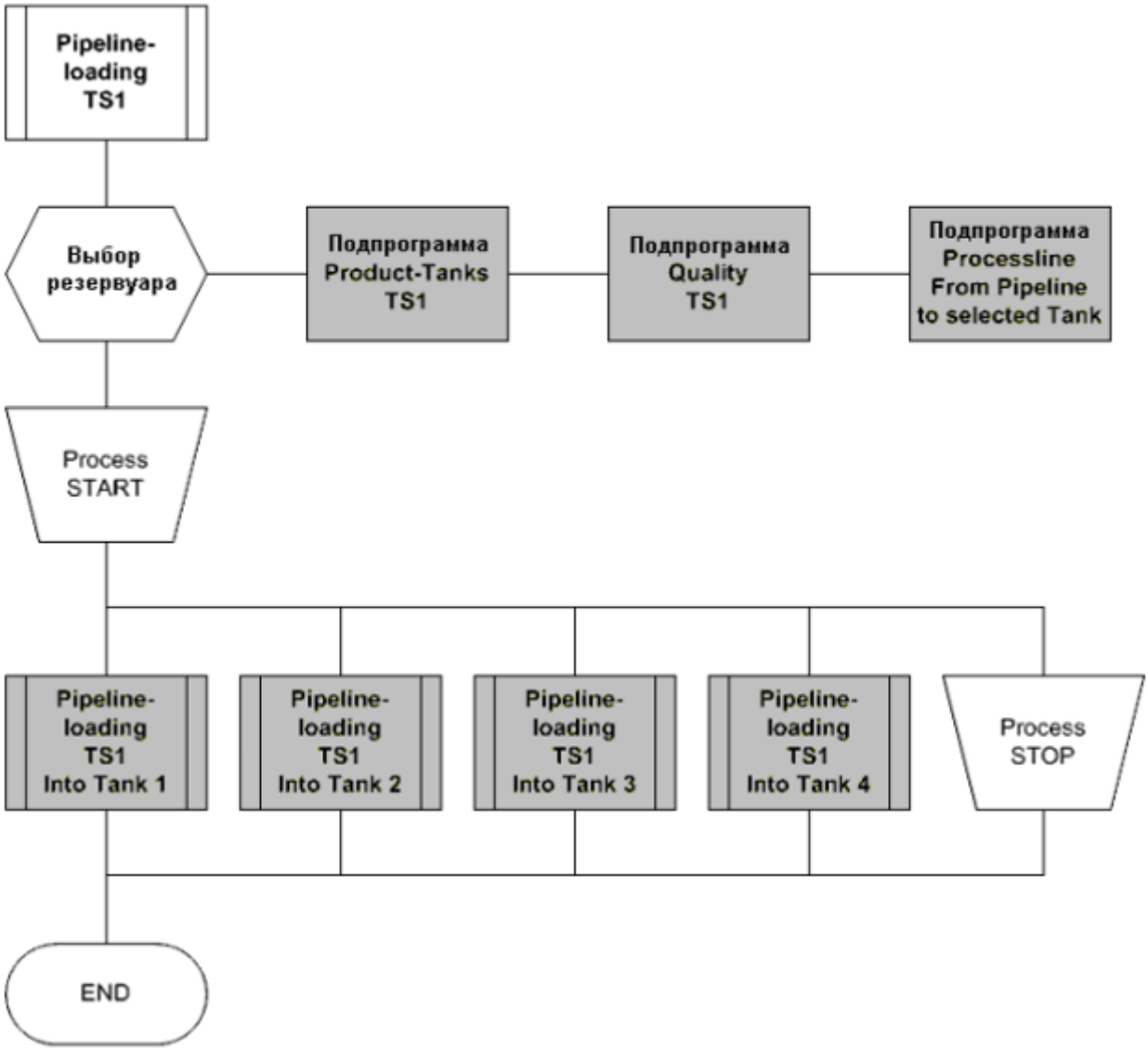


Рисунок В.6 – Алгоритм управления трубопроводом
“Pipeline-loading TS1”

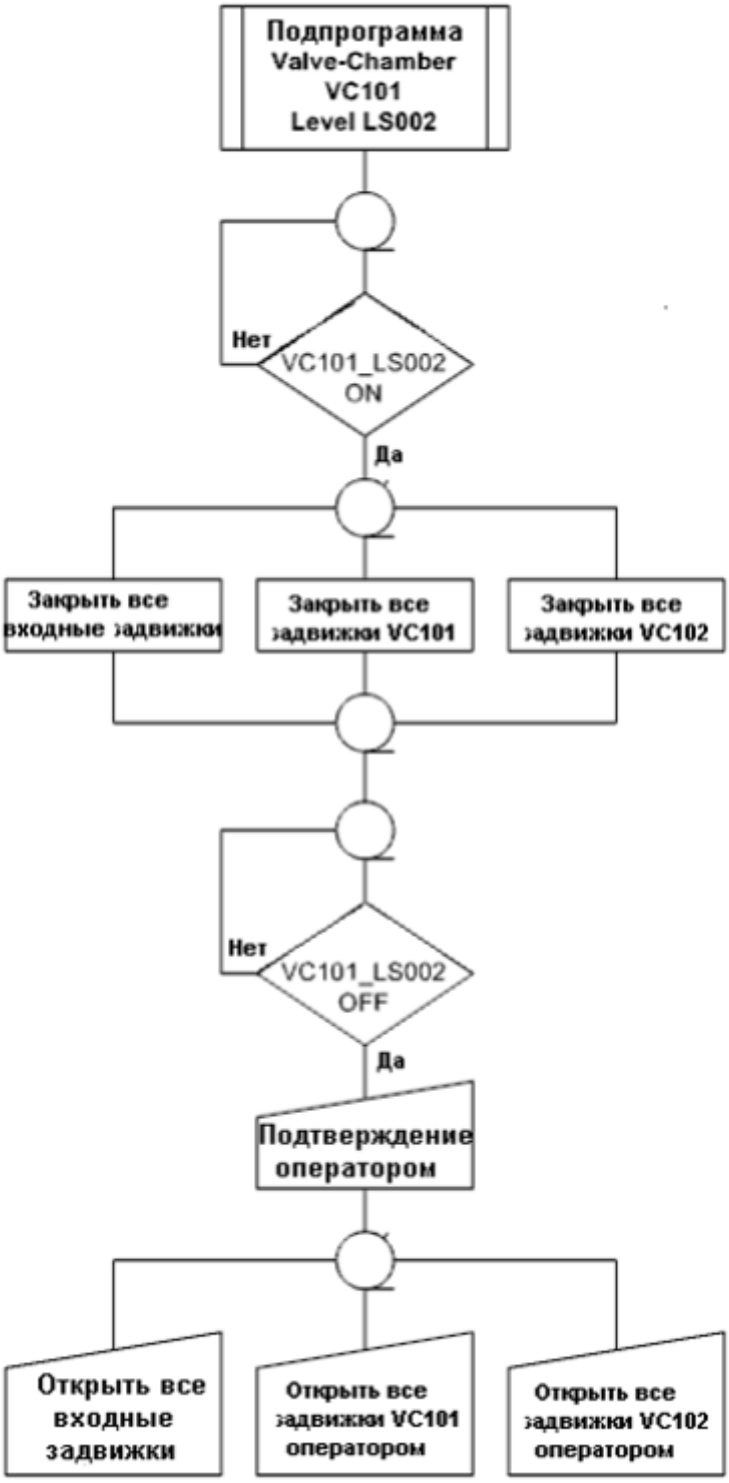


Рисунок В.7 – Алгоритм контроля уровня VC101
“Valve-Chamber VC 101 Level LS002”

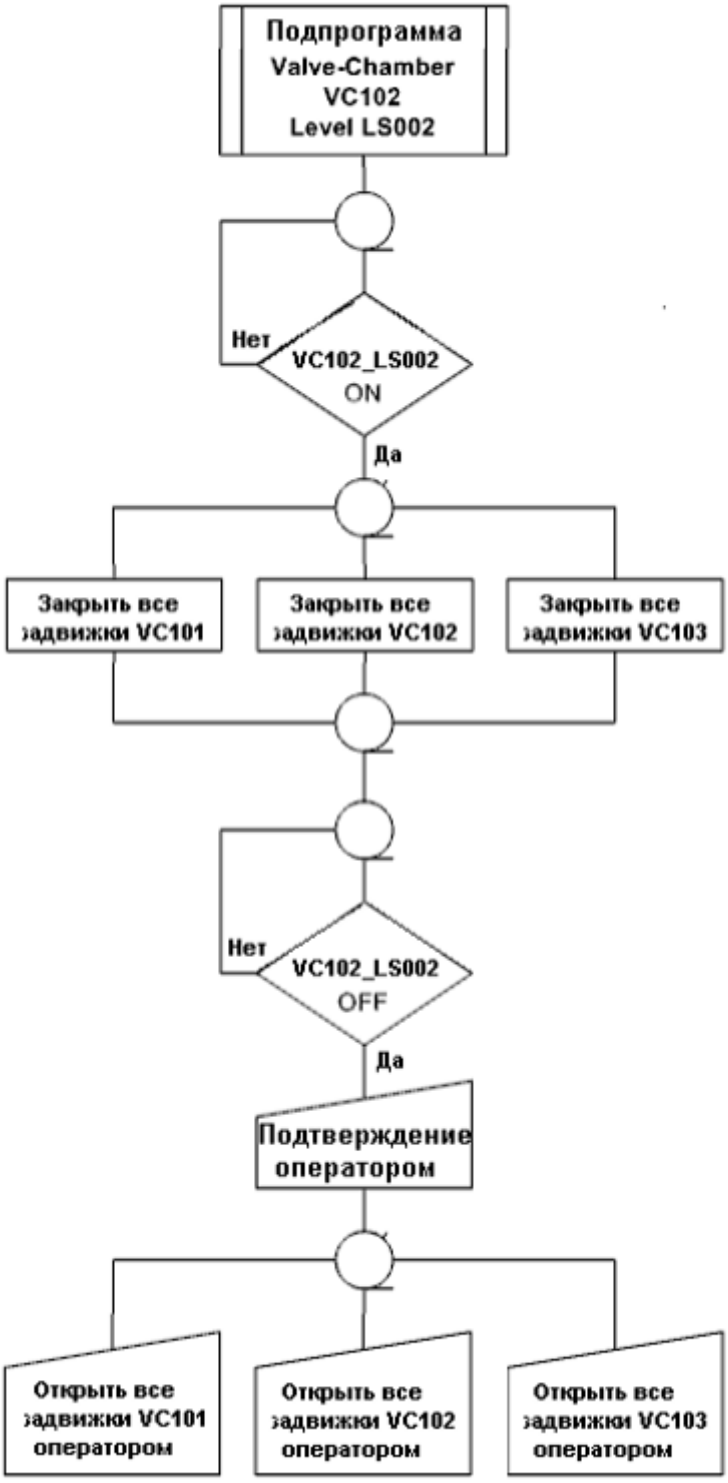


Рисунок В.8 – Алгоритм контроля уровня VC102
“Valve-Chamber VC 102 Level LS002”

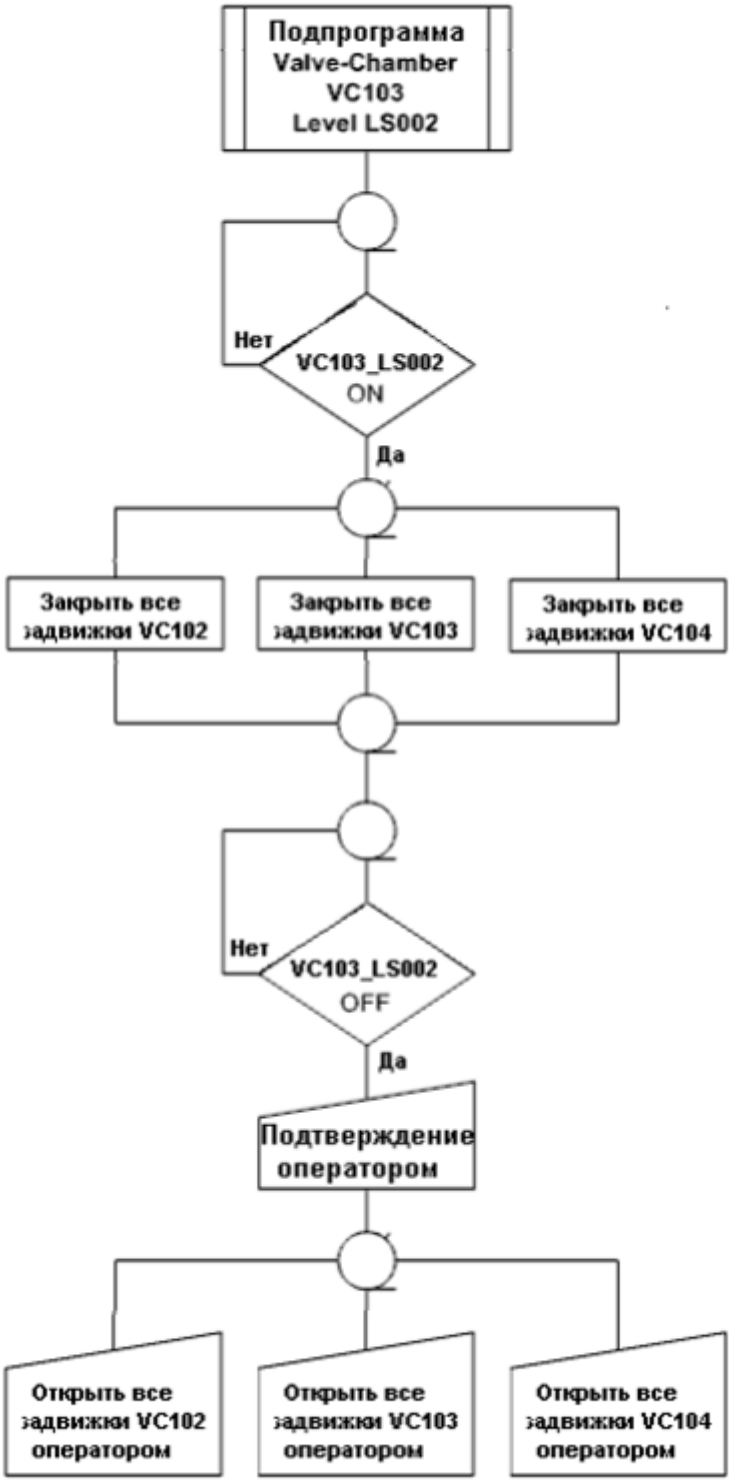


Рисунок В.9 – Алгоритм контроля уровня VC103
“Valve-Chamber VC 103 Level LS002”

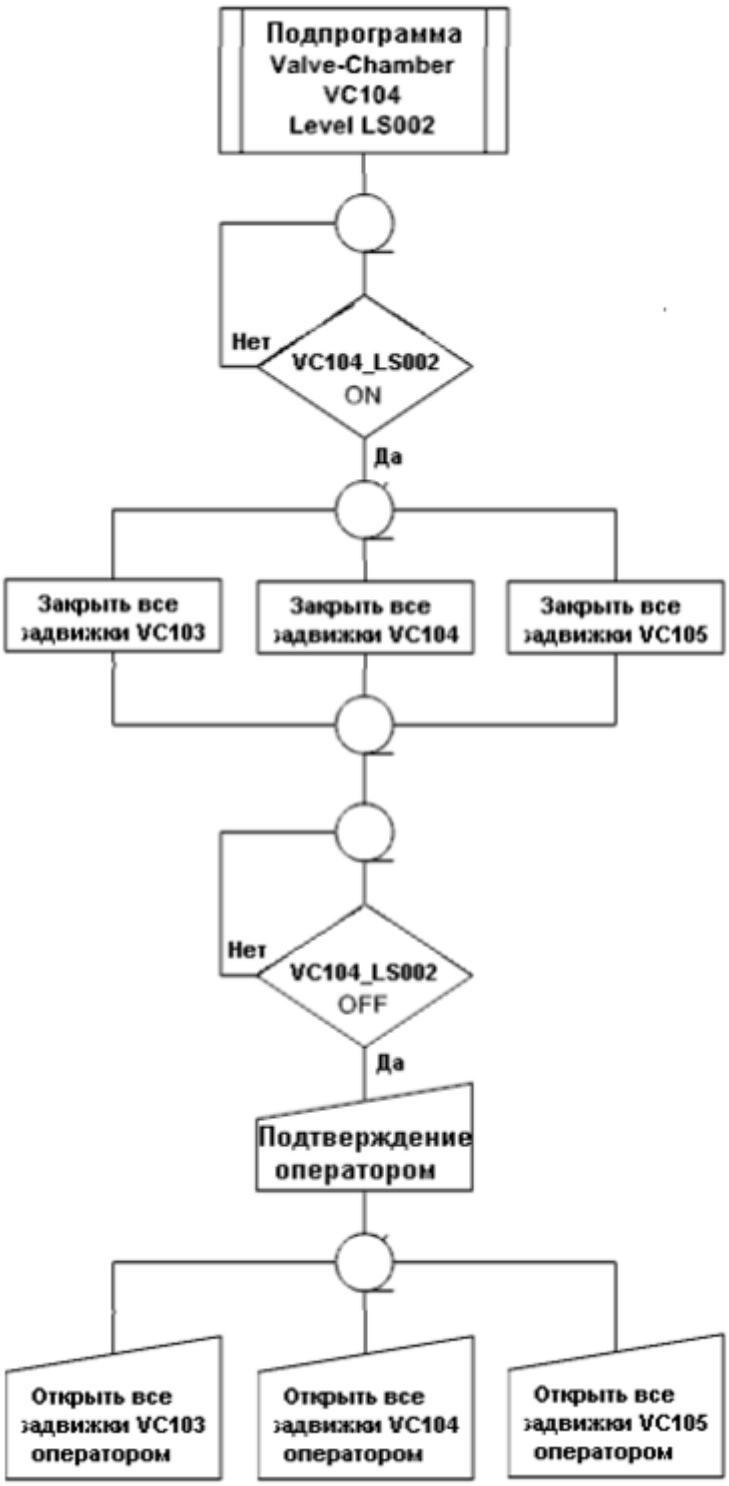


Рисунок В.10 – Алгоритм контроля уровня VC104
“Valve-Chamber VC 104 Level LS002”

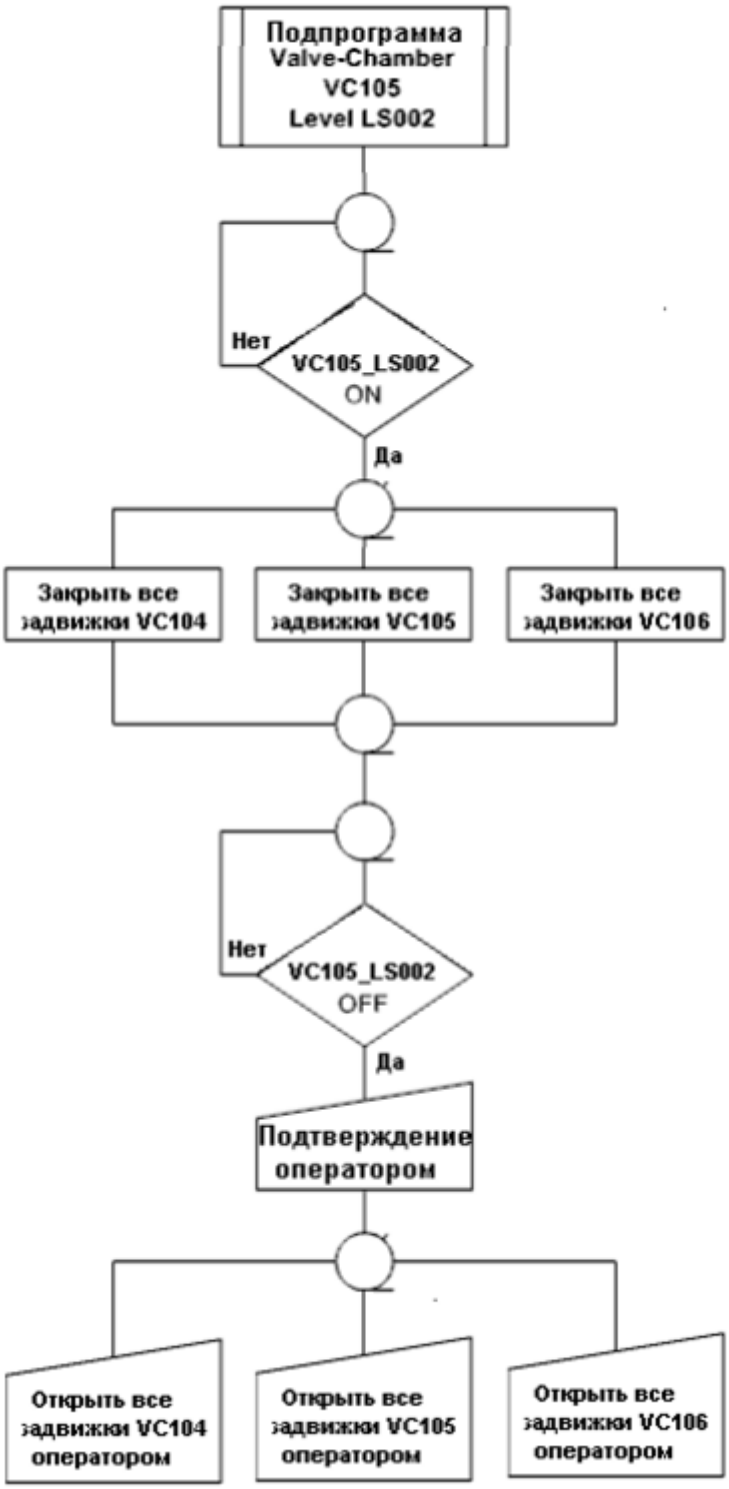


Рисунок В.11 – Алгоритм контроля уровня VC105
“Valve-Chamber VC 105 Level LS002”

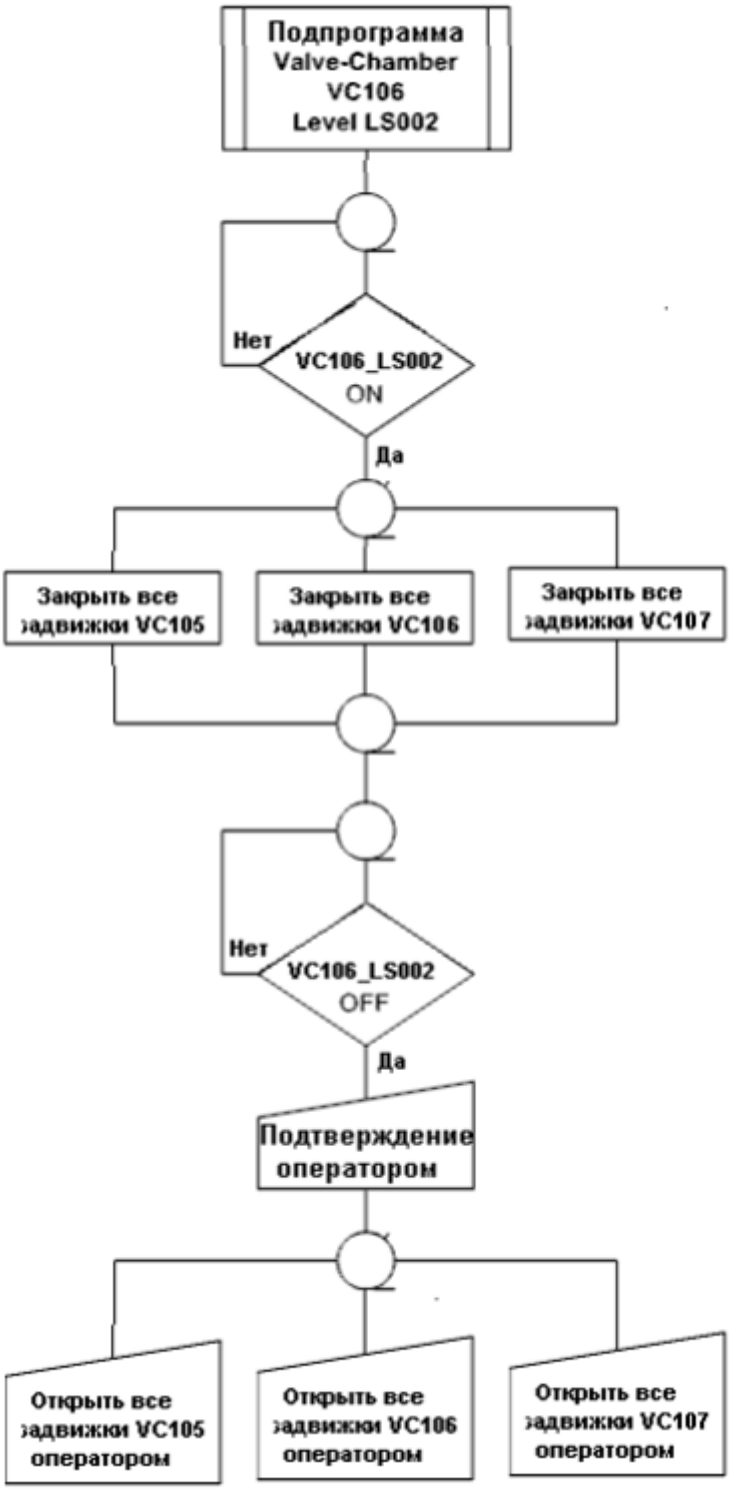


Рисунок В.12 – Алгоритм контроля уровня VC106
“Valve-Chamber VC 106 Level LS002”

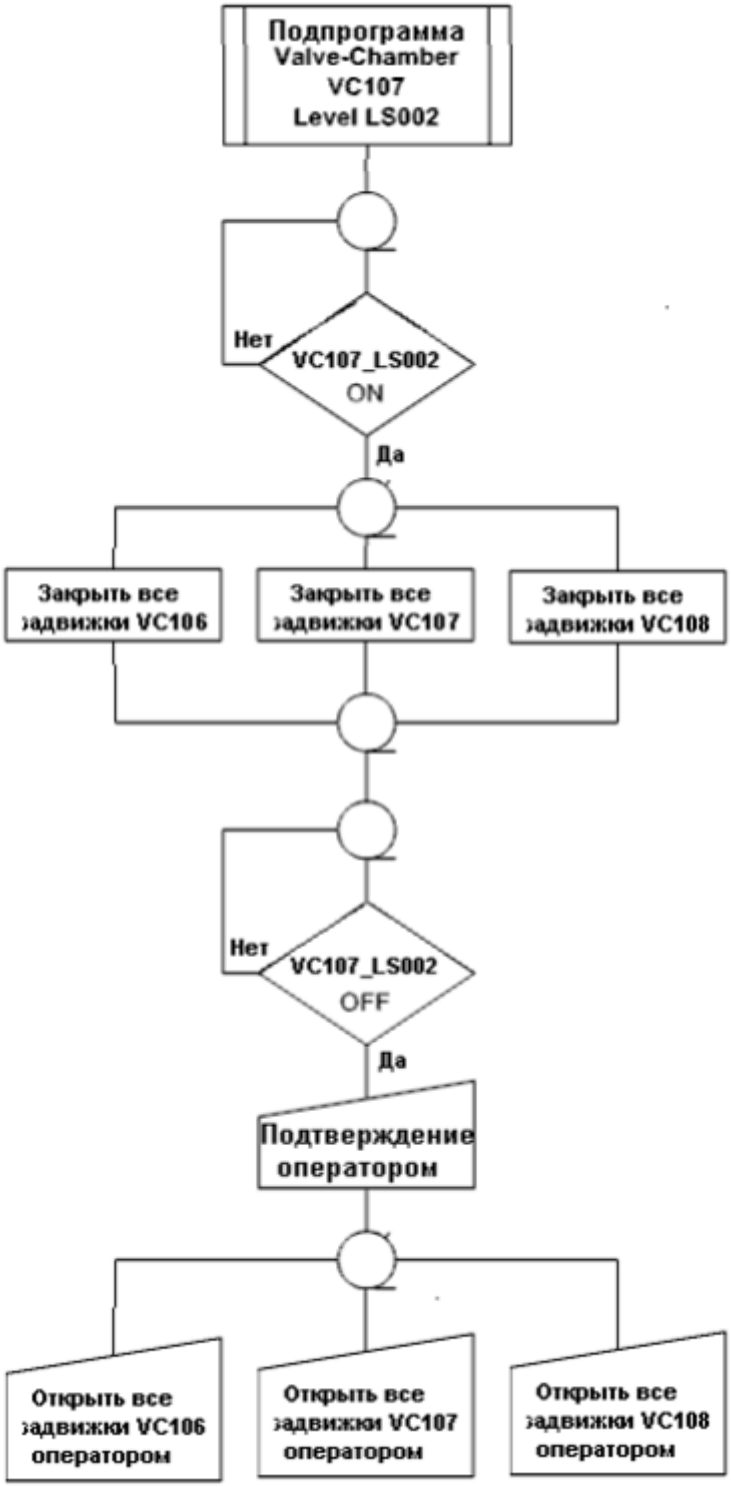


Рисунок В.13 – Алгоритм контроля уровня VC107
“Valve-Chamber VC 107 Level LS002”

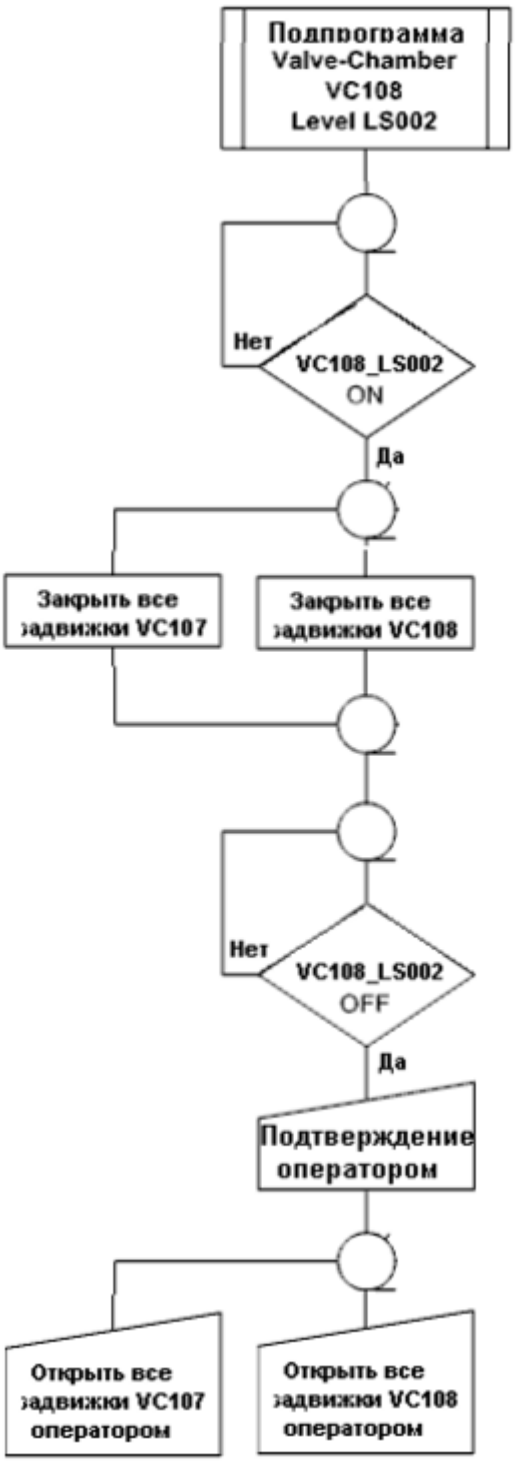


Рисунок В.14 – Алгоритм контроля уровня VC108
“Valve-Chamber VC 108 Level LS002”

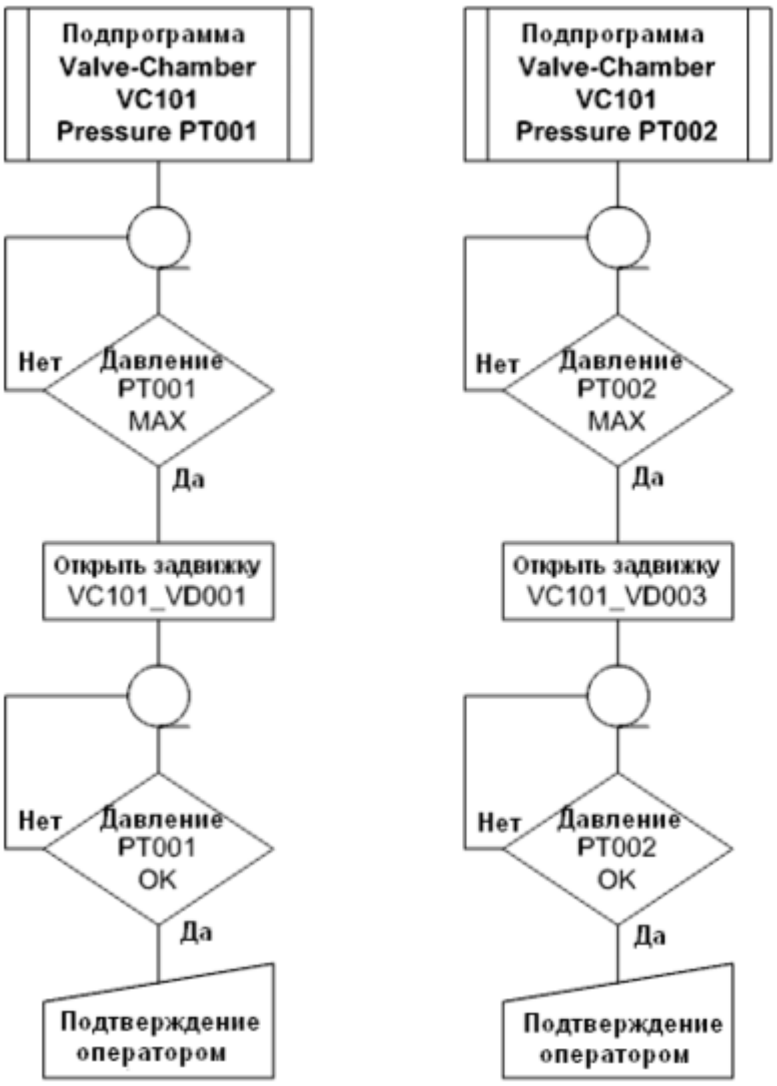


Рисунок В.15 – Алгоритм контроля давления VC101
“Valve-Chamber VC 101 Pressure PT001” и “Valve-Chamber VC101 Pressure PT002”

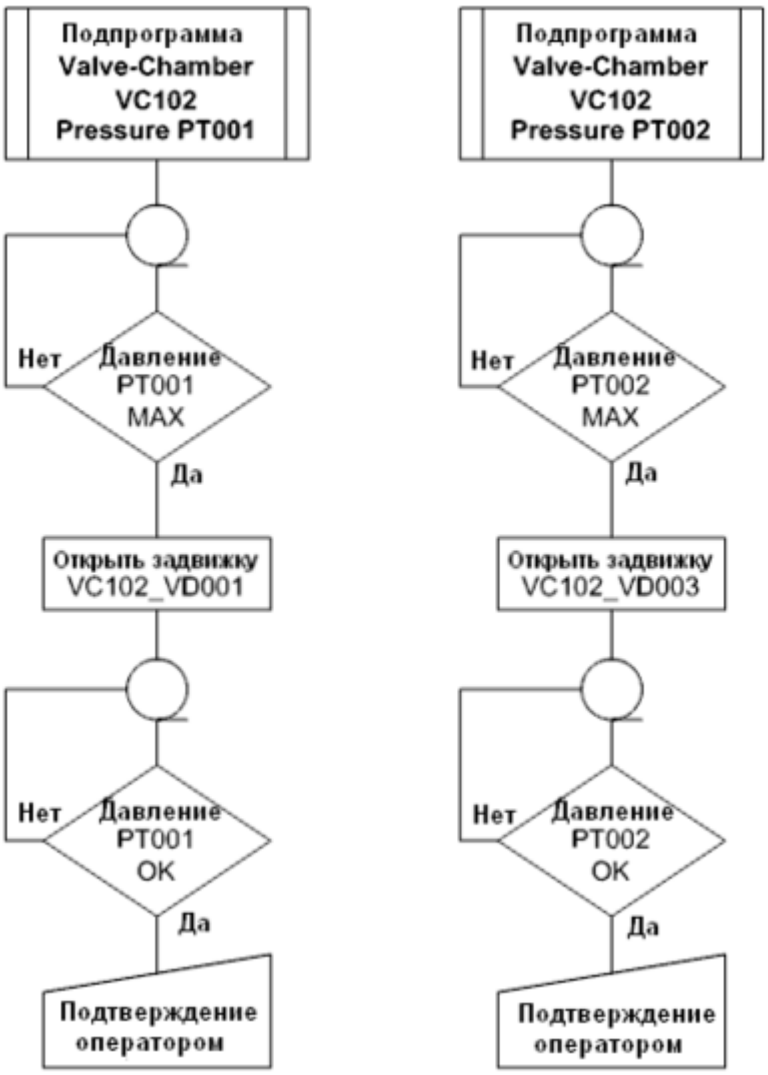


Рисунок В.16 – Алгоритм контроля давления VC102
“Valve-Chamber VC 102 Pressure PT001” и “Valve-Chamber VC 102 Pressure PT002”

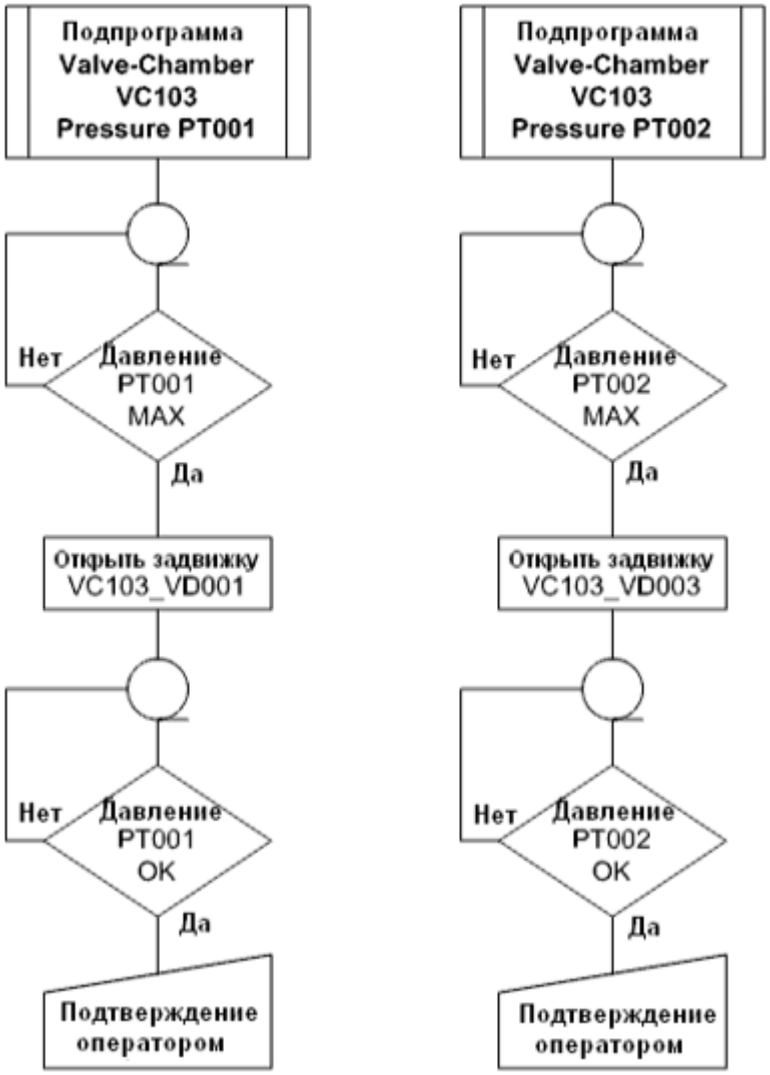


Рисунок В.17 – Алгоритм контроля давления VC103
“Valve-Chamber VC 103 Pressure PT001” и “Valve-Chamber VC 103 Pressure PT002”

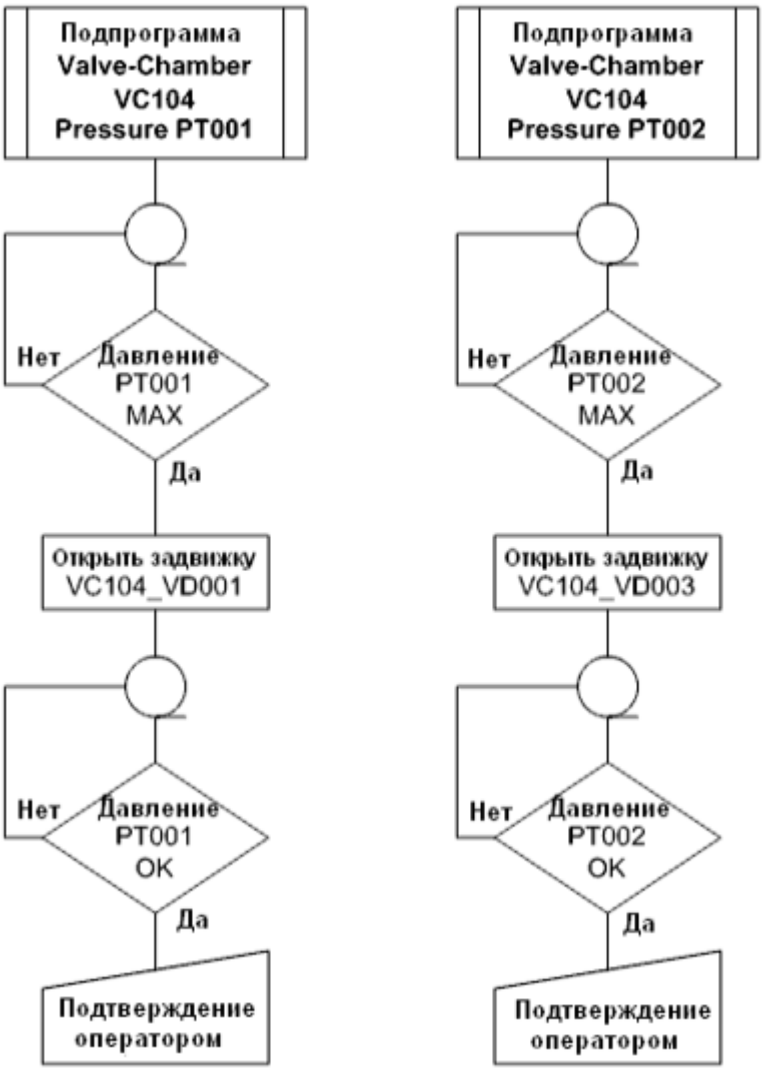


Рисунок В.18 – Алгоритм контроля давления VC104
“Valve-Chamber VC 104 Pressure PT001” и “Valve-Chamber VC 104 Pressure PT002”

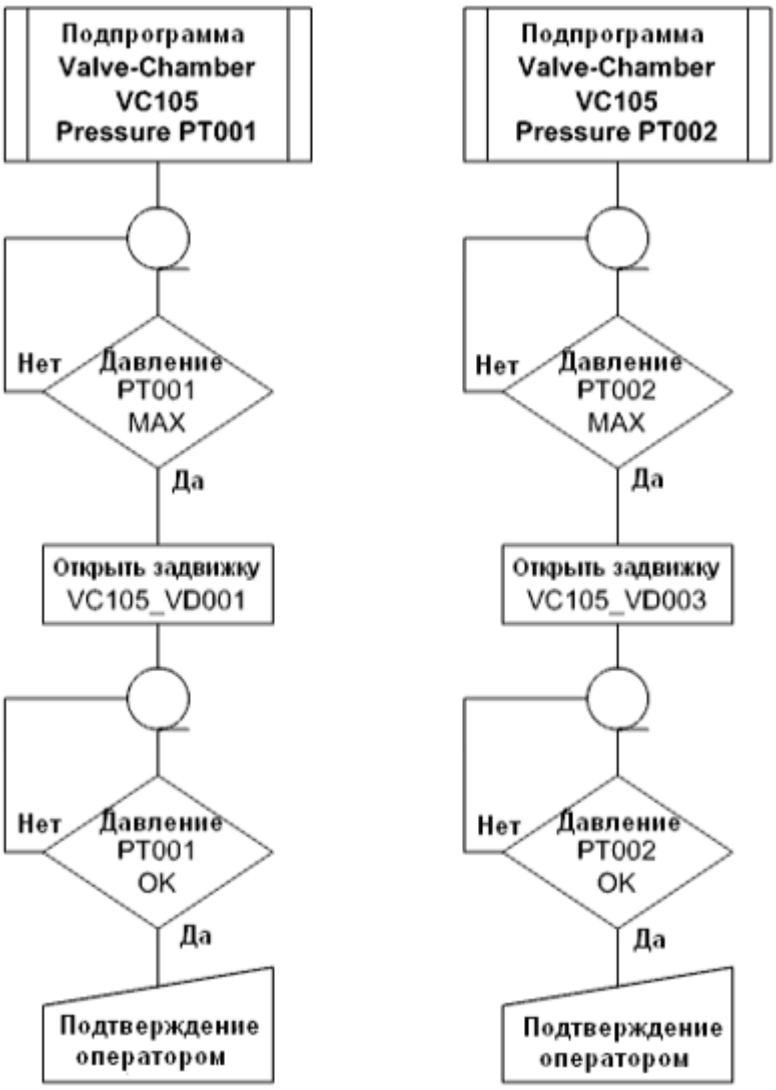


Рисунок В.19 – Алгоритм контроля давления VC105
“Valve-Chamber VC 105 Pressure PT001” и “Valve-Chamber VC 105 Pressure PT002”

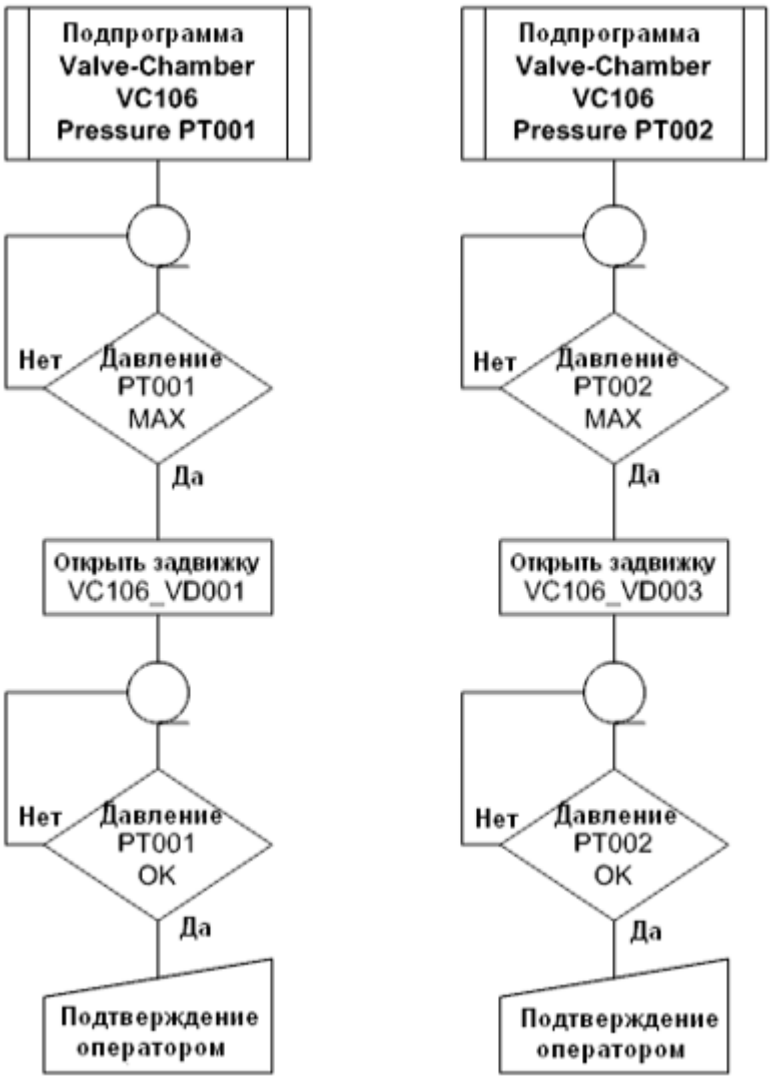


Рисунок В.20 – Алгоритм контроля давления VC106
“Valve-Chamber VC 106 Pressure PT001” и “Valve-Chamber VC 106 Pressure PT002”

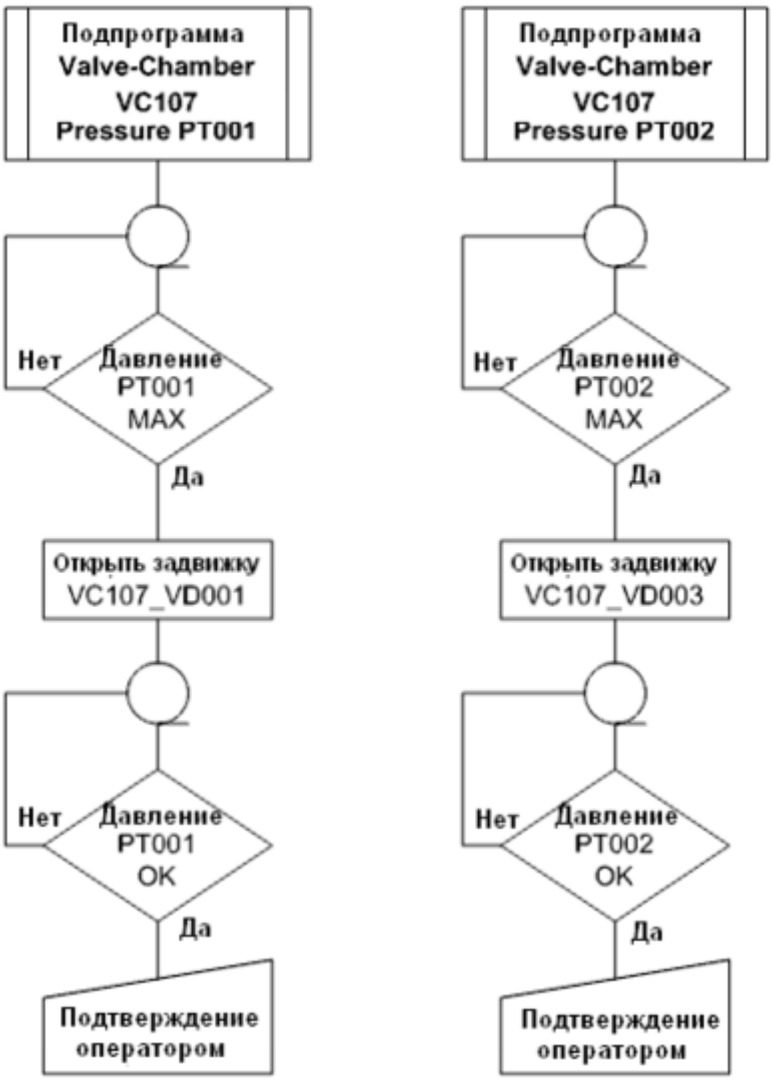


Рисунок В.21 – Алгоритм контроля давления VC107
“Valve-Chamber VC 107 Pressure PT001” и “Valve-Chamber VC 107 Pressure PT002”

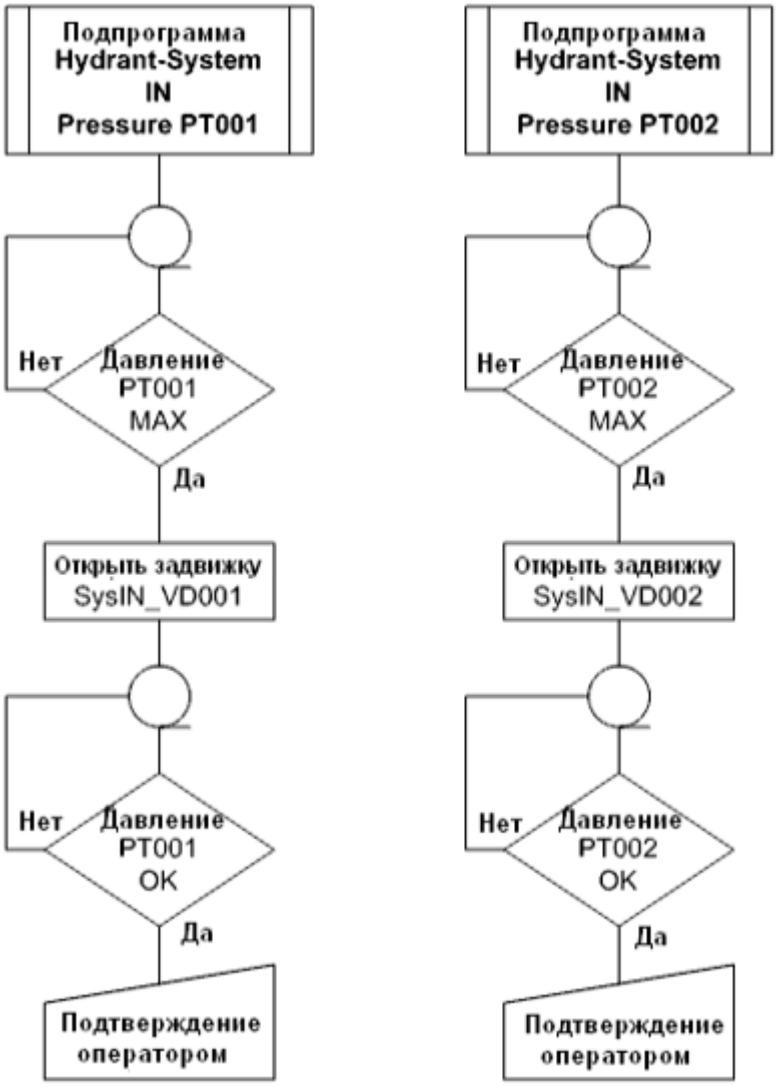


Рисунок В.22 – Алгоритм контроля давления VC108
“Hydrant-System IN Pressure PT001 ” и “Hydrant-System IN Pressure PT002”

В таблице В.2 указаны задвижки, которые должны закрываться в случае срабатывания сигнализации по уровню (отмечены синим цветом), в таблице В.3 -по давлению.

Таблица В.2 – Задвижки, которые должны закрываться в случае срабатывания сигнализации по уровню (отмечены серым цветом)

	VS101 LS002	VS102 LS002	VS103 LS002	VS104 LS002	VS105 LS002	VS106 LS002	VS107 LS002	VS108 LS002
VC101_VD001	■	■						
VC101_VD003	■	■						
VC101_VD001	■	■						
VC102_VD001	■	■	■					
VC102_VD003	■	■	■					
VC101_VD001	■	■	■					
VC103_VD001		■	■	■				
VC103_VD003		■	■	■				
VC103_VD001		■	■	■				
VC104_VD001			■	■	■			
VC104_VD003			■	■	■			
VC104_VD001			■	■	■			
VC105_VD001				■	■	■		
VC105_VD003				■	■	■		
VC105_VD001				■	■	■		
VC106_VD001					■	■	■	
VC106_VD003					■	■	■	
VC106_VD001					■	■	■	
VC107_VD001						■	■	■
VC107_VD003						■	■	■
VC107_VD001						■	■	■
VC108_VD002							■	■
SysIN_VD001	■							
SysIN_VD002	■							

Таблица В.3 – Задвижки, которые должны закрываться в случае срабатывания сигнализации по давлению (отмечены синим цветом).

	VC101_PT001	VC101_PT002	VC102_PT001	VC102_PT002	VC103_PT001	VC103_PT002	VC104_PT001	VC104_PT002	VC105_PT001	VC105_PT002	VC106_PT001	VC106_PT002	VC107_PT001	VC107_PT002	SysIN_PT001	SysIN_PT0012
VC101_VD001	■															
VC101_VD003																
VC101_VD001		■														
VC102_VD001			■													
VC102_VD003																
VC101_VD001				■												
VC103_VD001					■											
VC103_VD003																
VC103_VD001						■										
VC104_VD001							■									
VC104_VD003																
VC104_VD001								■								
VC105_VD001									■							
VC105_VD003																
VC105_VD001										■						
VC106_VD001											■					
VC106_VD003																
VC106_VD001												■				
VC107_VD001													■			
VC107_VD003																
VC107_VD001														■		
VC108_VD002																
SysIN_VD001															■	
SysIN_VD002																■

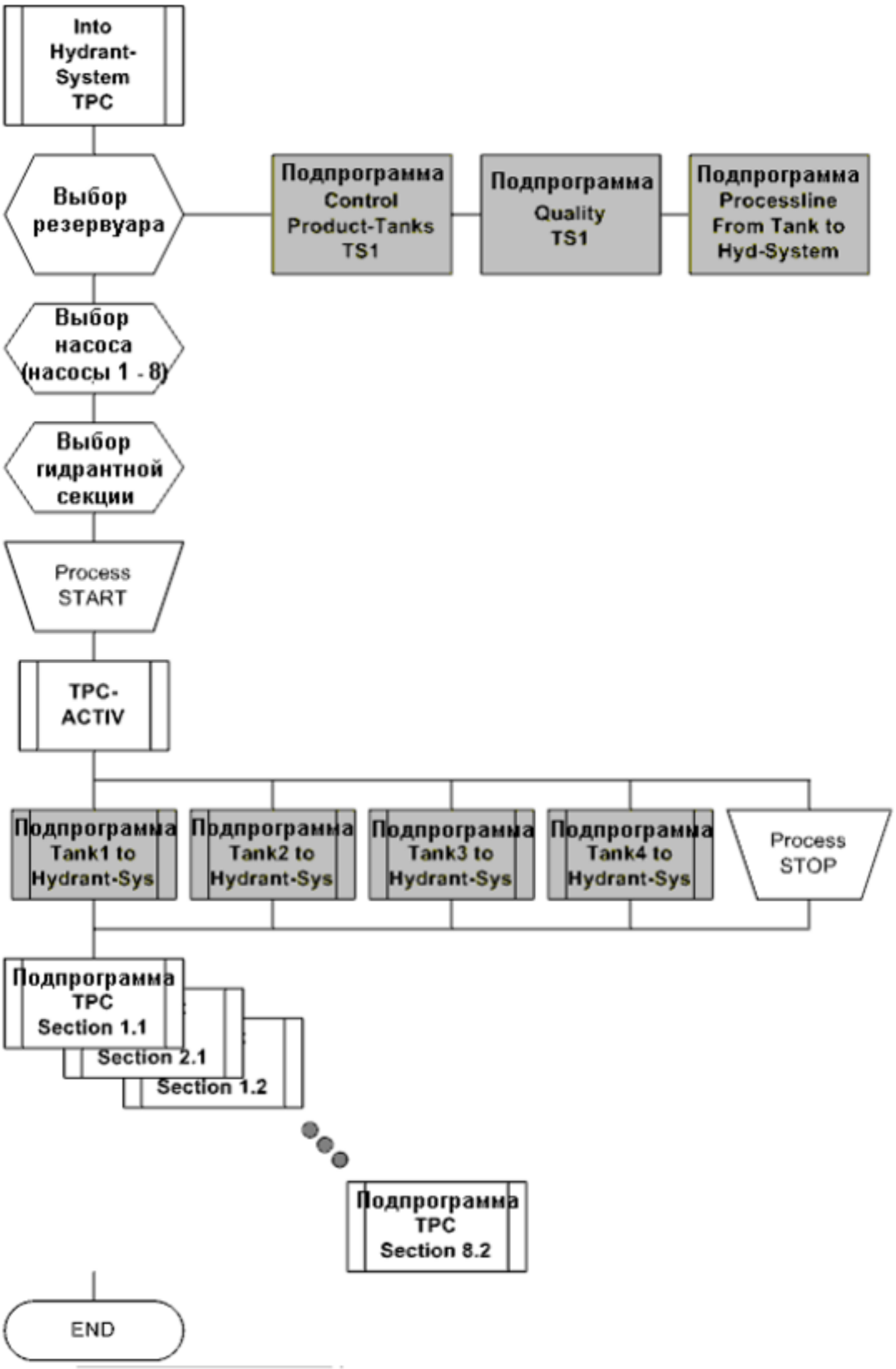


Рисунок В.23 – Основной алгоритм гидрантной системы ЦЗС “Into Hydrant-System TPC”

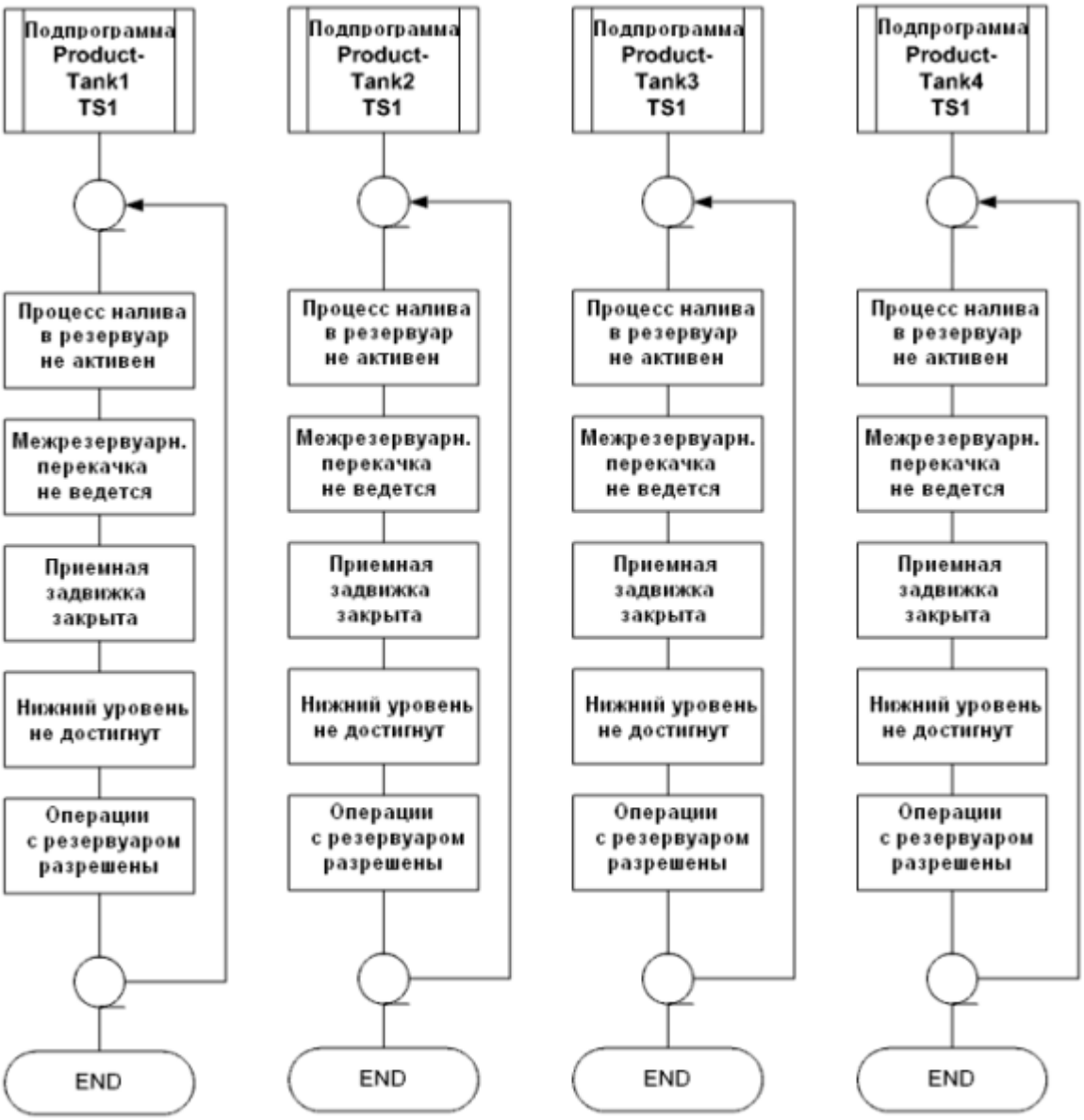


Рисунок В.24 – Алгоритмы контроля резервуаров
Product-Tank 1 TS1", "Product-Tank2 TS1", "Product-Тапк3 TS1"
"Product-Tank4 TS1"

Примечание: Операции с резервуаром разрешены, если уровнемер исправен, сигнализатор переполнения не запрещает откачку, контроль достижения крайнего нижнего уровня в порядке, операции с резервуаром разрешены оператором.

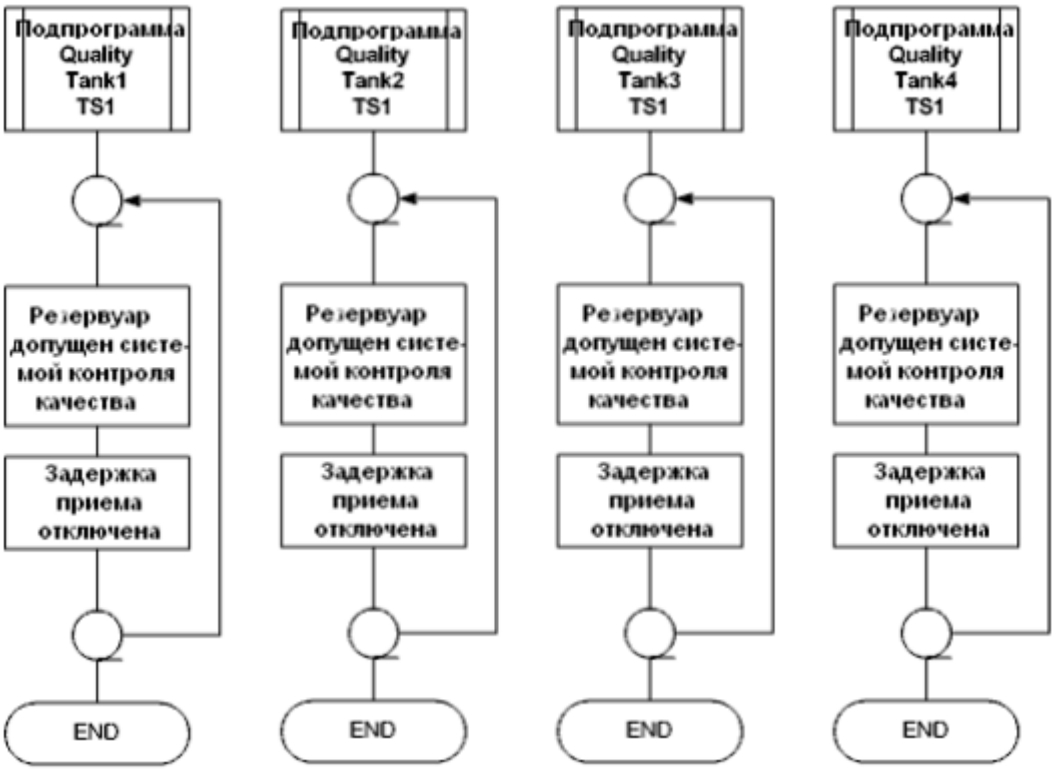


Рисунок В.25 – Алгоритмы контроля качества в резервуарах “Quality Tankl TS1”, “Quality Tank2 TS1”, “Quality Tank3 TS1”, “Quality Tank4 TS1”

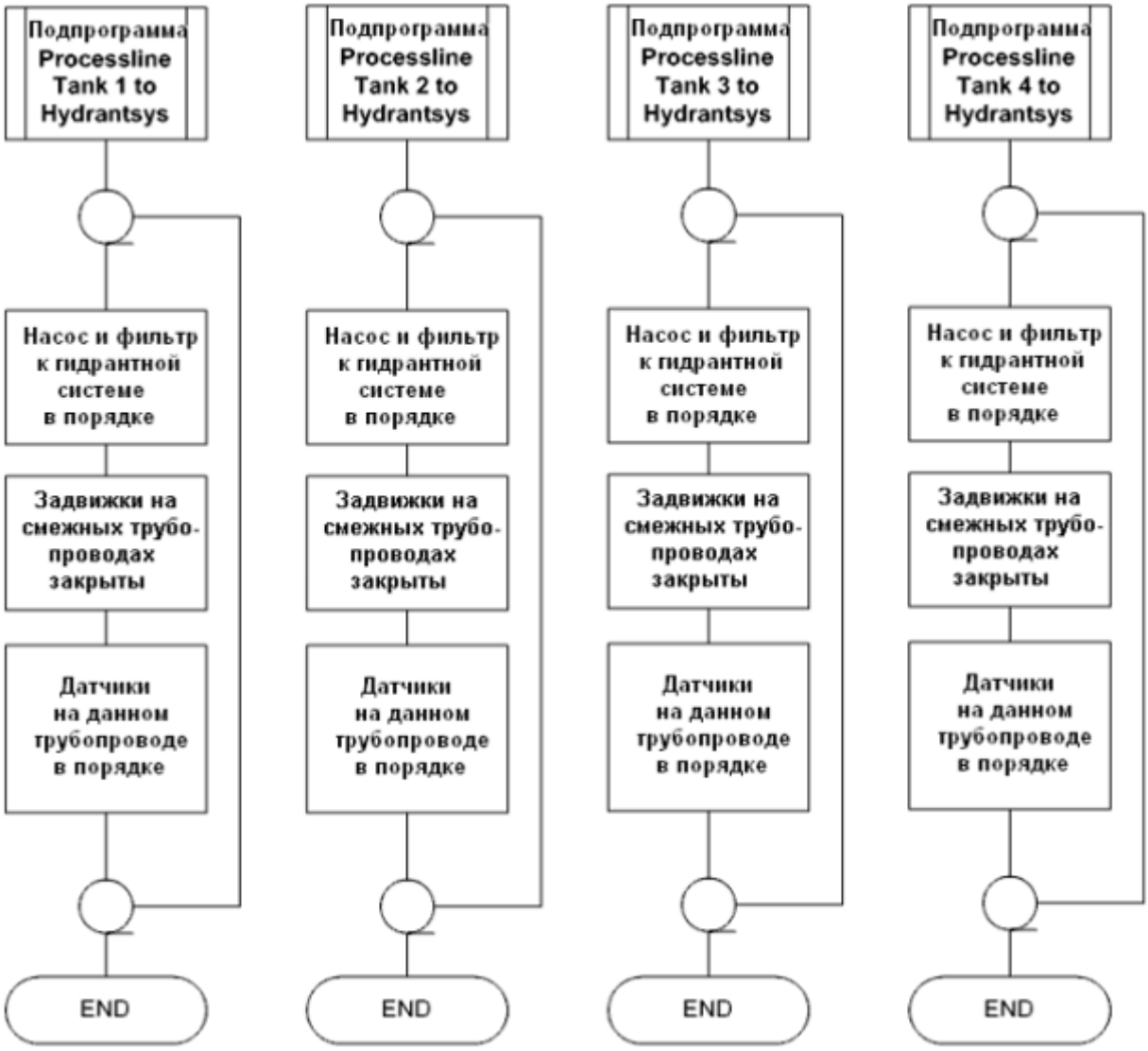


Рисунок В.26 – Алгоритм проверки трубопровода к гидрантной системе “Processline Tankl to Hydrantsys”, “Processline Tank2 to Hydrantsys”, “Processline Tank3 to Hydrantsys” “Processline Tank4 to Hydrantsys”

Примечания к рисунку В.26:

1) Насос и фильтр к гидрантной системе в порядке, если: - операции с насосом разрешены, - насос готов (нет ошибок),

- частотный преобразователь в порядке,
- гаситель в порядке,
- температура корпуса в норме,
- температура подшипников в норме,
- защита от сухого пуска в порядке,
- панель оперативного останова в порядке,

- противоаварийная блокировка оборудования в порядке,
- датчик разности давлений в порядке,
- датчик утечек в порядке,
- соленоидный клапан исправен,
- контроллер MFX 4 готов.

2) К задвижкам на смежных трубопроводах относятся задвижки между резервуарами, выходная задвижка резервуара, клапан герметичности.

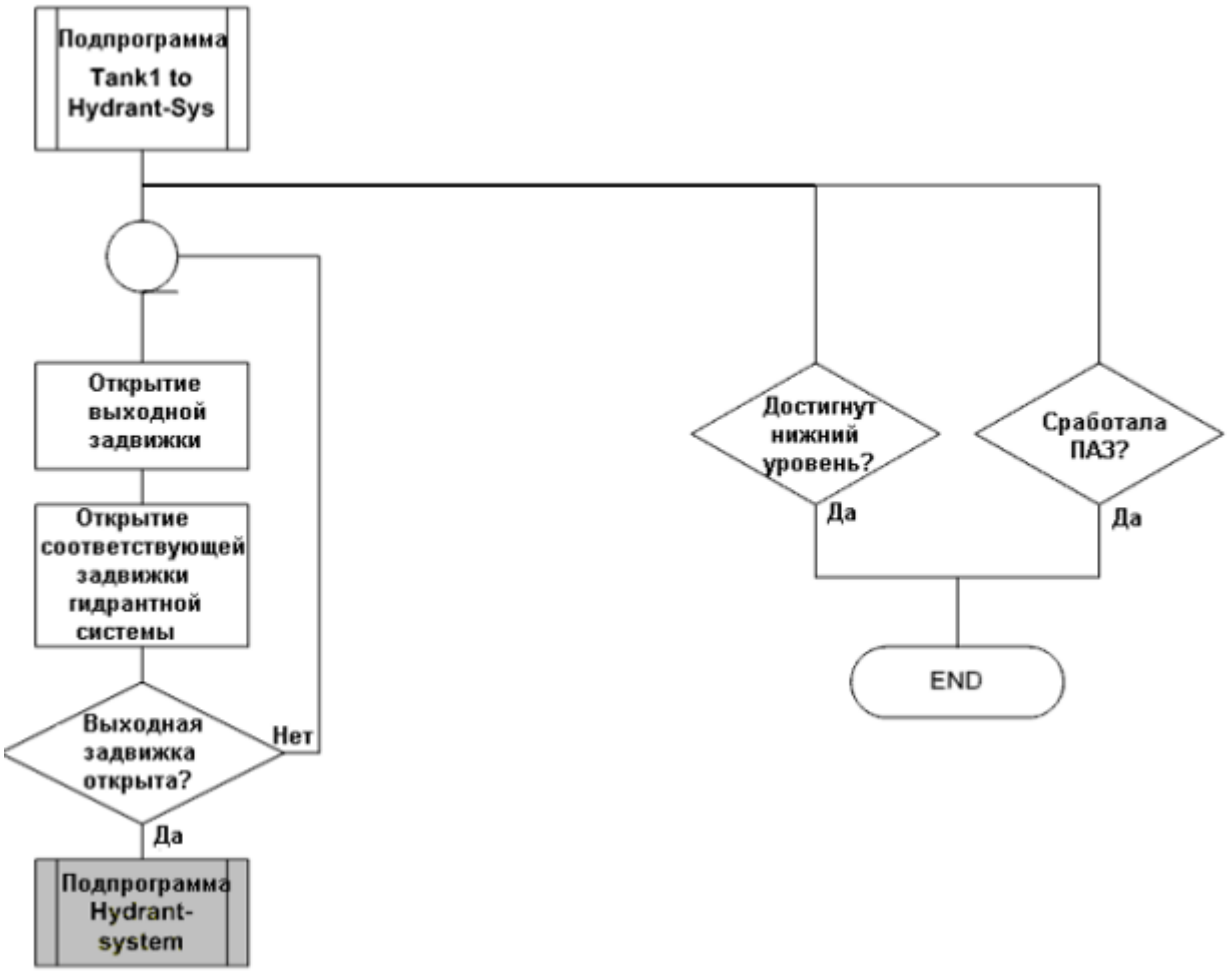


Рисунок В.27 – Алгоритм открытия задвижек при откачке из резервуара “Tankl to Hydrant-Sys”

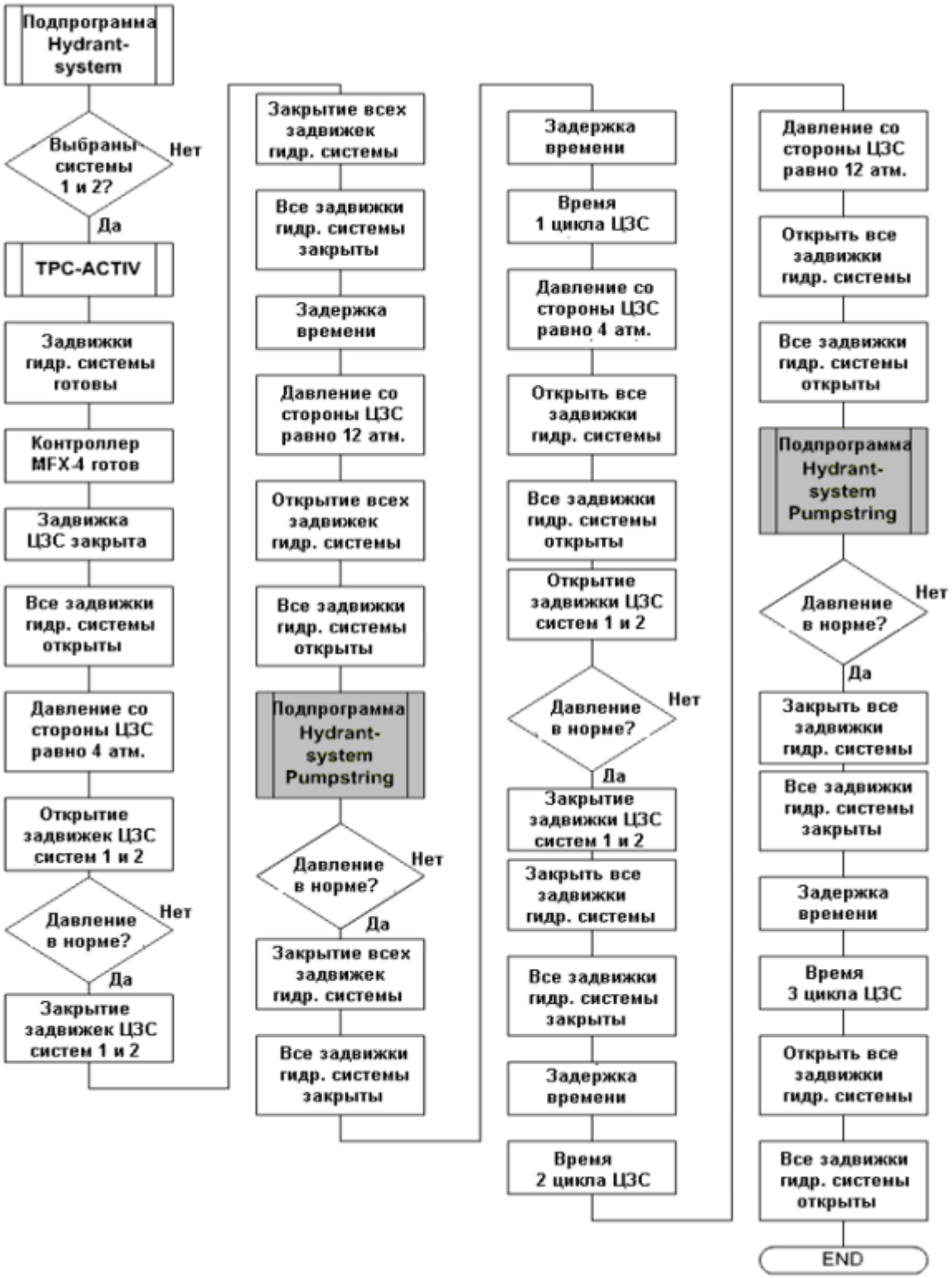


Рисунок В.28 – Алгоритм гидрантной системы
“Hydrant-system”

Примечание: Задвижки гидрантной системы готовы, если они переключены на местное управление и открыты или переключены на дистанционное управление и сигнализируют о готовности.

Рисунок В.29 – Алгоритм подготовки насоса
“Hydrant-system pumpstring"

Примечание: Оборудование насоса в порядке, если операции с насосом разрешены, насос готов (нет ошибок), частотный преобразователь в порядке, гаситель в порядке, температура корпуса в норме, температура подшипников в норме, защита от

сухого пуска в порядке, панель оперативного останова в порядке, противоаварийная блокировка оборудования в порядке, датчик разности давлений в порядке, датчик утечек в порядке, соленоидный клапан исправен, контроллер MFX_4 готов.

Рисунок В.30 – Алгоритм управления насосом “Pump-Control"

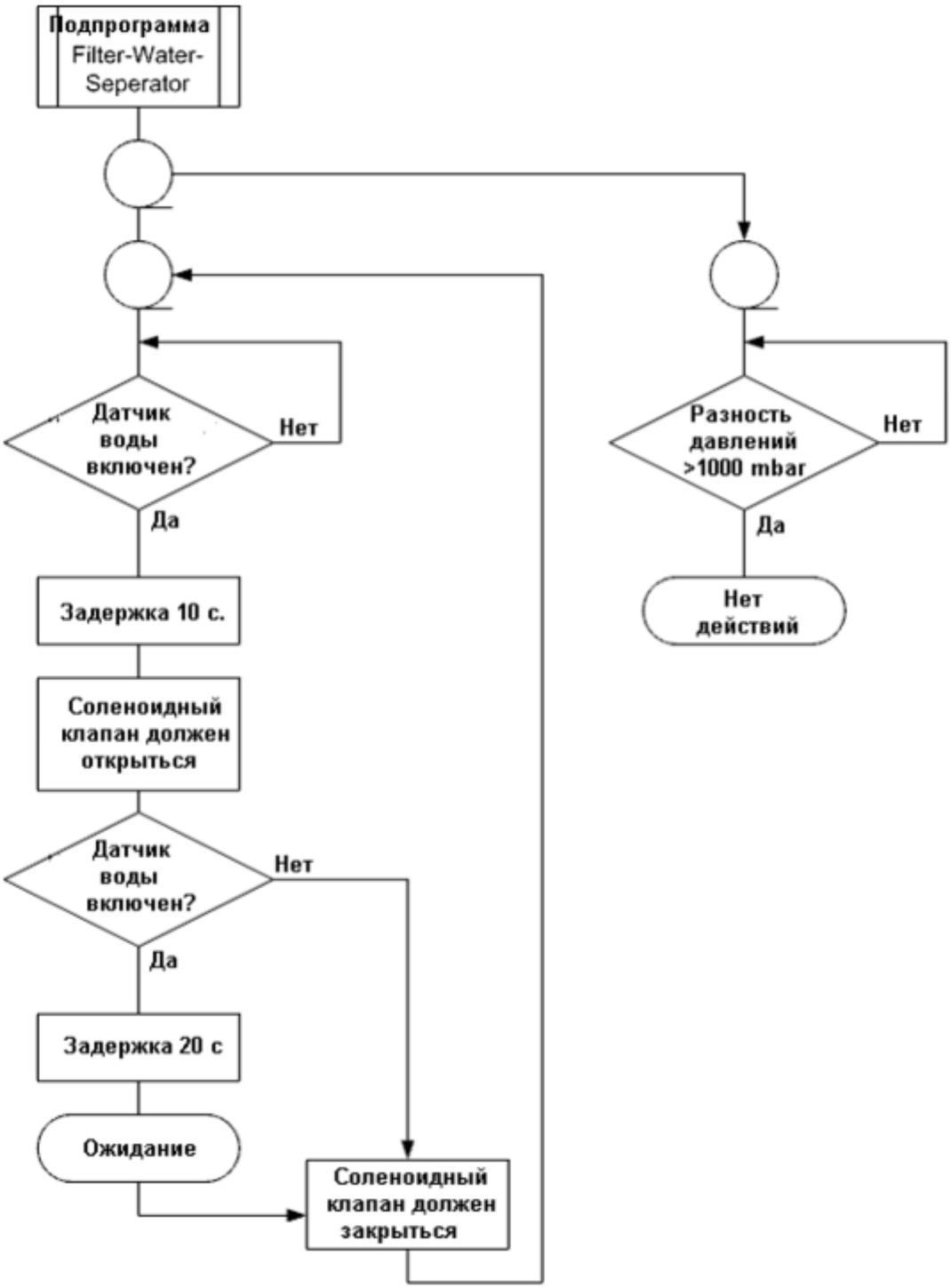


Рисунок В.31 – Алгоритм контроля фильтра-водоотделителя “Filter-Water-Separator”

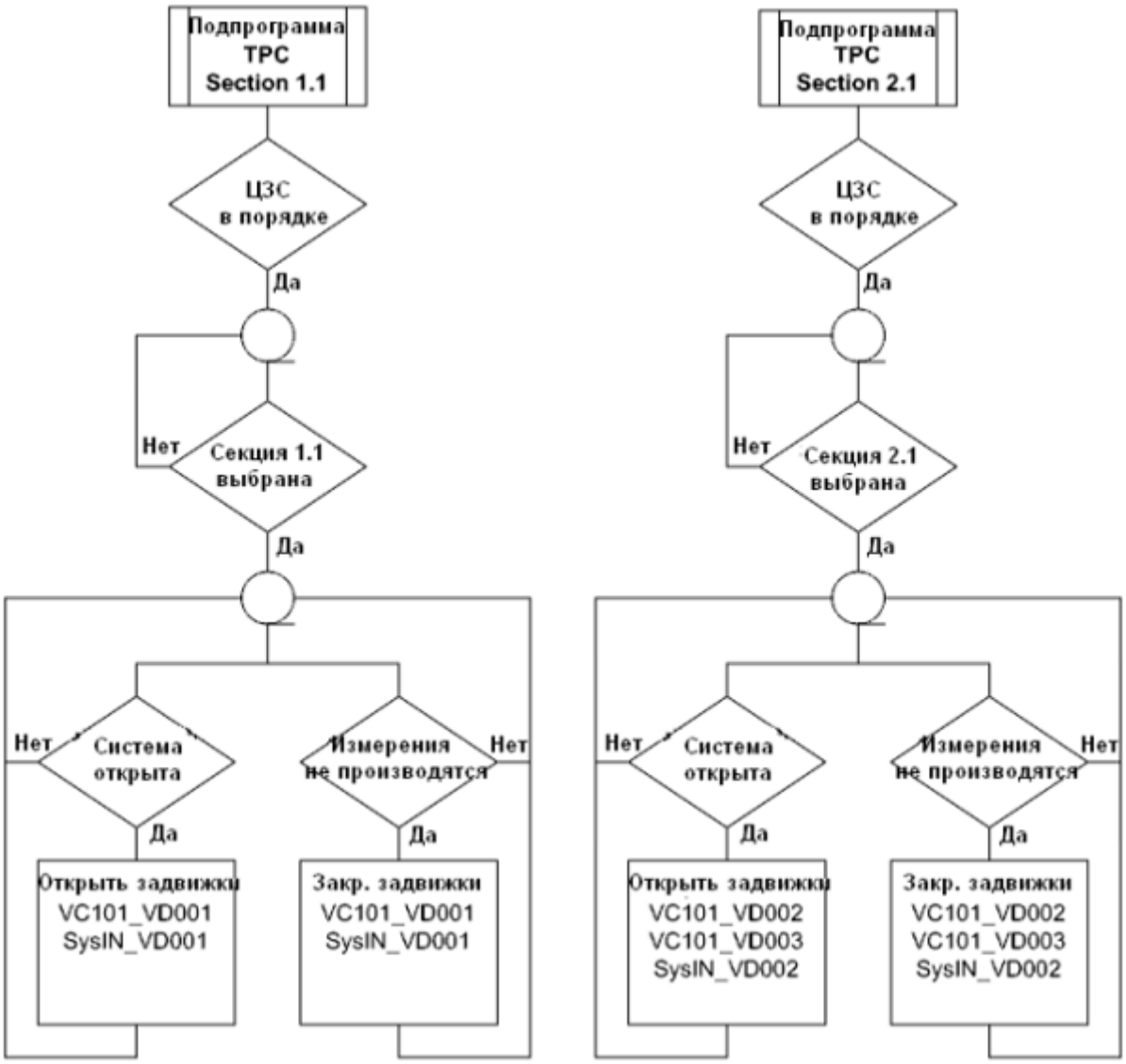


Рисунок В.32 – Алгоритмы управления секциями 1.1 и 2.1
“TPC Section 1.1”, “TPC Section 2.1”

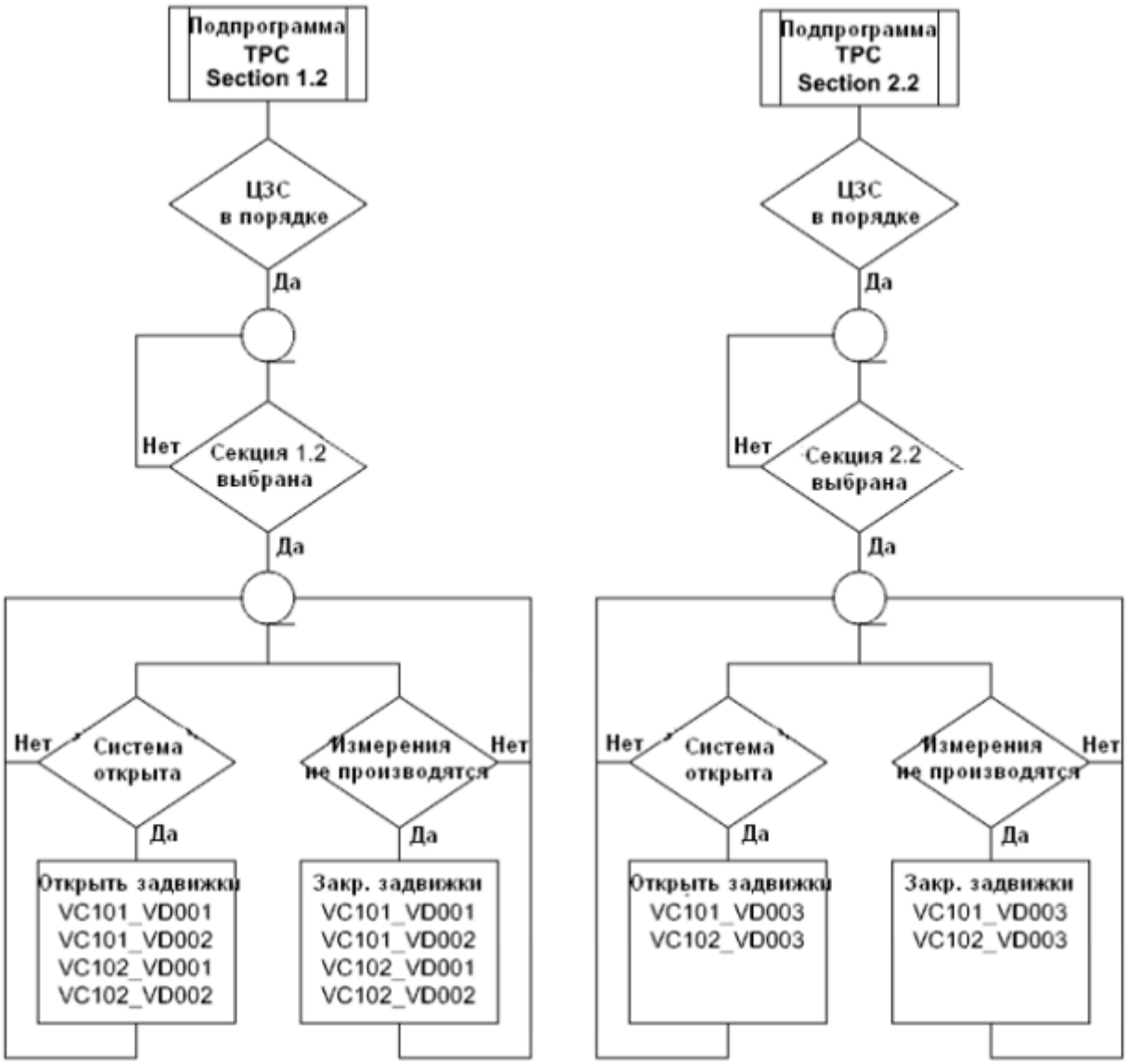


Рисунок В.33 – Алгоритмы управления секциями 1.2 и 2.2
“TPC Section 1.2”, “TPC Section 2.2”

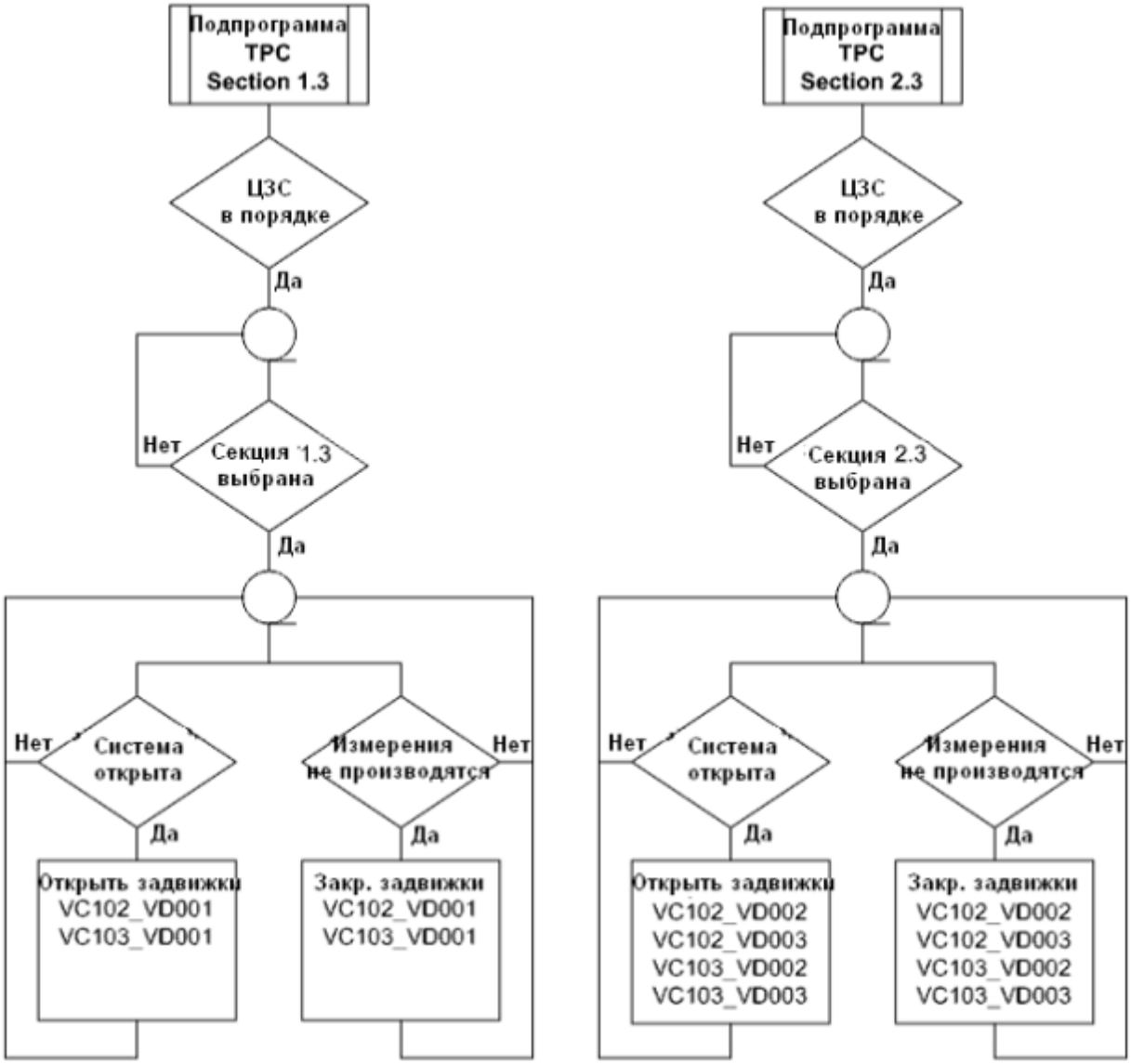


Рисунок В.34 – Алгоритмы управления секциями 1.3 и 2.3
“TPC Section 1.3”, “TPC Section 2.3”

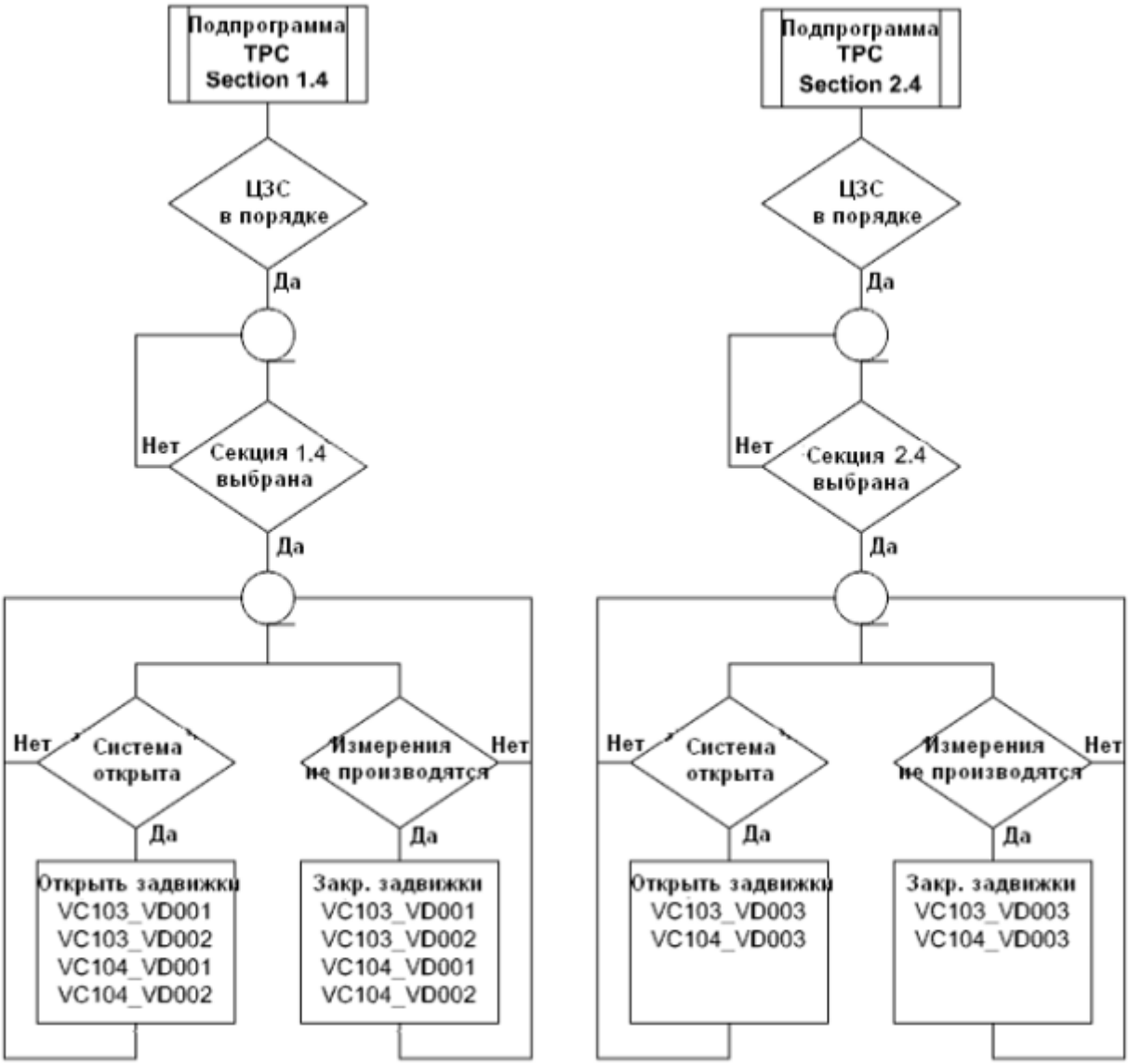


Рисунок В.35– Алгоритмы управления секциями 1.4 и 2.4
“TPC Section 1.4”, “TPC Section 2.4”

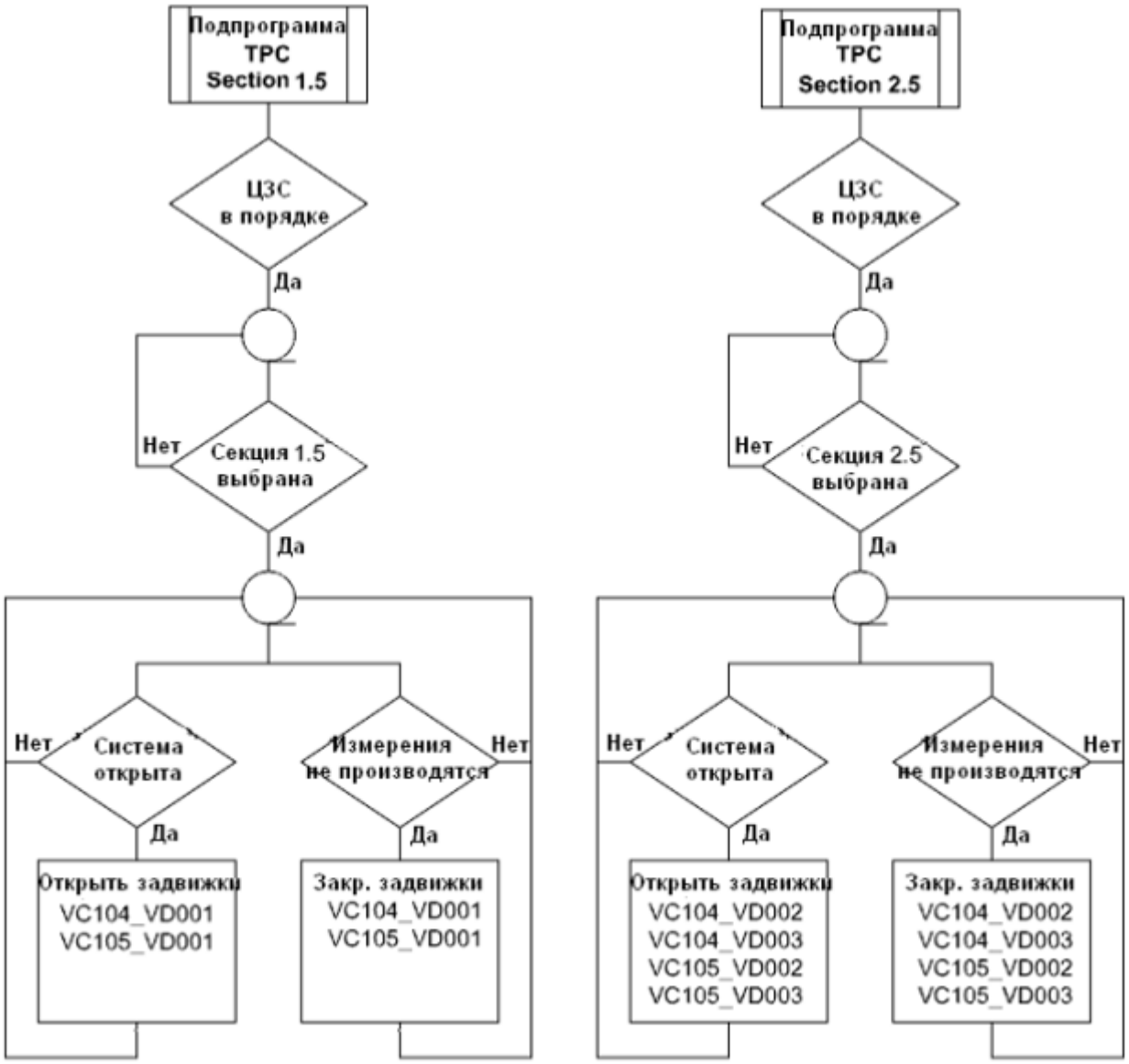


Рисунок В.36 – Алгоритмы управления секциями 1.5 и 2.5
“TPC Section 1.5”, “TPC Section 2.5”

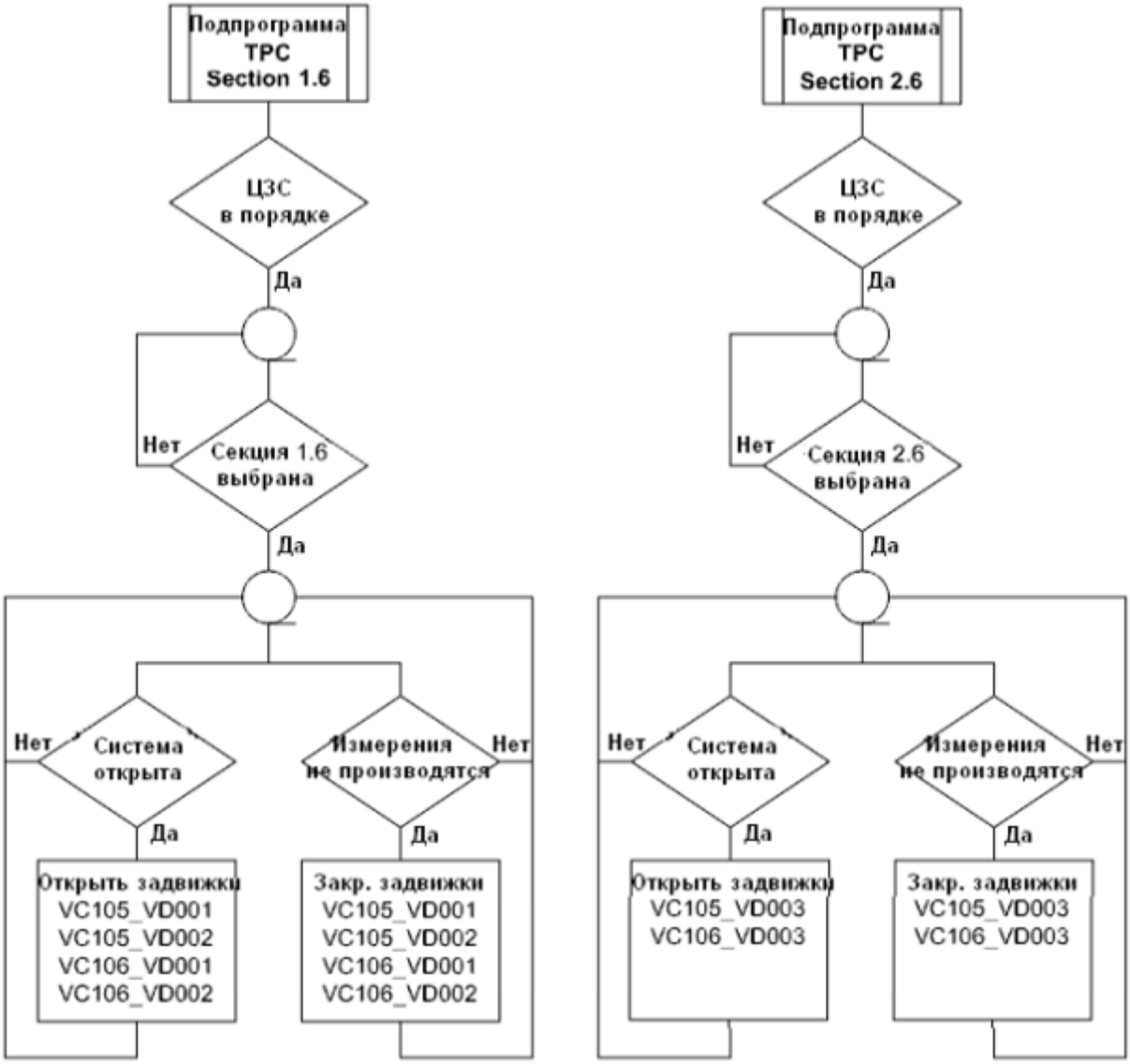


Рисунок В.37– Алгоритмы управления секциями 1.6 и 2.6
“TPC Section 1.6”, “TPC Section 2.6”

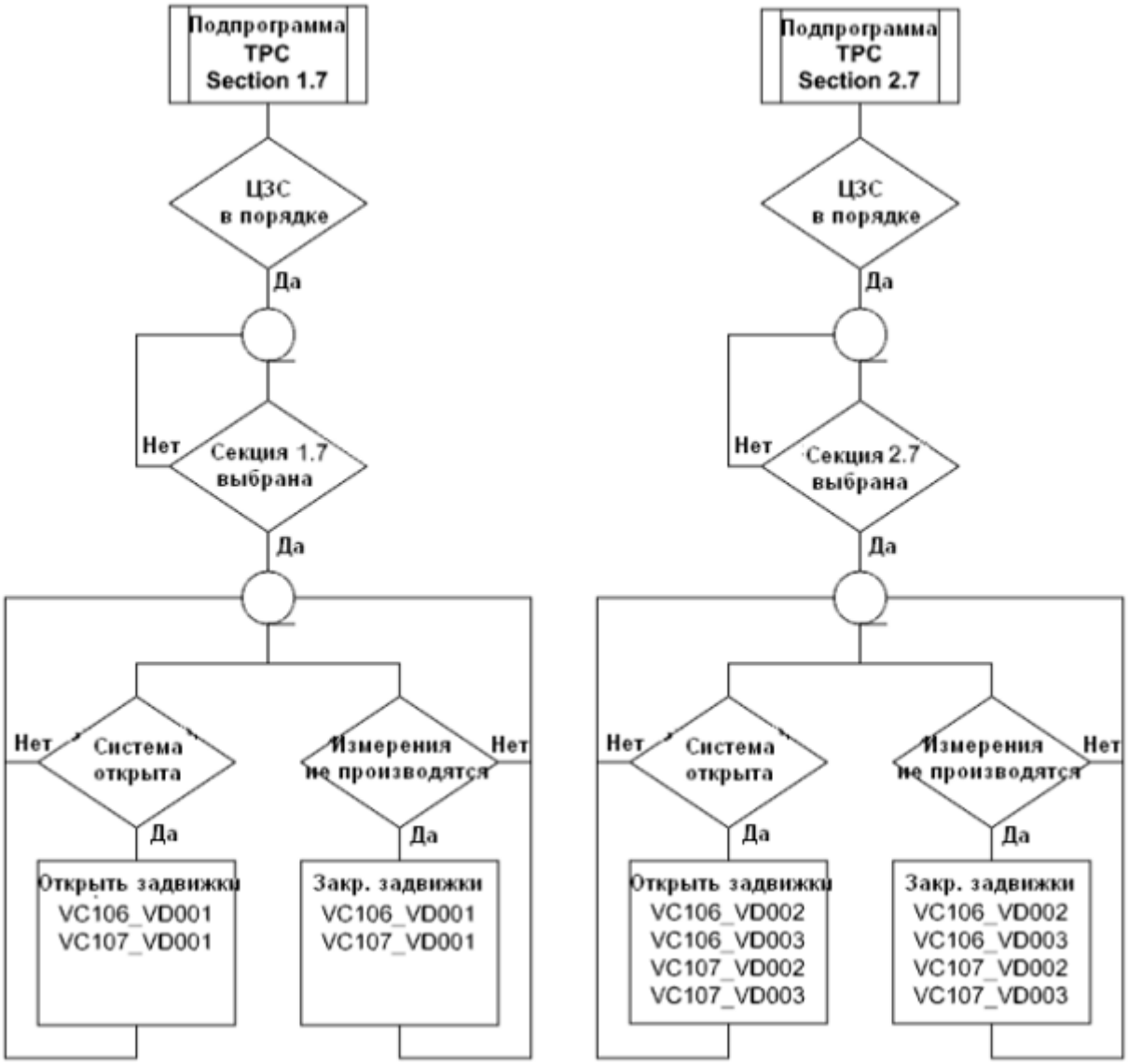


Рисунок В.38 – Алгоритмы управления секциями 1.7 и 2.7
“TPC Section 1.7”, “TPC Section 2.7”

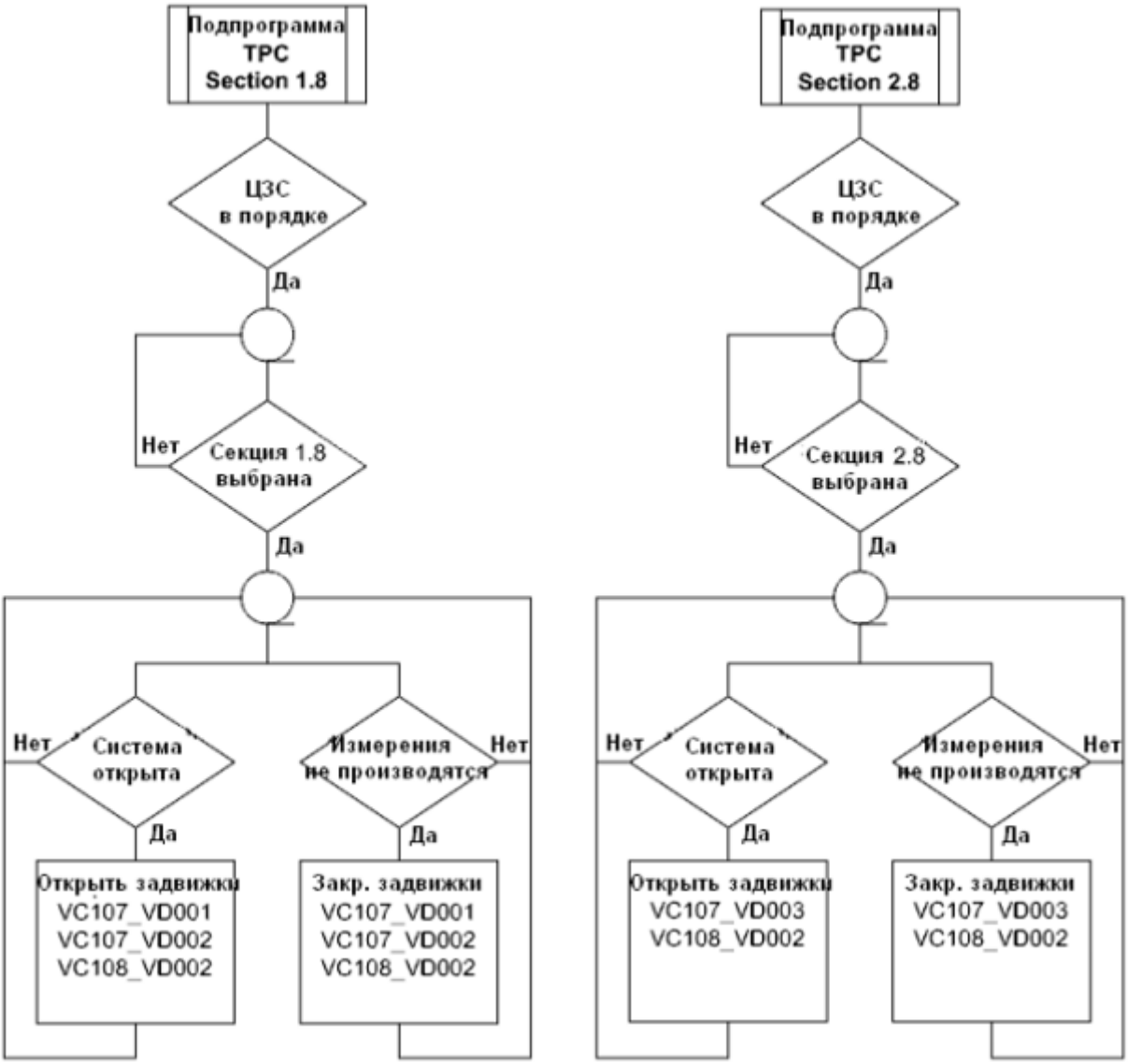


Рисунок В.39 – Алгоритмы управления секциями 1.8 и 2.8
“TPC Section 1.8”, “TPC Section 2.8”

Таблица В.4 – Задвижки, которые соответствуют секциям ЦЗС. Выделенные задвижки должны открываться и закрываться в соответствии с алгоритмами управления, представленными выше на рисунках

Задвижки	Секции															
	1.1	2.1	1.2	2.2	1.3	2.3	1.4	2.4	1.5	2.5	1.6	2.6	1.7	2.7	1.8	2.8
VC101_VD001	■		■													
VC101_VD003		■	■													
VC101_VD001		■		■												
VC102_VD001			■		■											
VC102_VD003			■			■										
VC101_VD001				■		■										
VC103_VD001					■		■									
VC103_VD003						■	■									
VC103_VD001						■		■								
VC104_VD001							■		■							
VC104_VD003							■			■						
VC104_VD001								■		■						
VC105_VD001									■		■					
VC105_VD003										■	■					
VC105_VD001										■		■				
VC106_VD001											■		■			
VC106_VD003											■			■		
VC106_VD001												■		■		
VC107_VD001																
VC107_VD003													■		■	
VC107_VD001														■	■	
														■		■
VC108_VD002																
															■	■
SysIN_VD001	■															
SysIN_VD002		■														

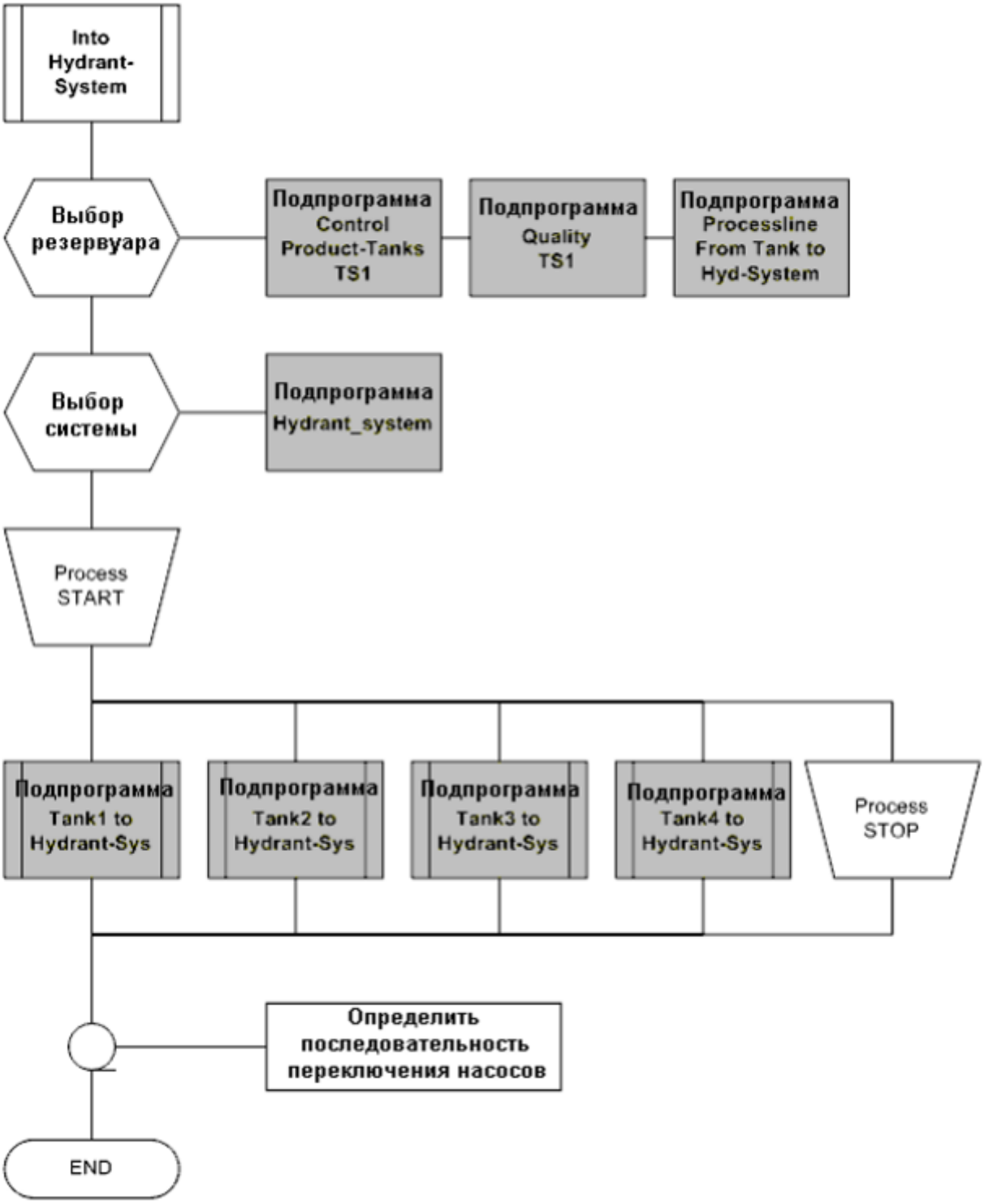


Рисунок В.40 – Основной алгоритм гидрантной системы TS1 “Into Hydrant-System”

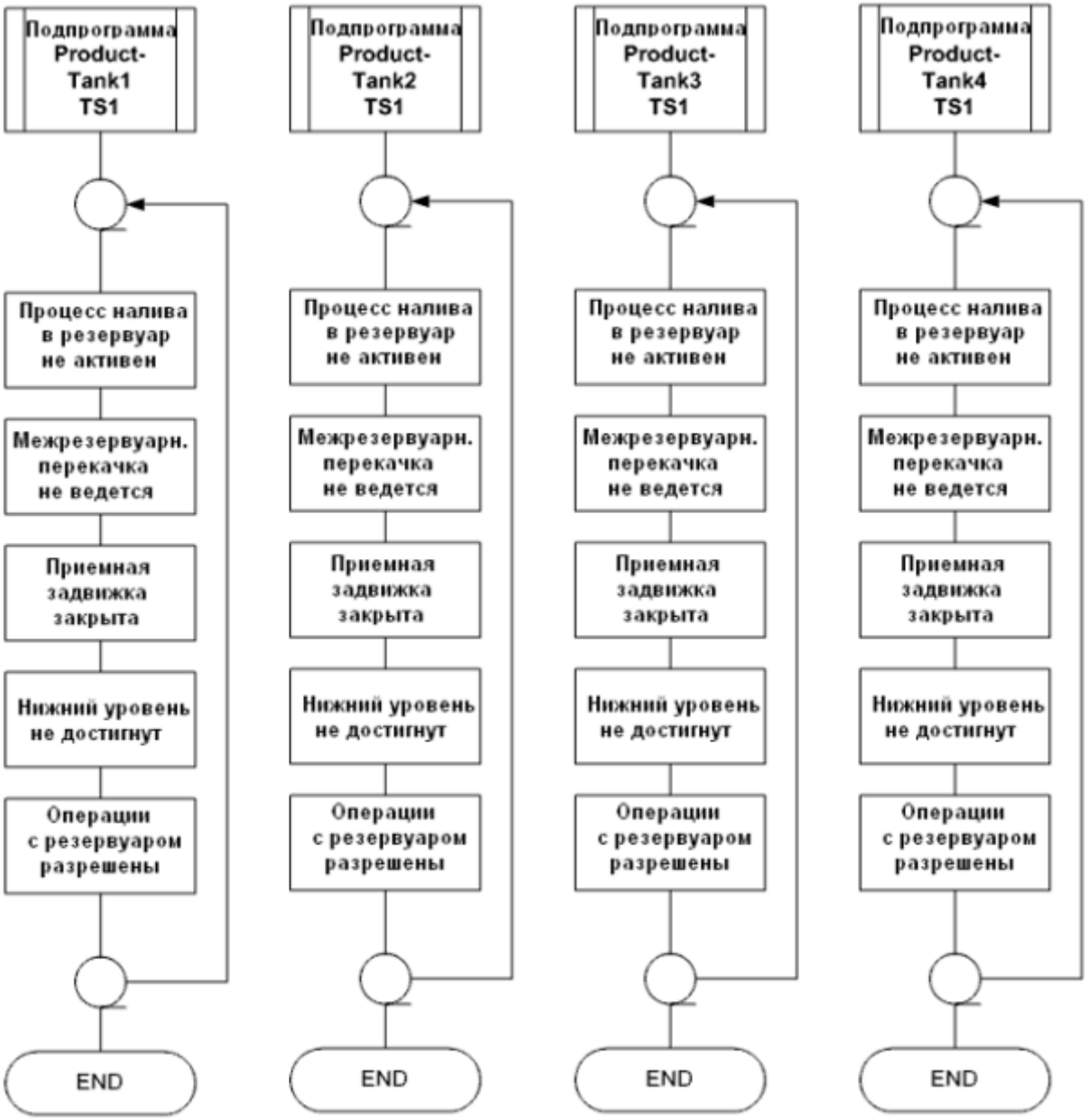


Рисунок В.41 – Алгоритмы контроля резервуаров
Product-Tank 1 TS1", "Product-Tank2 TS1", "Product-Tапк3 TS1"
"Product-Tank4 TS1"

Примечание: Операции с резервуаром разрешены, если уровнемер исправен, сигнализатор переполнения не запрещает откачку, контроль достижения крайнего нижнего уровня в порядке, операции с резервуаром разрешены оператором.

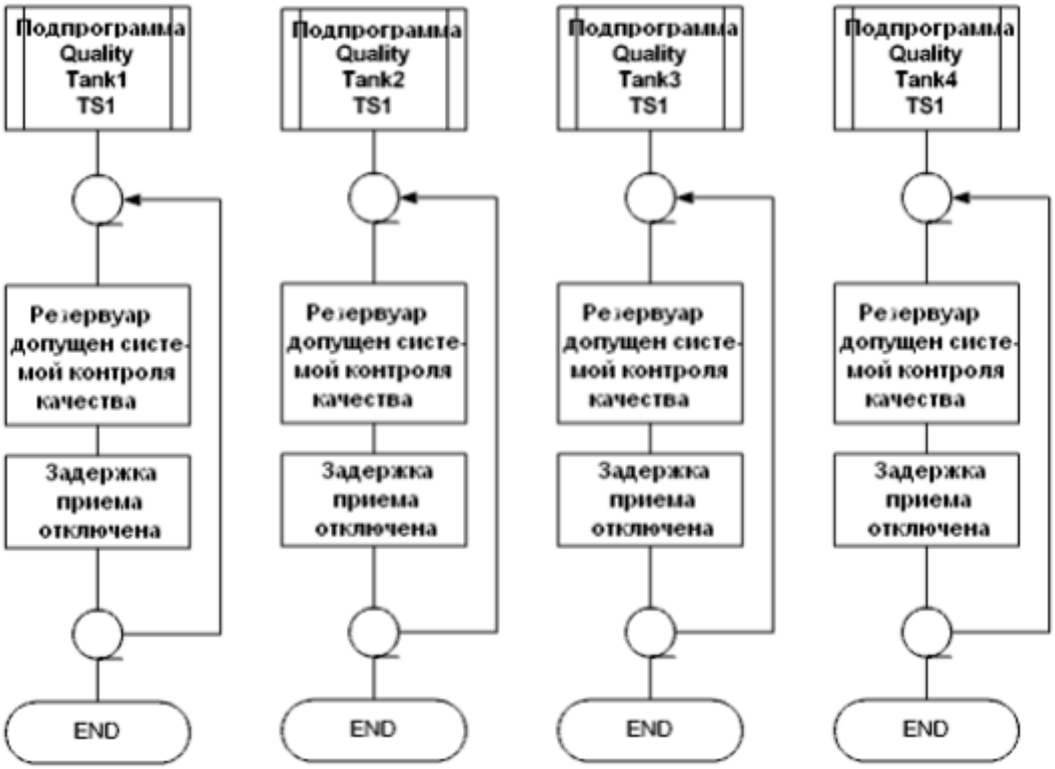


Рисунок В.42 – Алгоритмы контроля качества в резервуарах “Quality Tankl TS1”, “Quality Tank2 TS1”, “Quality Tank3 TS1”, “Quality Tank4TSl”

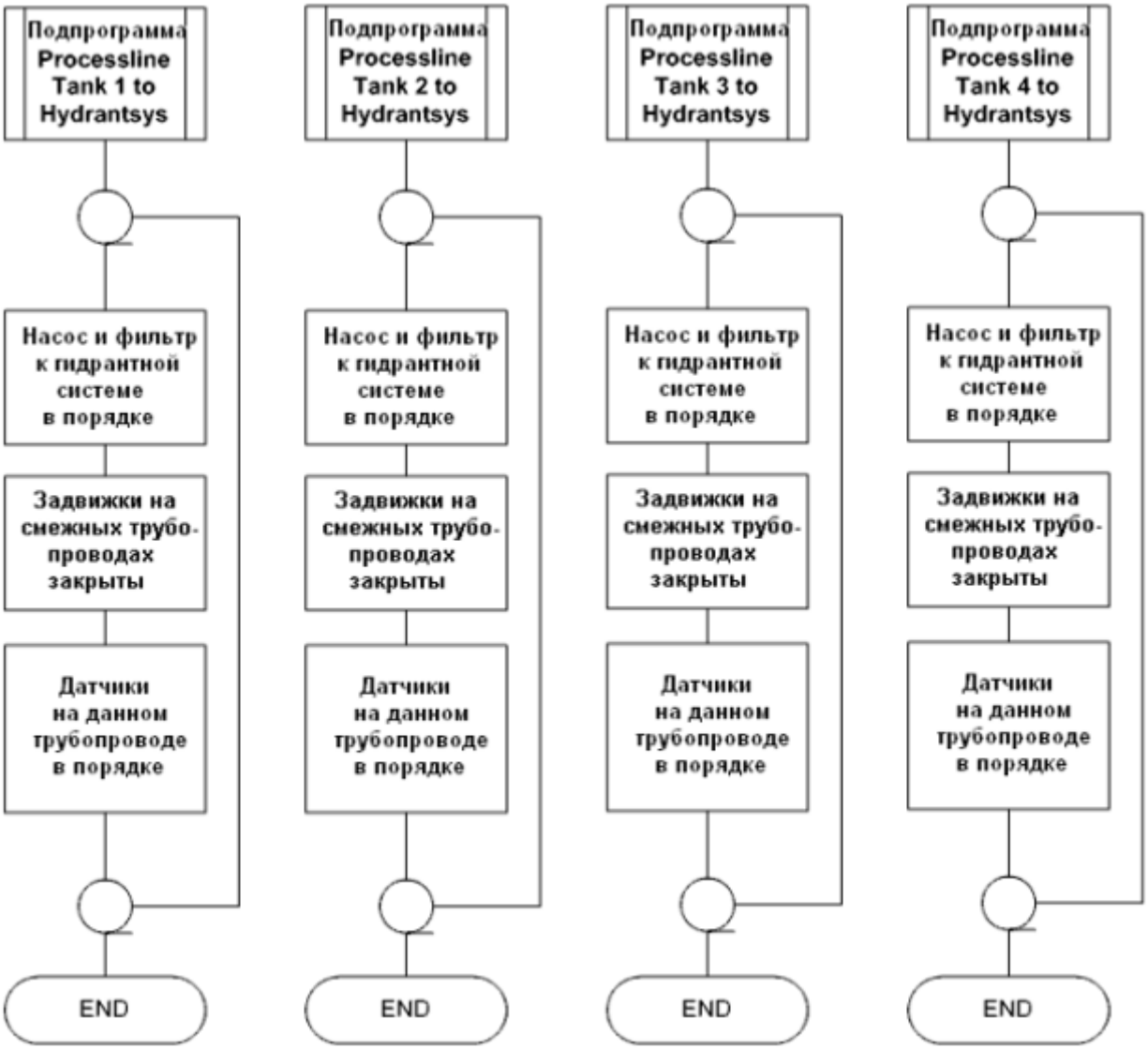


Рисунок В.43 – Алгоритм проверки трубопровода к гидрантной системе “Processline Tank 1 to Hydrantsys”, “Processline Tank2 to Hydrantsys”, “Processline Tank3 to Hydrantsys”,“Processline Tank4 to Hydrantsys”

Примечания к рисунку В.43:

1) Насос и фильтр к гидрантной системе в порядке, если: - операции с насосом разрешены,

- насос готов (нет ошибок),
- частотный преобразователь в порядке,
- гаситель в порядке,
- температура корпуса в норме,
- температура подшипников в норме,
- защита от сухого пуска в порядке,

- панель оперативного останова в порядке,
- противоаварийная блокировка оборудования в порядке,
- датчик разности давлений в порядке,
- датчик утечек в порядке,
- соленоидный клапан исправен,
- контроллер MFX 4 готов.

2) К задвижкам на смежных трубопроводах относятся задвижки между резервуарами, выходная задвижка резервуара, клапан герметичности.

Рисунок В.44 – Алгоритм гидрантной системы “Hydrant-system”

Примечание: Задвижки гидрантной системы готовы, если они переключены на местное управление и открыты или переключены на дистанционное управление и сигнализируют о готовности.

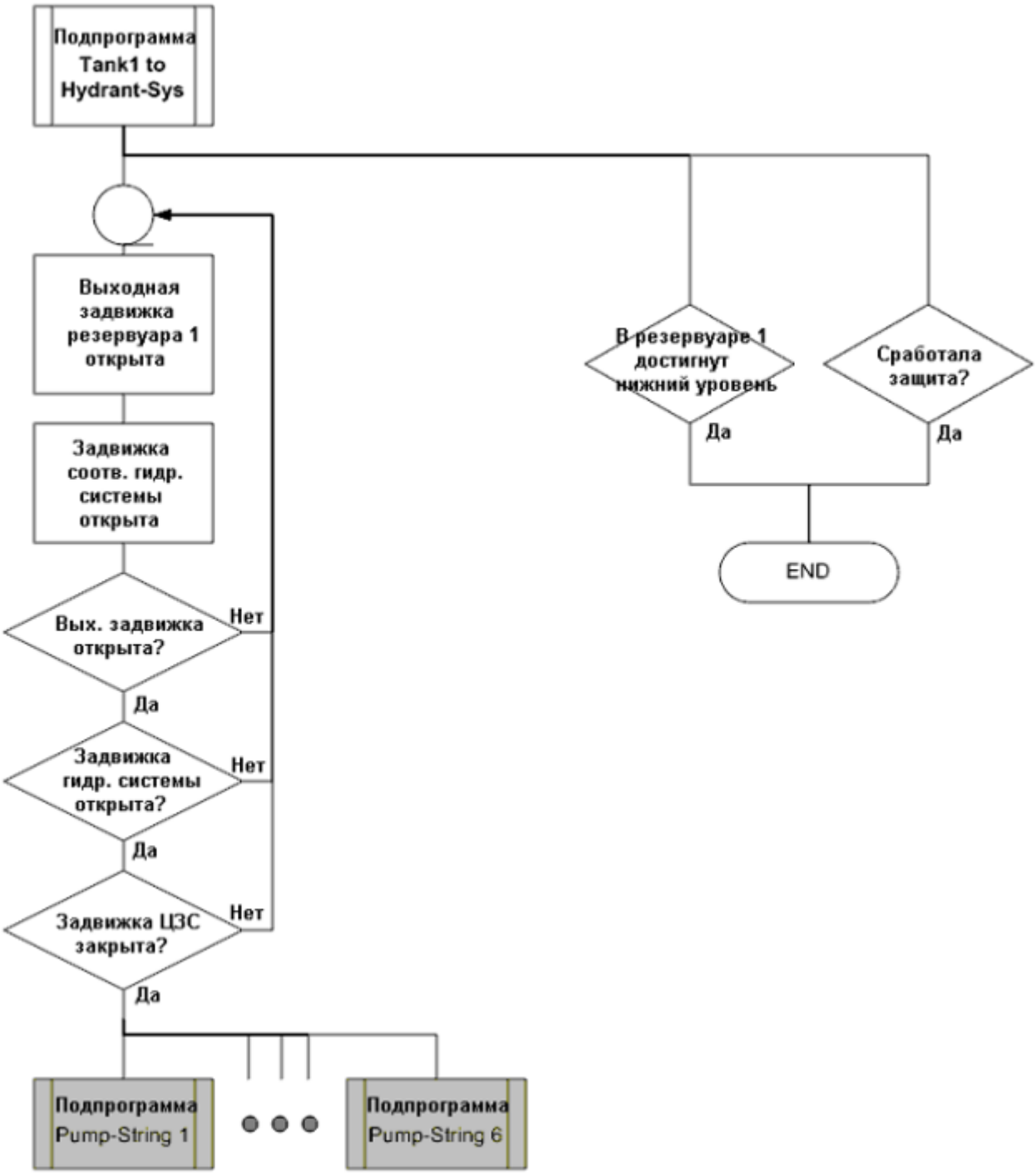


Рисунок В.45 – Алгоритм открытия задвижек при откачке из резервуара “Tankl to Hydrant-Sys”

Рисунок В.46 – Алгоритм подготовки насоса “Hydrant-system pumpstring”

Примечание: Оборудование насоса в порядке, если:

- операции с насосом разрешены,
- насос готов (нет ошибок),
- частотный преобразователь в порядке,

- гаситель в порядке,
- температура корпуса в норме,
- температура подшипников в норме,

- защита от сухого пуска в порядке,
- панель оперативного останова в порядке,
- противоаварийная блокировка оборудования в порядке,
- датчик разности давлений в порядке,
- датчик утечек в порядке,
- соленоидный клапан исправен,
- контроллер MFX 4 готов.

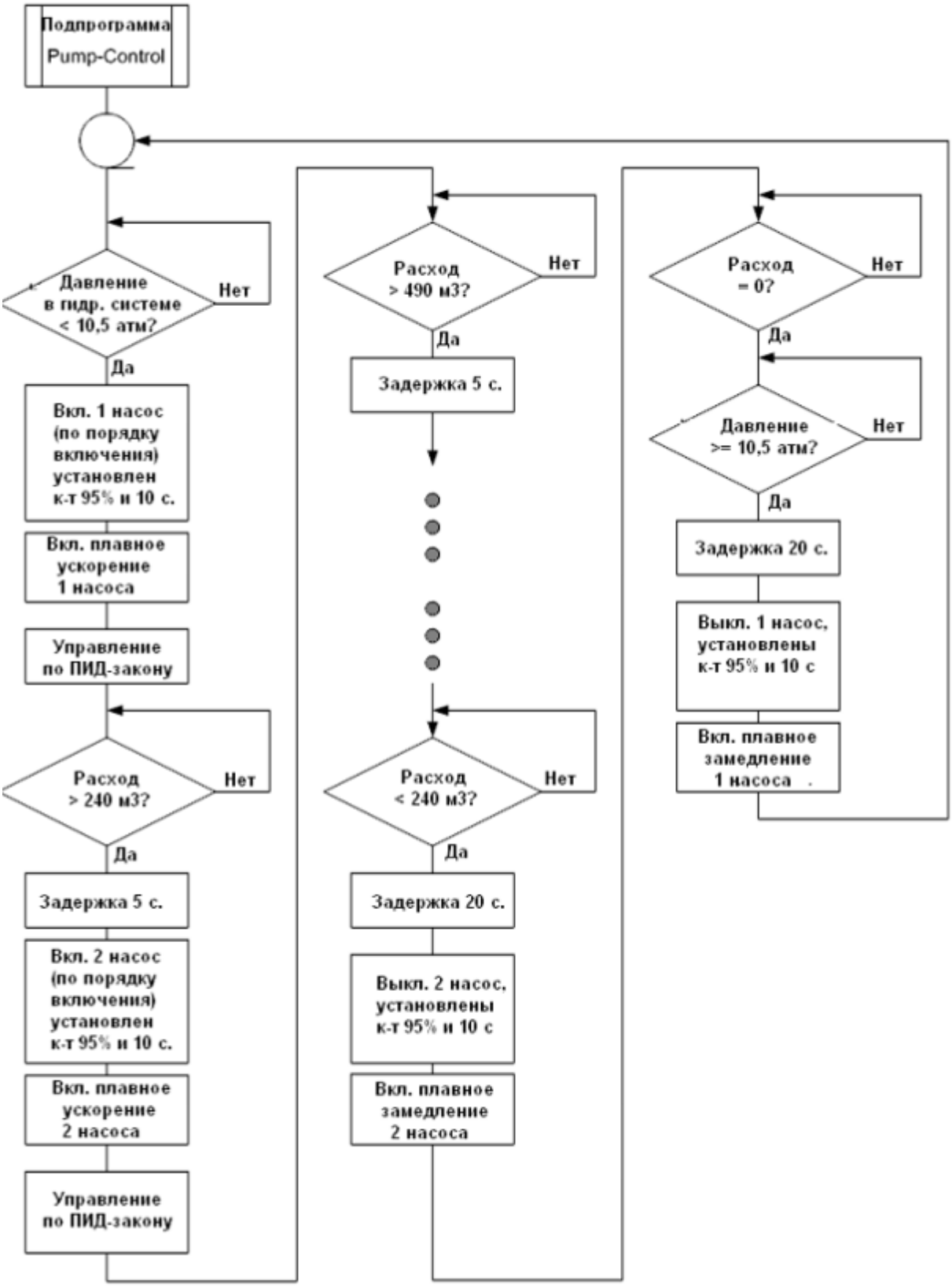


Рисунок В.47 – Алгоритм контроля насосов “Pump-Control”

Примечание: для управления насосами используется ПИД-закон регулирования, для гидрантной системы - ПД-закон.

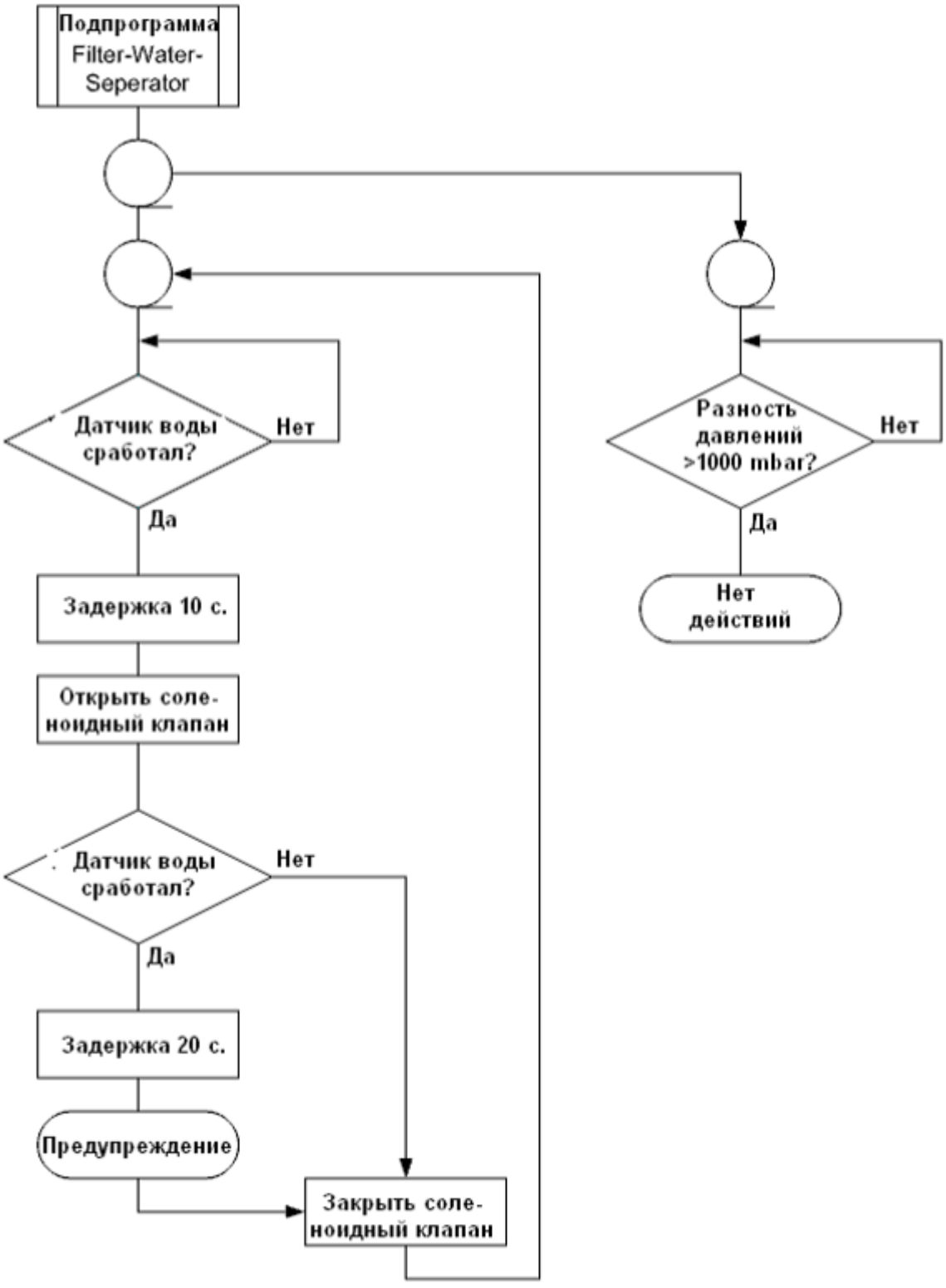


Рисунок В.48 – Алгоритм управления фильтром-водоотделителем “Filter-Water-Separator”

Примечание: Датчик воды срабатывает, если он определяет наличие воды более, чем 3 раза за минуту.

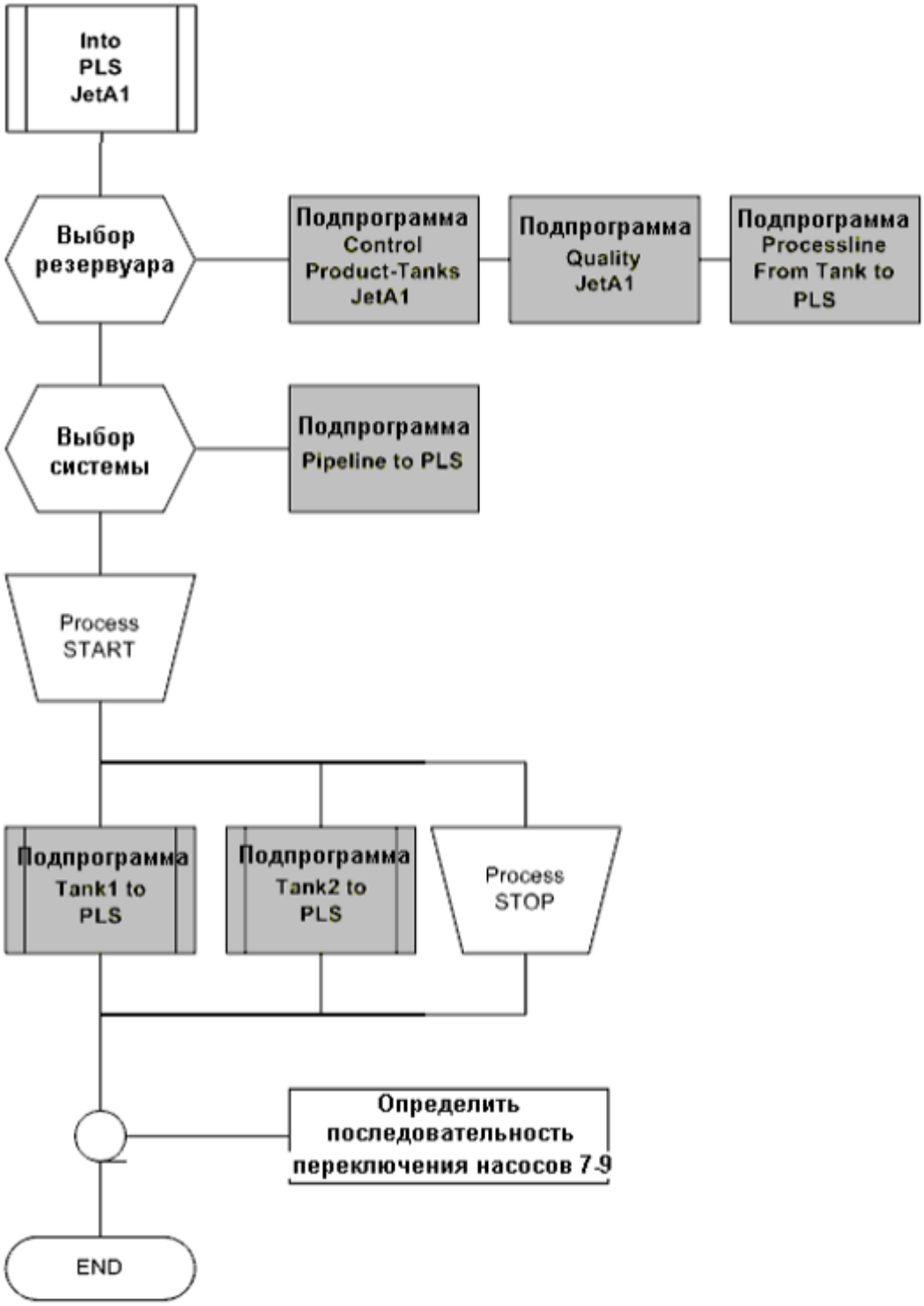


Рисунок В.49 – Основной алгоритм насосной станции ППН JetA 1
“Into PLS JetAl”

Примечание: Последовательность переключения насосов рассчитывается, исходя из количества наработанных ими часов. Насос с наименьшим количеством часов ставится первым в очереди на включение.

Рисунок В.50 – Алгоритмы контроля резервуаров
“Product-Tank 1 JetAl”, “Product-Tank2 JetAl”

Примечание: Операции с резервуаром разрешены, если уровнемер исправен, сигнализатор переполнения не запрещает откачку, контроль достижения крайнего нижнего уровня в порядке, операции с резервуаром разрешены оператором.

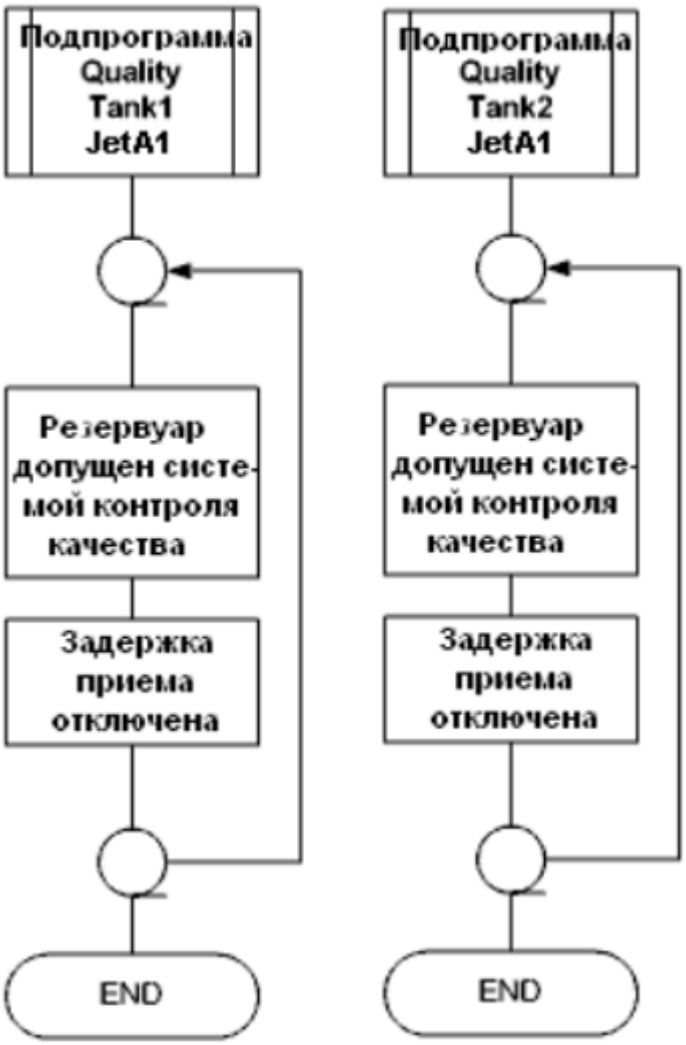


Рисунок В.51 – Алгоритмы контроля качества в резервуарах “Quality Tankl JetAl”, “Quality Tank2 JetAl”

Рисунок В.52 – Алгоритм проверки трубопровода к гидрантной системе “Processline Tankl to PLS”, “Processline Tank2 to PLS”

Примечания: 1) Насос и фильтр в сторону ППН в порядке, если:

- операции с насосом разрешены,
- насос готов (нет ошибок),
- частотный преобразователь в порядке,
- гаситель в порядке,
- температура корпуса в норме,
- температура подшипников в норме,
- защита от сухого пуска в порядке,
- панель оперативного останова в порядке,

- противоаварийная блокировка оборудования в порядке,
- датчик разности давлений в порядке,
- датчик утечек в порядке,
- соленоидный клапан исправен,
- контроллер MFX 4 готов.

2) К задвижкам на смежных трубопроводах относятся задвижки между резервуарами, выходная задвижка резервуара, клапан герметичности.

Рисунок В.53 – Алгоритм контроля трубопровода
“Pipeline to PLS”

Примечание: Задвижки гидрантной системы готовы, если они переключены на местное управление и открыты или переключены на дистанционное управление и сигнализируют о готовности.

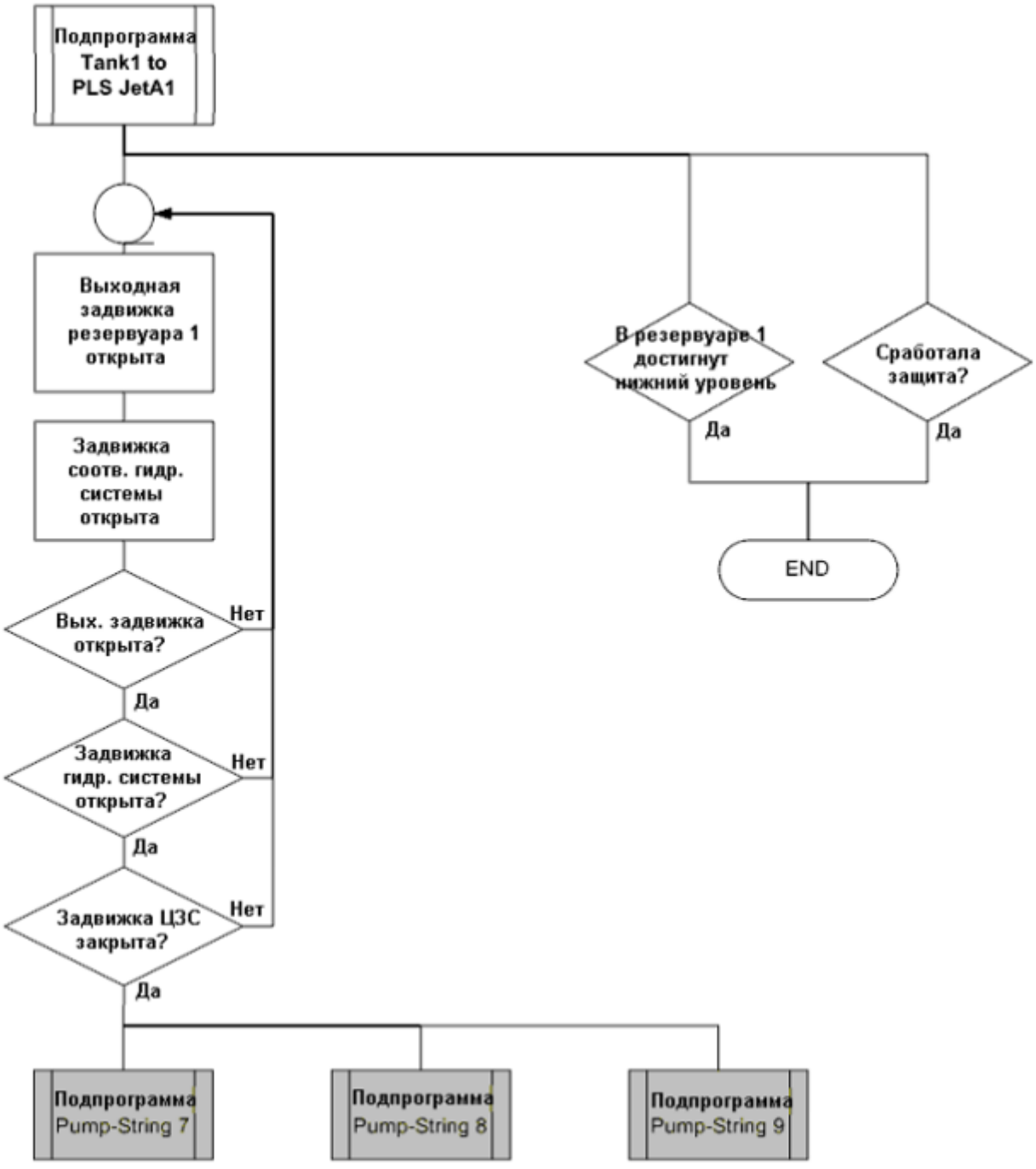


Рисунок В.54 – Алгоритм перекачки из резервуара в ППН “Tankl to PLS JetAl”

Рисунок В.55 – Алгоритм подготовки насоса “PLS JetA 1 pumpstring”

Примечание: Оборудование насоса в порядке, если операции с насосом разрешены, насос готов (нет ошибок), частотный преобразователь в порядке, гаситель в порядке, температура корпуса в норме, температура подшипников в норме, защита от сухого пуска в порядке, панель оперативного останова в порядке, противоаварийная

блокировка оборудования в порядке, датчик разности давлений в порядке, датчик утечек в порядке, соленоидный клапан исправен, контроллер MFX_4 готов.

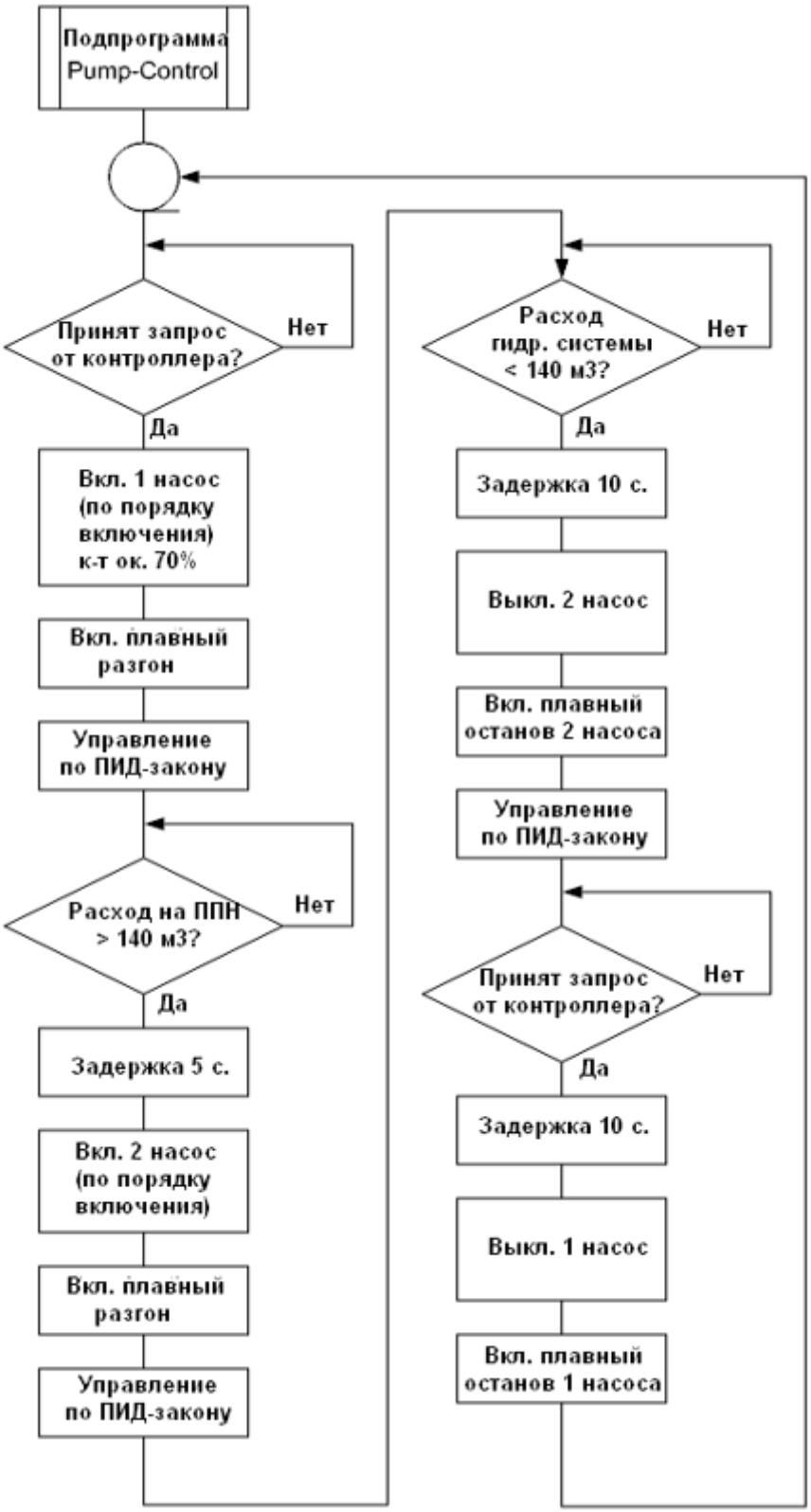


Рисунок В.56 – Алгоритм контроля насосов “Pump-Control”

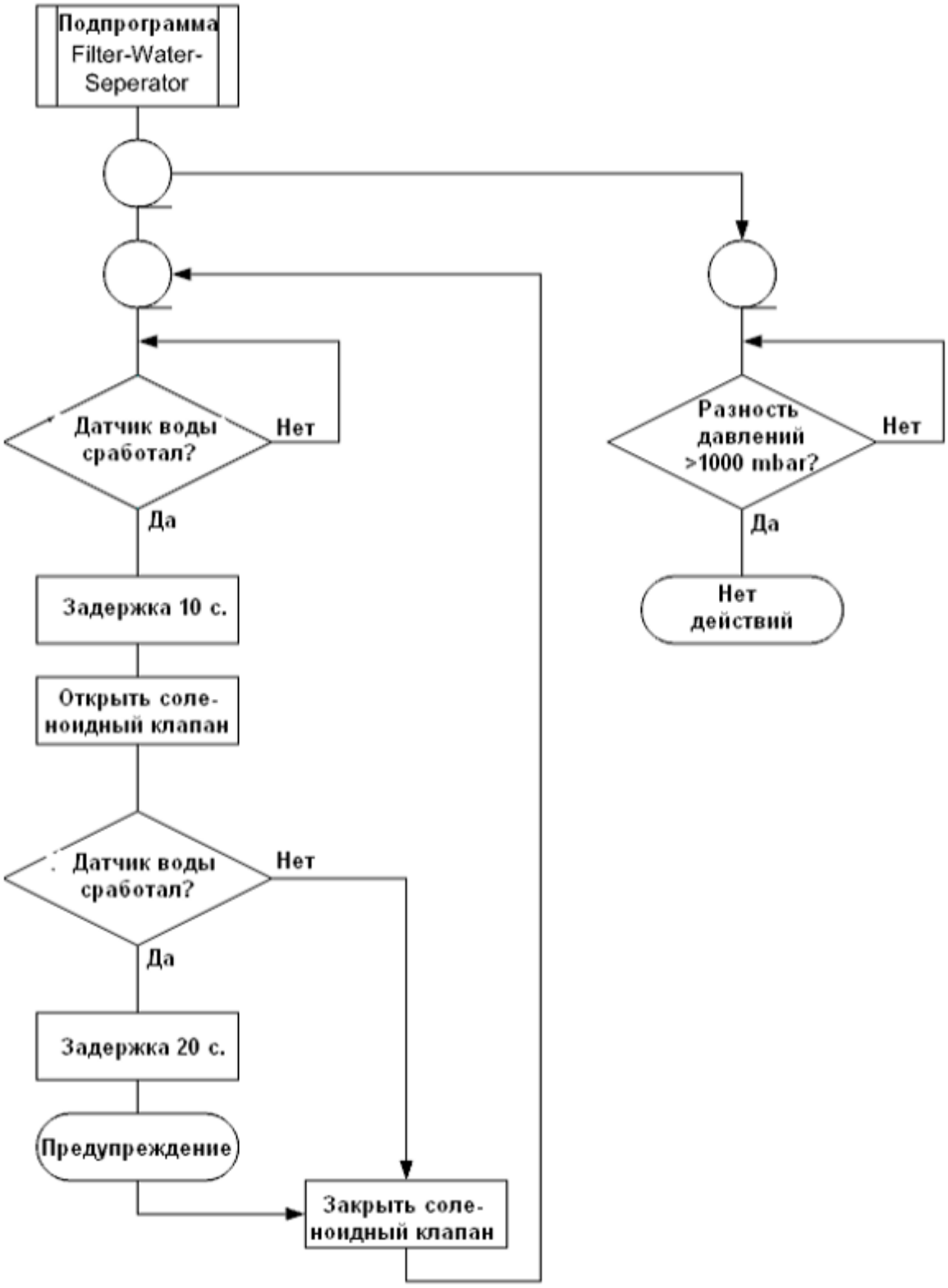


Рисунок В.57 – Алгоритм управления фильтром-водоотделителем “Filter-Water-Separator”

Примечание: Датчик воды срабатывает, если он определяет наличие воды более, чем 3 раза за минуту.

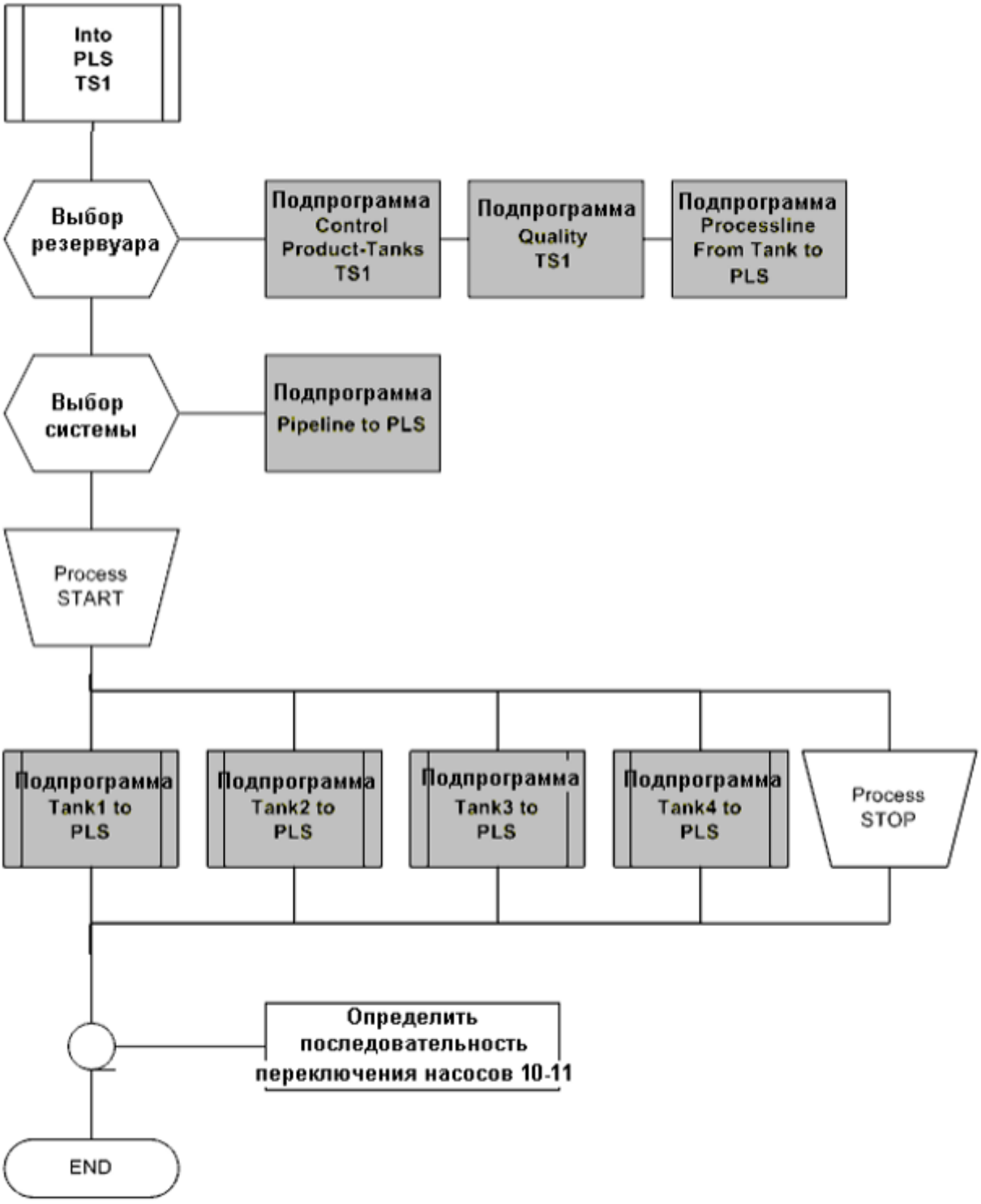


Рисунок В.58 – Основной алгоритм насосной станции ППН TS1
“Into PLS TS1”

Примечание: Последовательность переключения насосов рассчитывается, исходя из количества наработанных ими часов. Насос с наименьшим количеством часов ставится первым в очереди на включение.

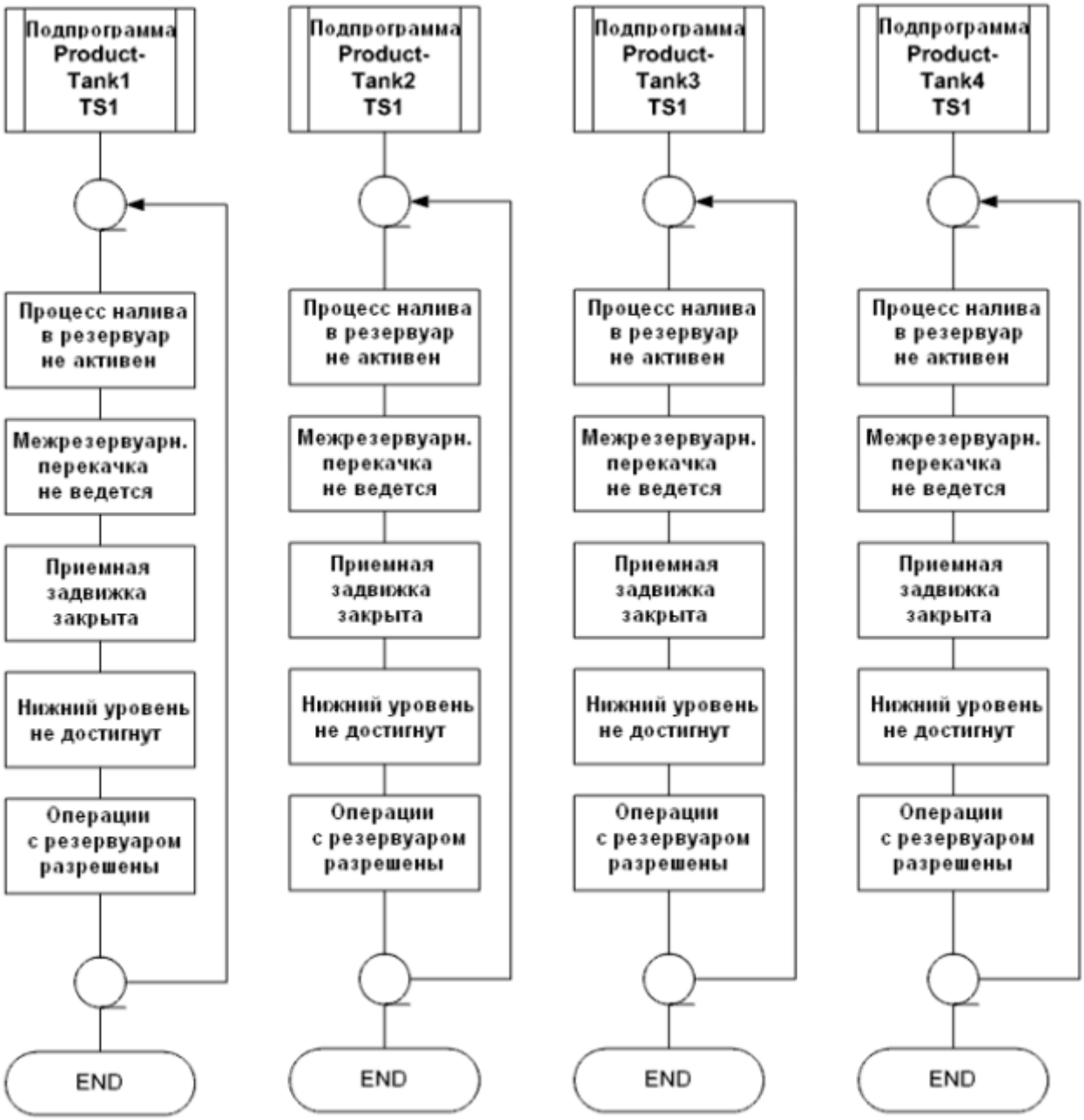


Рисунок В.59 – Алгоритмы контроля резервуаров
“Product-Tank 1 TS1”, “Product-Tank2 TS1”, “Product-Tапк3 TS1
“Product-Tank4 TS1”

Примечание: Операции с резервуаром разрешены, если уровнемер исправен, сигнализатор переполнения не запрещает откачку, контроль достижения крайнего нижнего уровня в порядке, операции с резервуаром разрешены оператором.

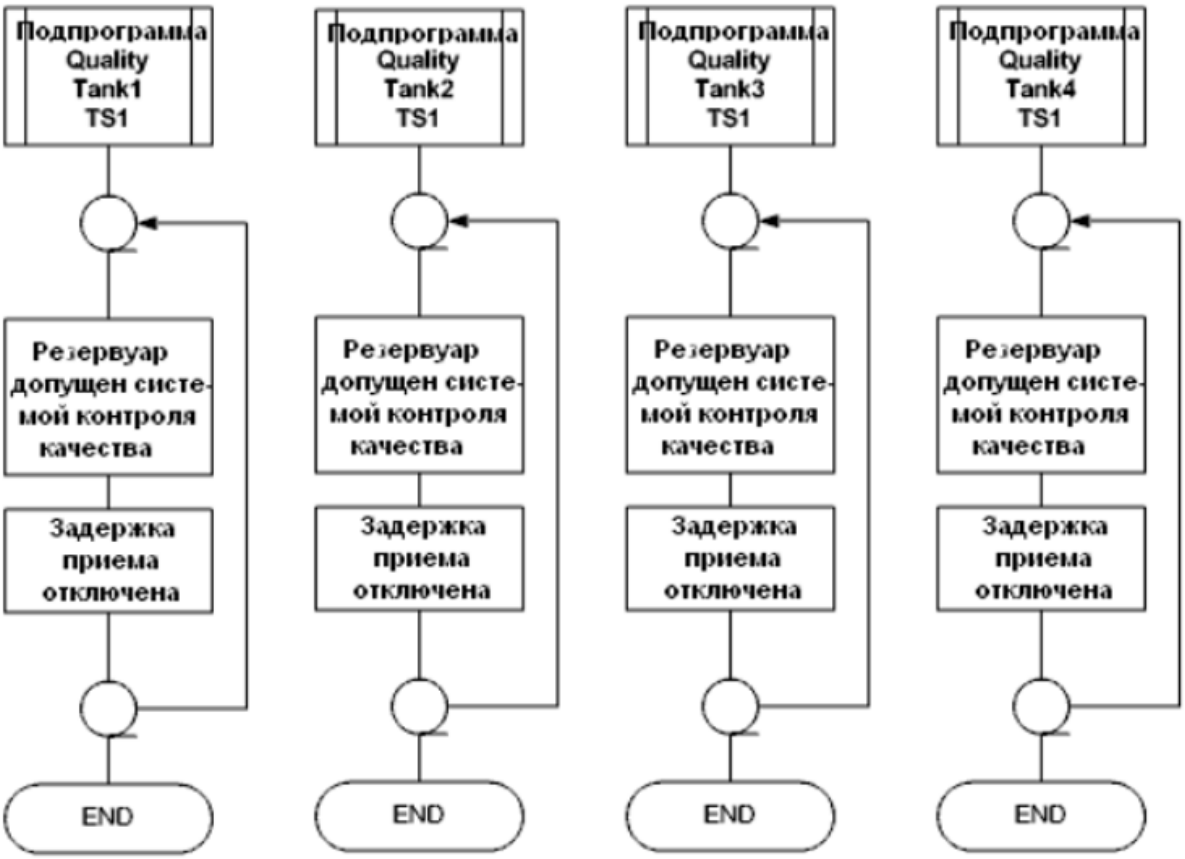


Рисунок В.60 – Алгоритмы контроля качества в резервуарах “Quality Tankl TS1”, “Quality Tank2 TS1”, “Quality Tank3 TS1”, “Quality Tank4 TS1”

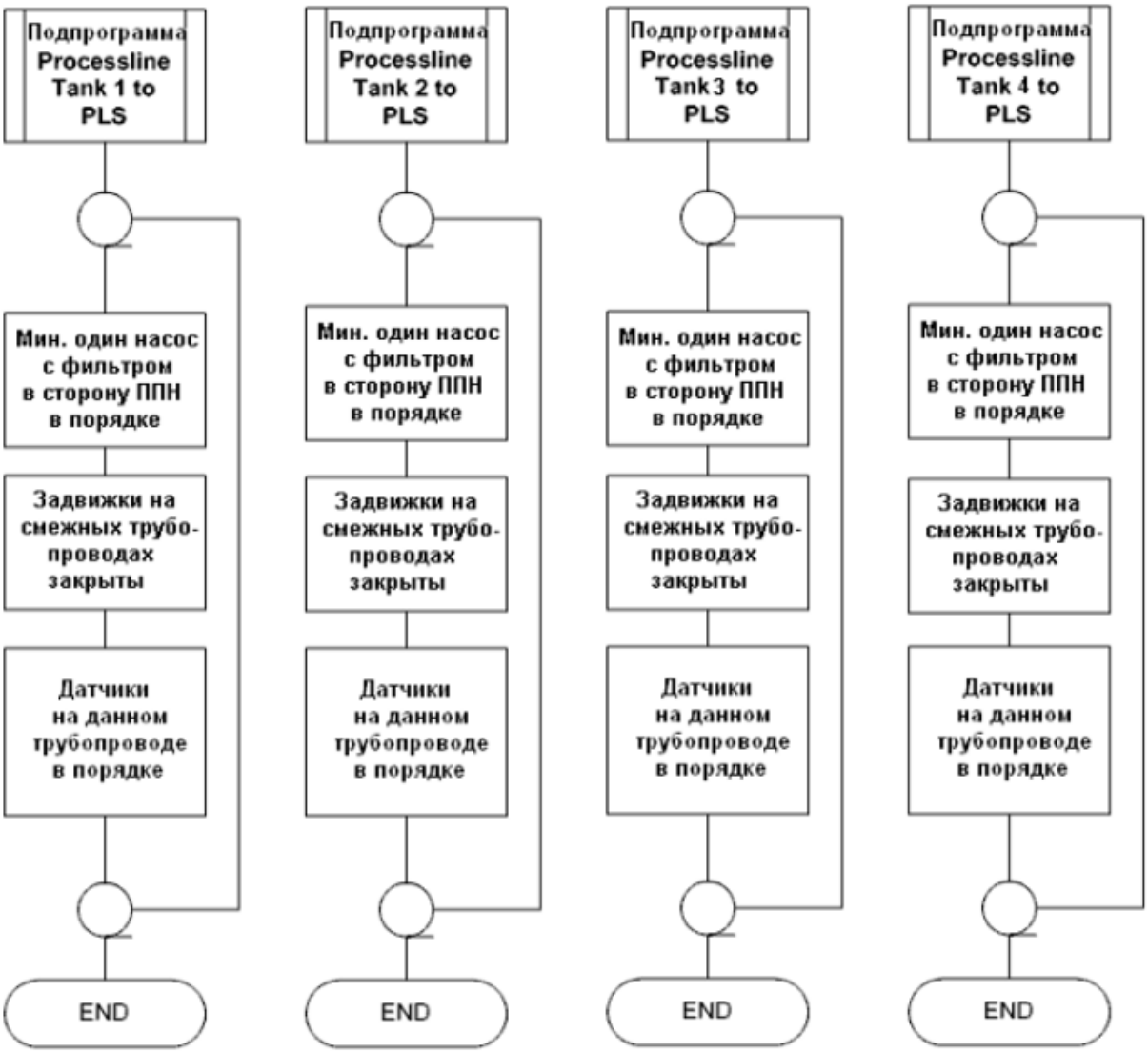


Рисунок В.61 – Алгоритм проверки трубопровода к гидрантной системе “Processline Tankl to PLS”, “Processline Tank2 to PLS”, “Processline Tank3 to PLS, “Processline Tank4 to PLS”

Примечания: 1) Насос и фильтр в сторону ППН в порядке, если:

- операции с насосом разрешены,
- насос готов (нет ошибок),
- частотный преобразователь в порядке,
- гаситель в порядке,
- температура корпуса в норме,
- температура подшипников в норме,
- защита от сухого пуска в порядке,
- панель оперативного останова в порядке,

- противоаварийная блокировка оборудования в порядке,
- датчик разности давлений в порядке,
- датчик утечек в порядке,
- соленоидный клапан исправен,
- контроллер MFX 4 готов.

2) К задвижкам на смежных трубопроводах относятся задвижки между резервуарами, выходная задвижка резервуара, клапан герметичности.

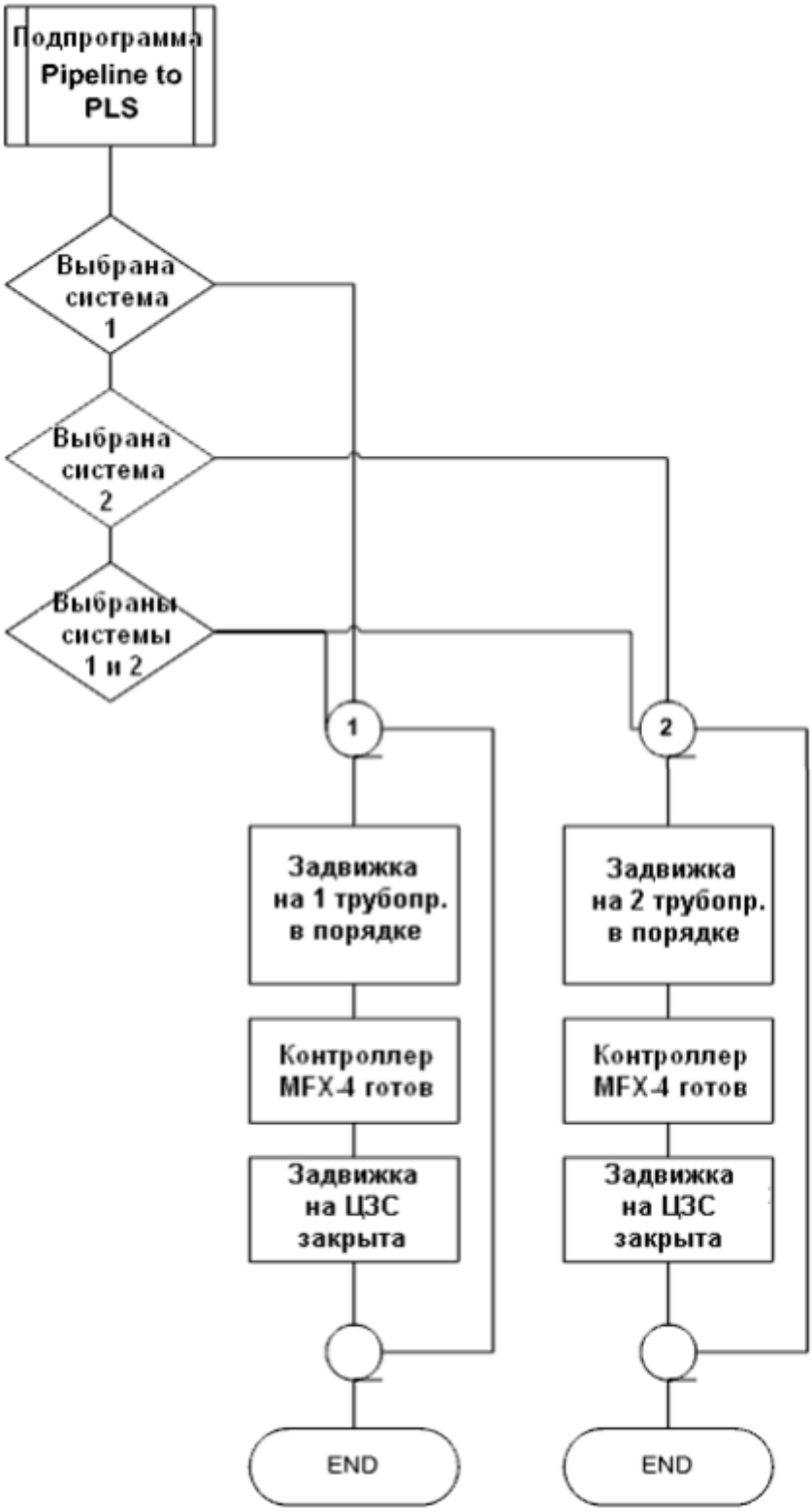


Рисунок В.62 – Алгоритм гидрантной системы “Pipeline to PLS”

Примечание: Задвижки готовы, если они переключены на местное управление и открыты или переключены на дистанционное управление и сигнализируют о готовности.

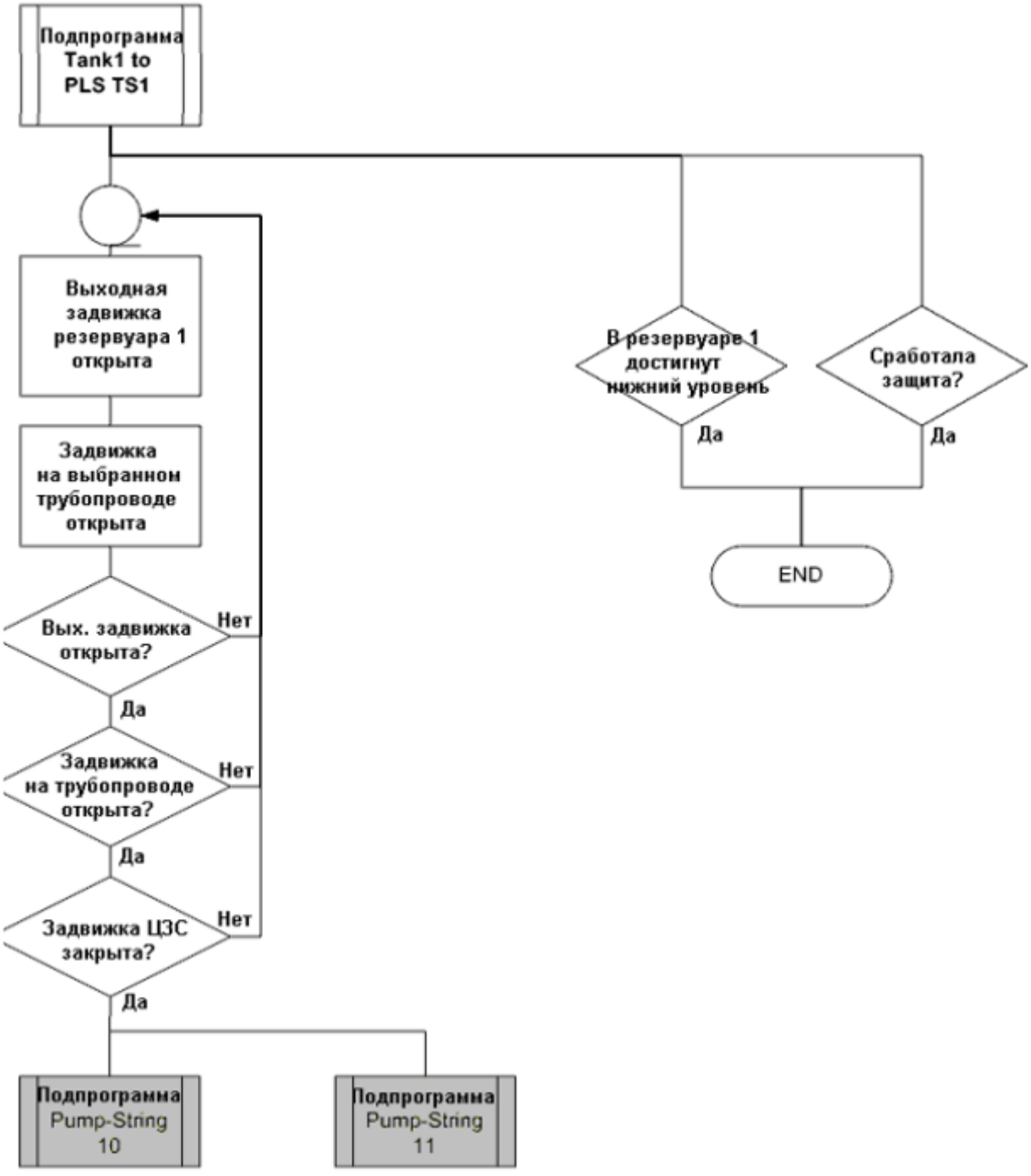


Рисунок В.63 – Алгоритм перекачки из резервуара в ППН “Tankl to PLS TS1”

Рисунок В.64 – Алгоритм подготовки насоса “PLS TS1 pumpstring”

Примечание: Оборудование насоса в порядке, если операции с насосом разрешены, насос готов (нет ошибок), частотный преобразователь в порядке, гаситель в порядке, температура корпуса в норме, температура подшипников в норме, защита от сухого пуска в порядке, панель оперативного останова в порядке, противоаварийная

блокировка оборудования в порядке, датчик разности давлений в порядке, датчик утечек в порядке, соленоидный клапан исправен, контроллер MFX_4 готов.

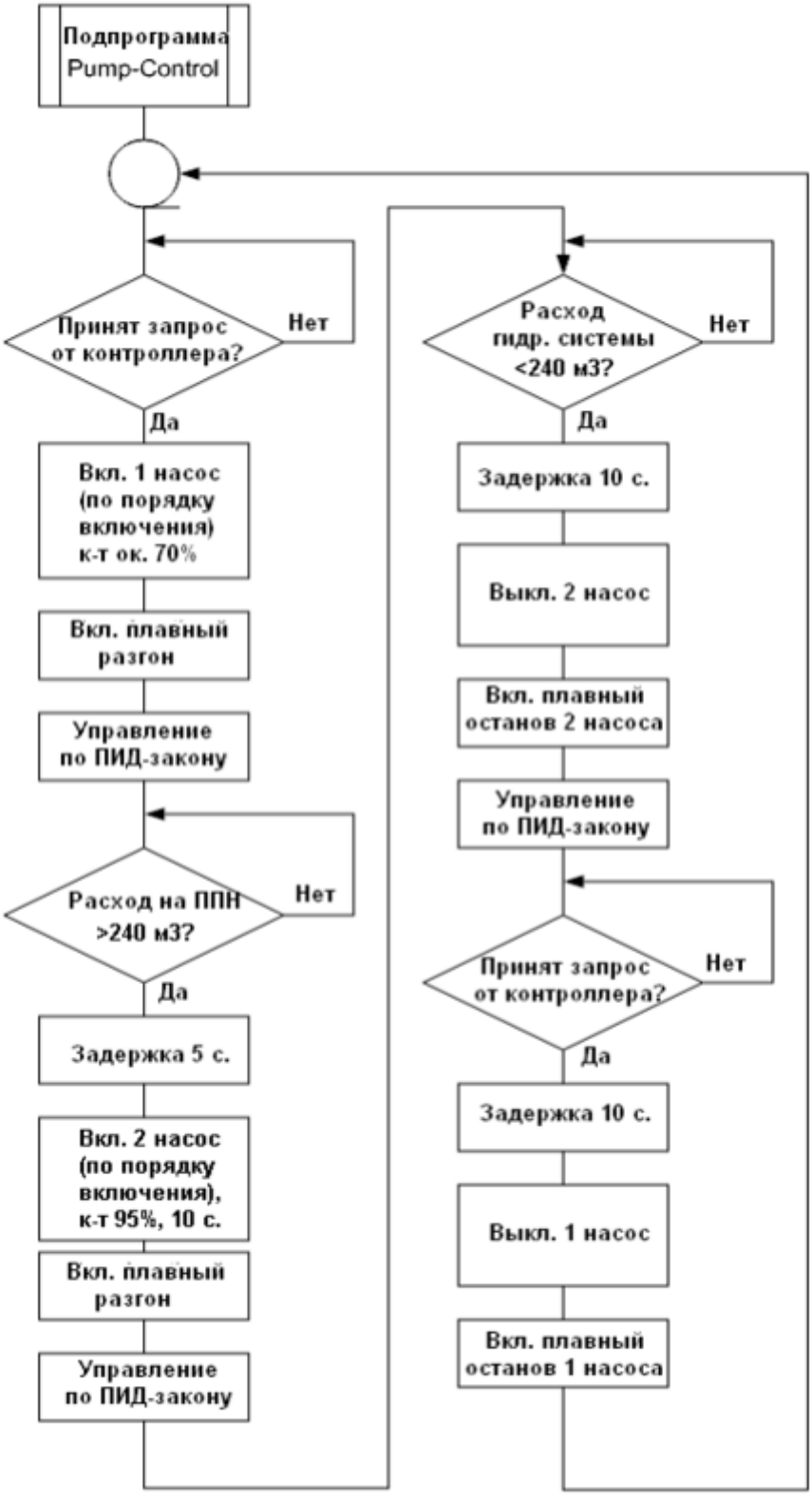


Рисунок В.65 – Алгоритм контроля насосов “Pump-Control”

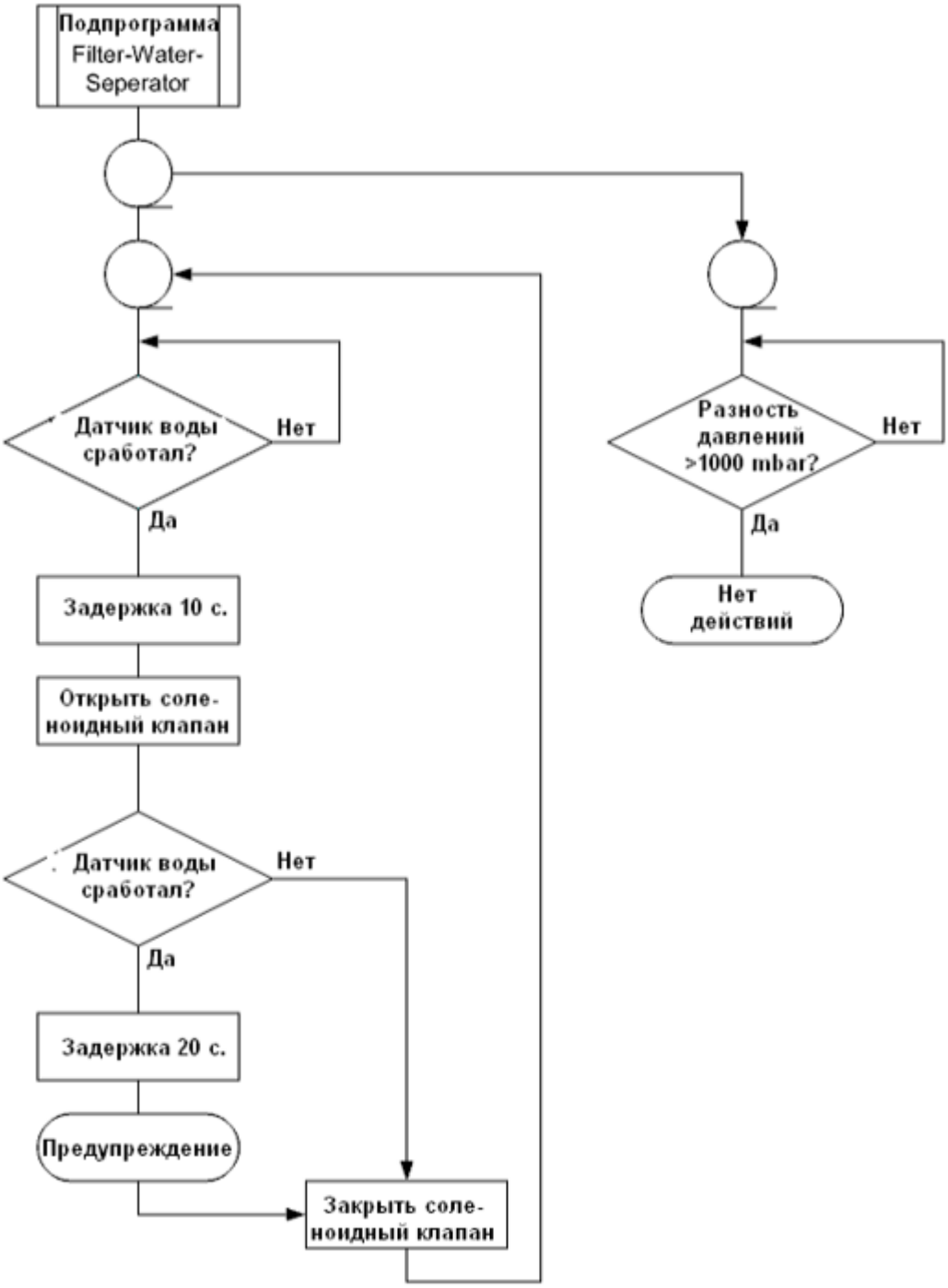


Рисунок В.66 – Алгоритм управления фильтром-водоотделителем “Fi1er-Water-Separator”

Примечание: Датчик воды срабатывает, если он определяет наличие воды более, чем 3 раза за минуту.

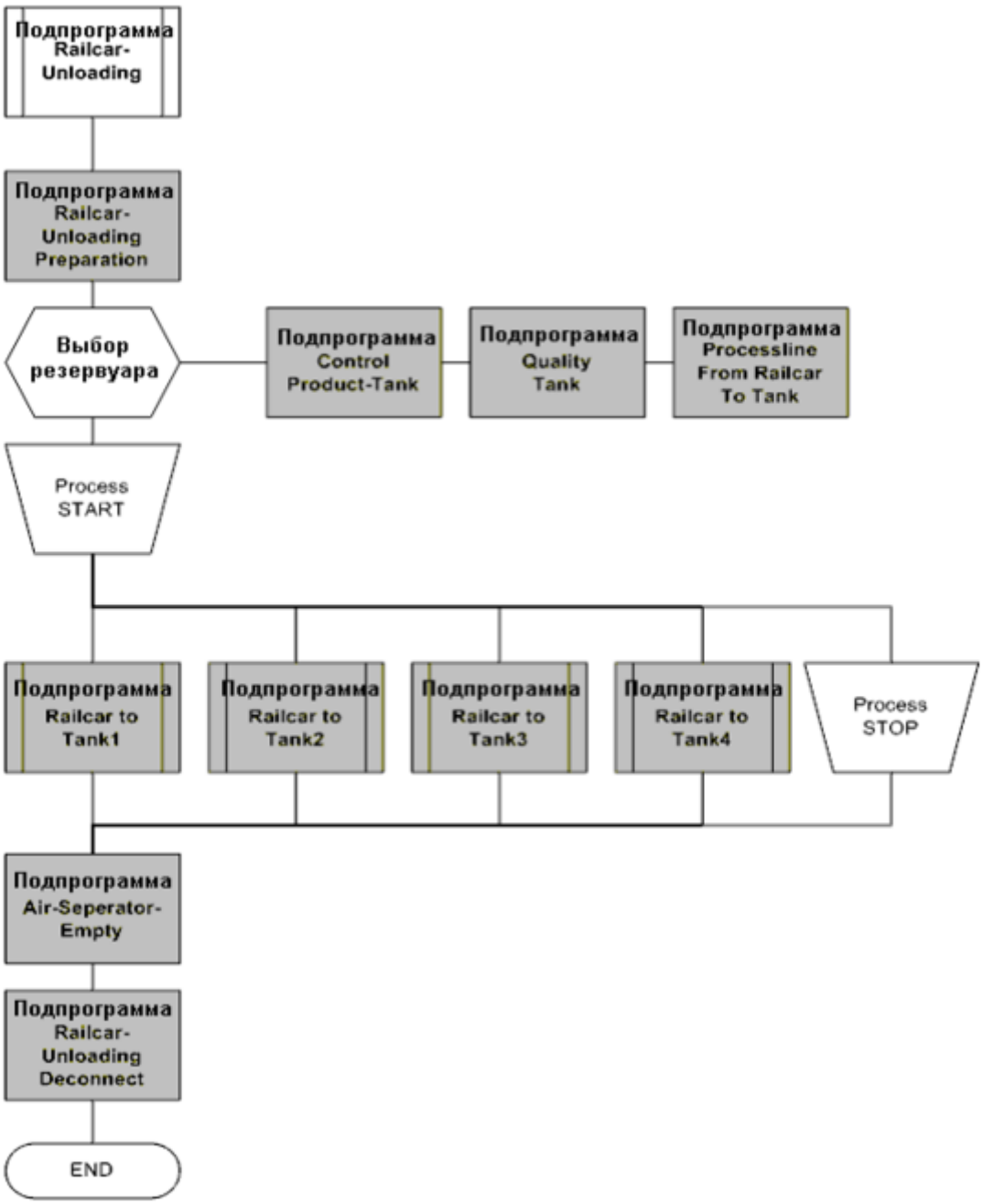


Рисунок В.47– Основной алгоритм разгрузки цистерн “Railcar-Unloading”

Рисунок В.68 –Алгоритм подготовки к перекачке
“Preparation”

Примечания: 1) Резервуар в порядке, если сигнализаторы верхнего и нижнего уровней исправны, верхний уровень в резервуаре не достигнут, контроль предельного нижнего уровня исправен, операции с резервуаром разрешены оператором, входная задвижка открыта, выходная задвижка закрыта.

2) Трубопровод в порядке, если задвижки на трубопроводе к резервуару находятся в правильном положении.

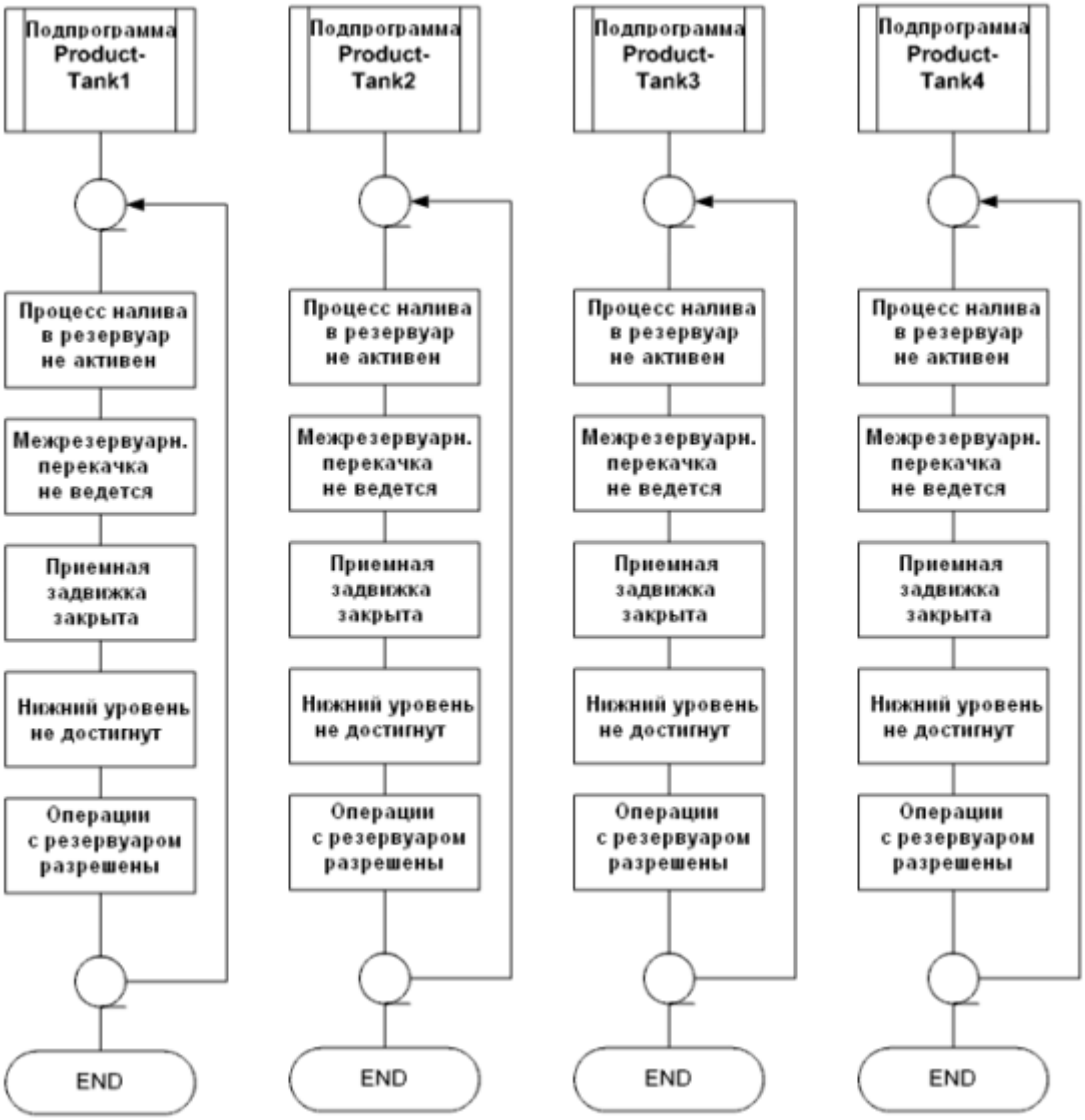


Рисунок В.69 – Алгоритмы контроля резервуаров
“Product-Tank 1”, “Product-Tank2”, “Product-Tапк3”, “Product-Tank4”

Примечание: Операции с резервуаром разрешены, если уровнемер исправен, сигнализатор переполнения не запрещает откачку, контроль достижения крайнего нижнего уровня в порядке, операции с резервуаром разрешены оператором.

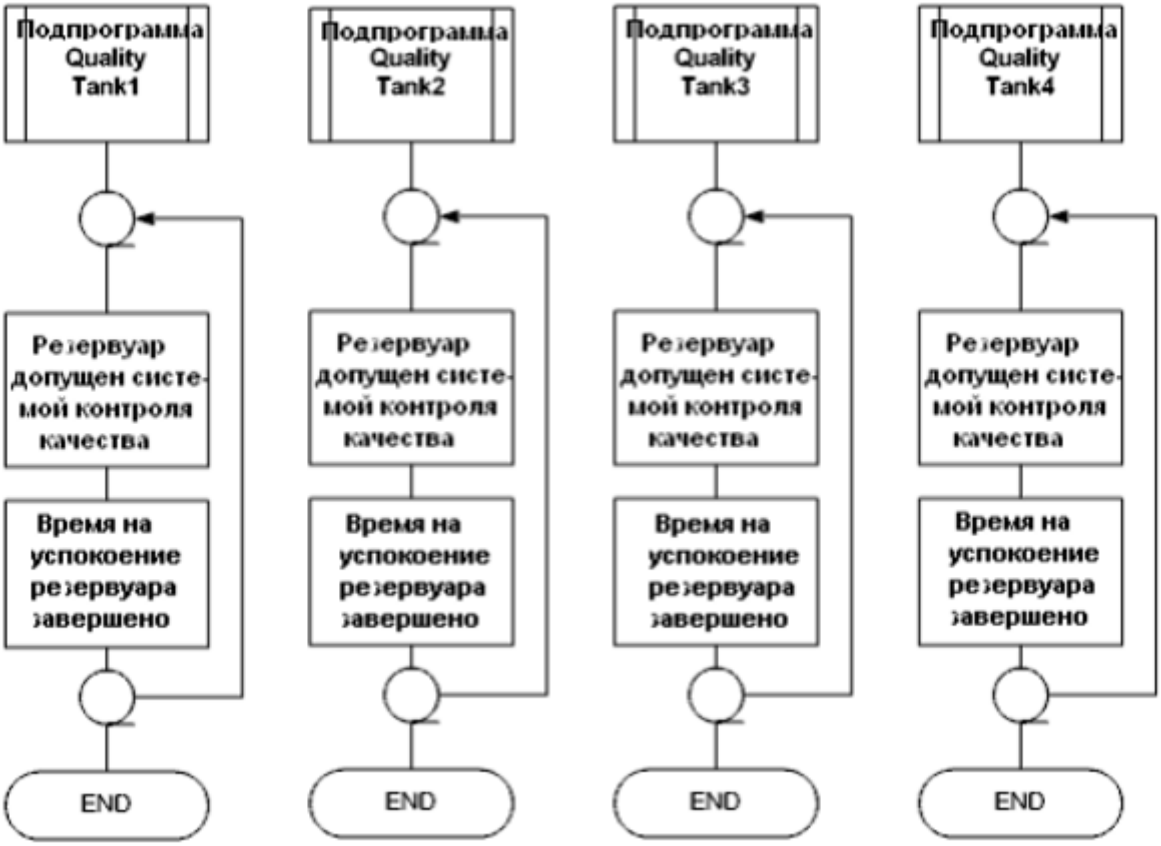


Рисунок В.70 – Алгоритмы контроля качества в резервуарах “Quality Tankl”, “Quality Tank2”, “Quality Тапк3”, “Quality Tank4”

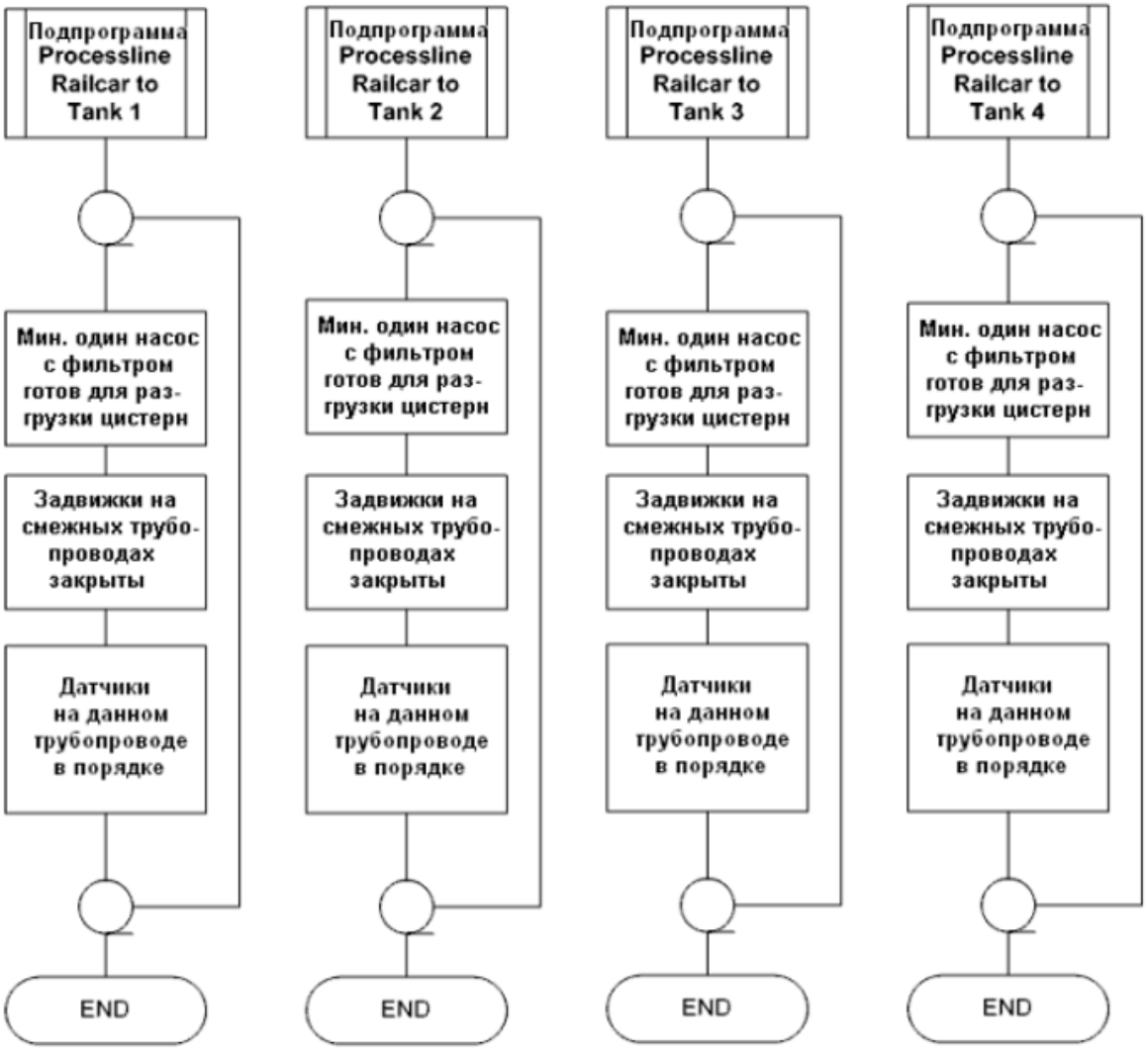


Рисунок В.71 – Алгоритм проверки трубопровода разгрузки ж/д цистерн в резервуары “Processline railcar to Tankl”, “Processline railcar to Tank2”, “Processline railcar to Tank3”, “Processline railcar to Tank4”

Примечания: 1) Насос и фильтр на трубопроводе для разгрузки ж/д цистерн в резервуары в порядке, если: - операции с насосом разрешены, - насос готов (нет ошибок), - частотный преобразователь в порядке, - гаситель в порядке, - температура корпуса в норме, - температура подшипников в норме, - защита от сухого пуска в порядке, - панель оперативного останова в порядке, - противоаварийная блокировка оборудования в порядке, - датчик разности давлений в порядке, - датчик утечек в порядке,

- соленоидный клапан исправен,
- контроллер MFX 4 готов.

2) К задвижкам на смежных трубопроводах относятся задвижки между резервуарами, выходная задвижка резервуара.

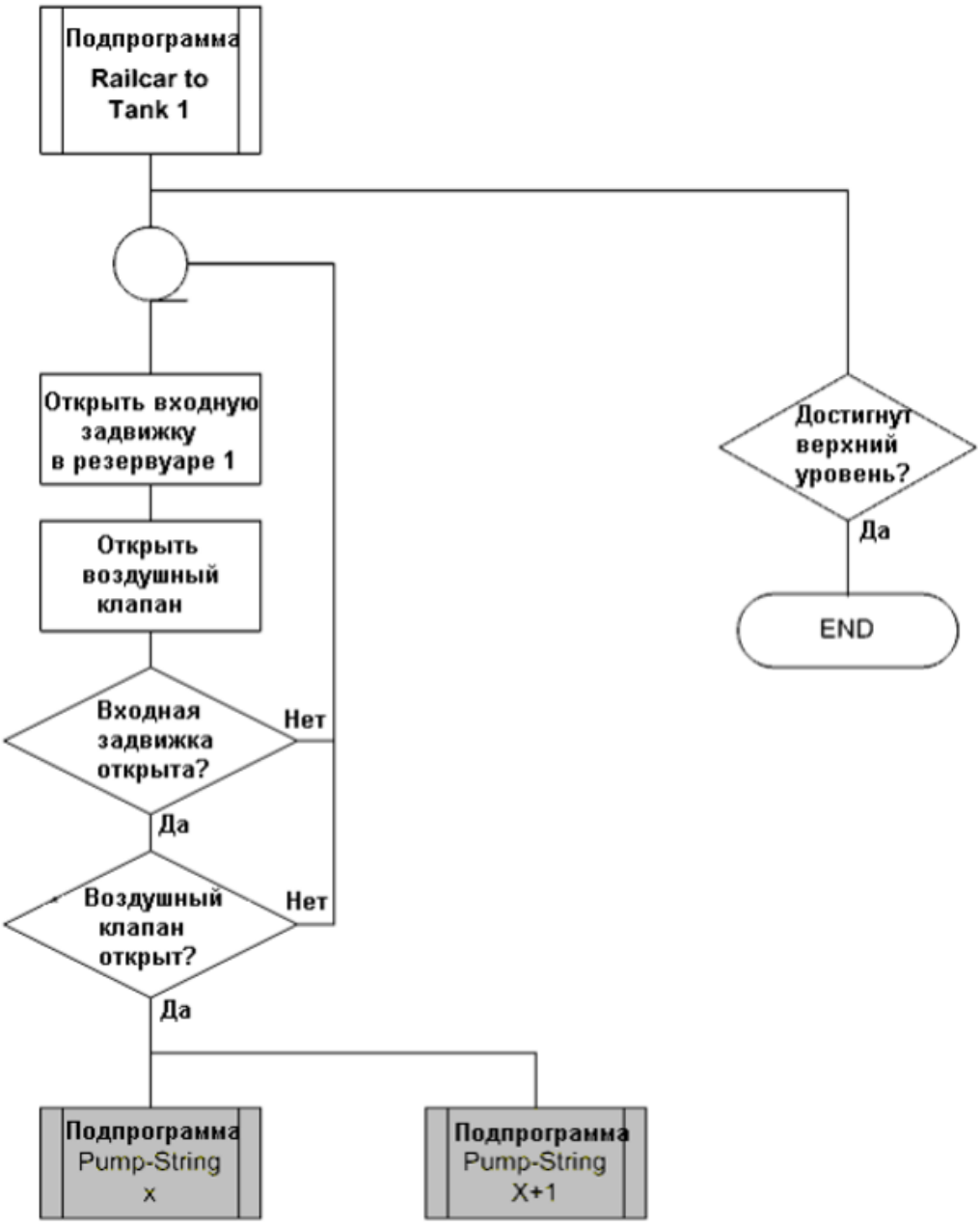


Рисунок В.72 – Алгоритм перекачки “Railcar to Tank1”

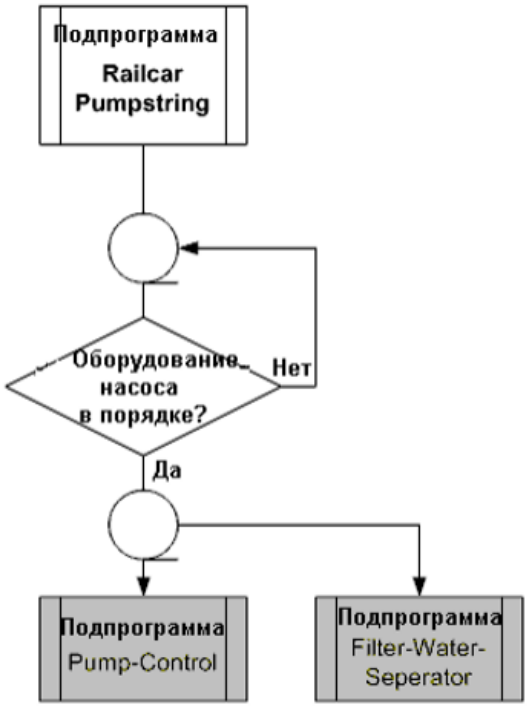


Рисунок В.73 – Алгоритм контроля насоса “Railcar Pumpstring”

Примечание: Оборудование насоса в порядке, если:

- операции с насосом разрешены,
- насос готов (нет ошибок),
- частотный преобразователь в порядке,
- гаситель в порядке,
- температура корпуса в норме,
- температура подшипников в норме,
- защита от сухого пуска в порядке,
- панель оперативного останова в порядке,
- противоаварийная блокировка оборудования в порядке,
- один из фильтров-водоотделителей исправен и находится в рабочем режиме,
- контроллер MFX 4 готов.

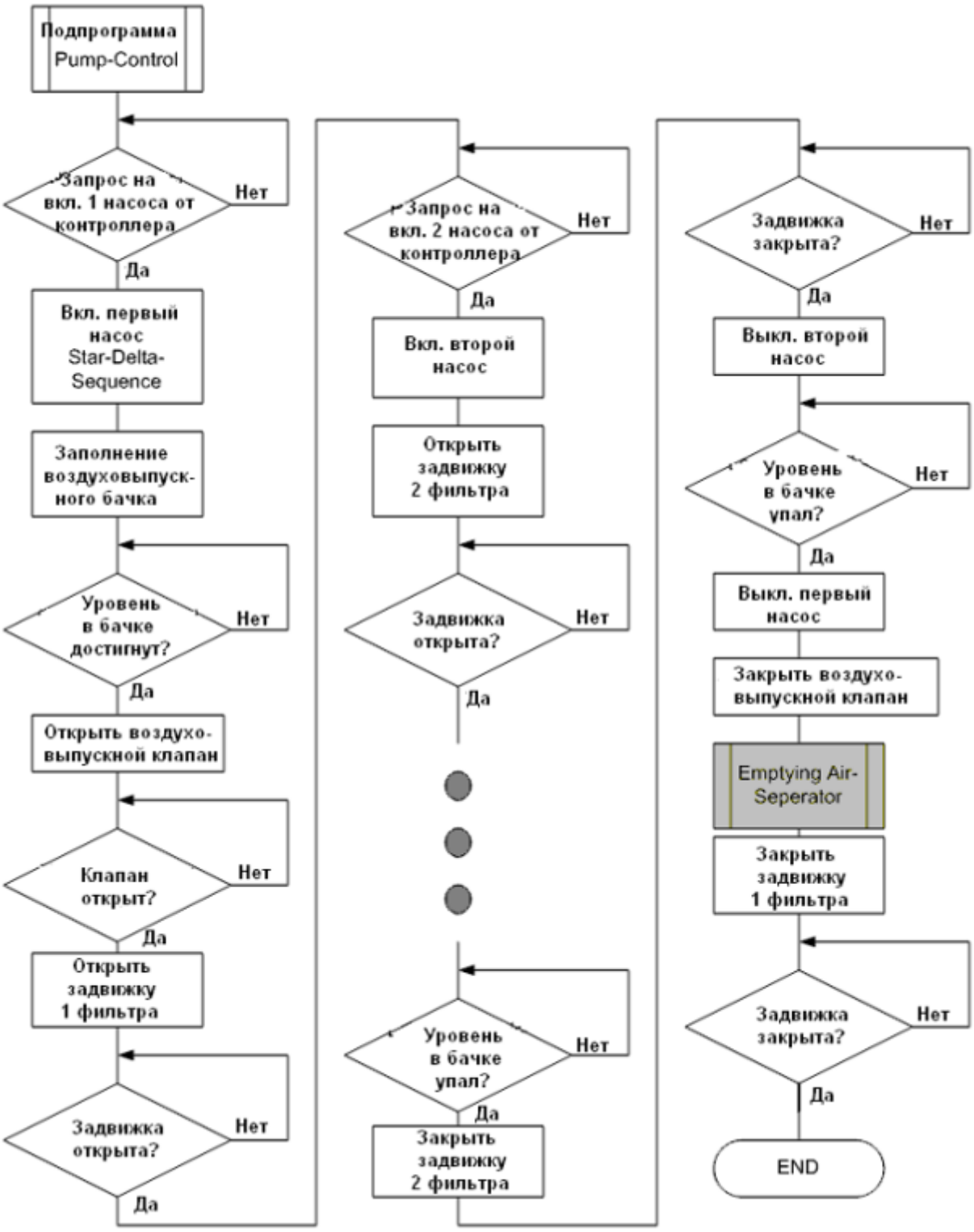


Рисунок В.74 – Алгоритм управления насосами “Pump-Control”

Рисунок В.75 – Алгоритм контроля воздуховыпускного бачка “Emptying Air-Separator”

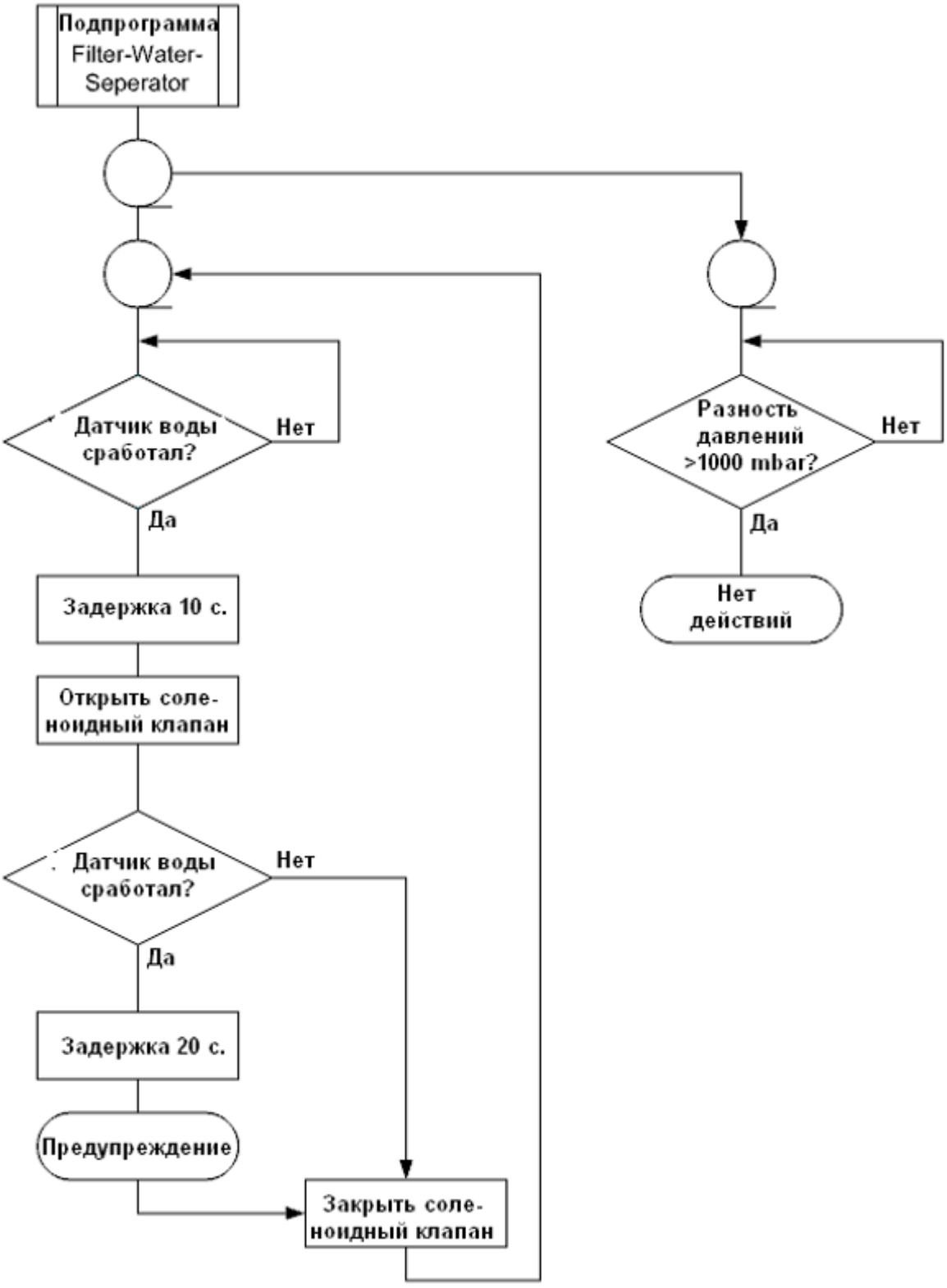


Рисунок В.76 – Алгоритм управления фильтром-водоотделителем “Filter-Water-Separator”

Примечание: Датчик воды срабатывает, если он определяет наличие воды более, чем 3 раза за минуту.

Рисунок В.77– Алгоритм отсоединения цистерны “Deconnection”

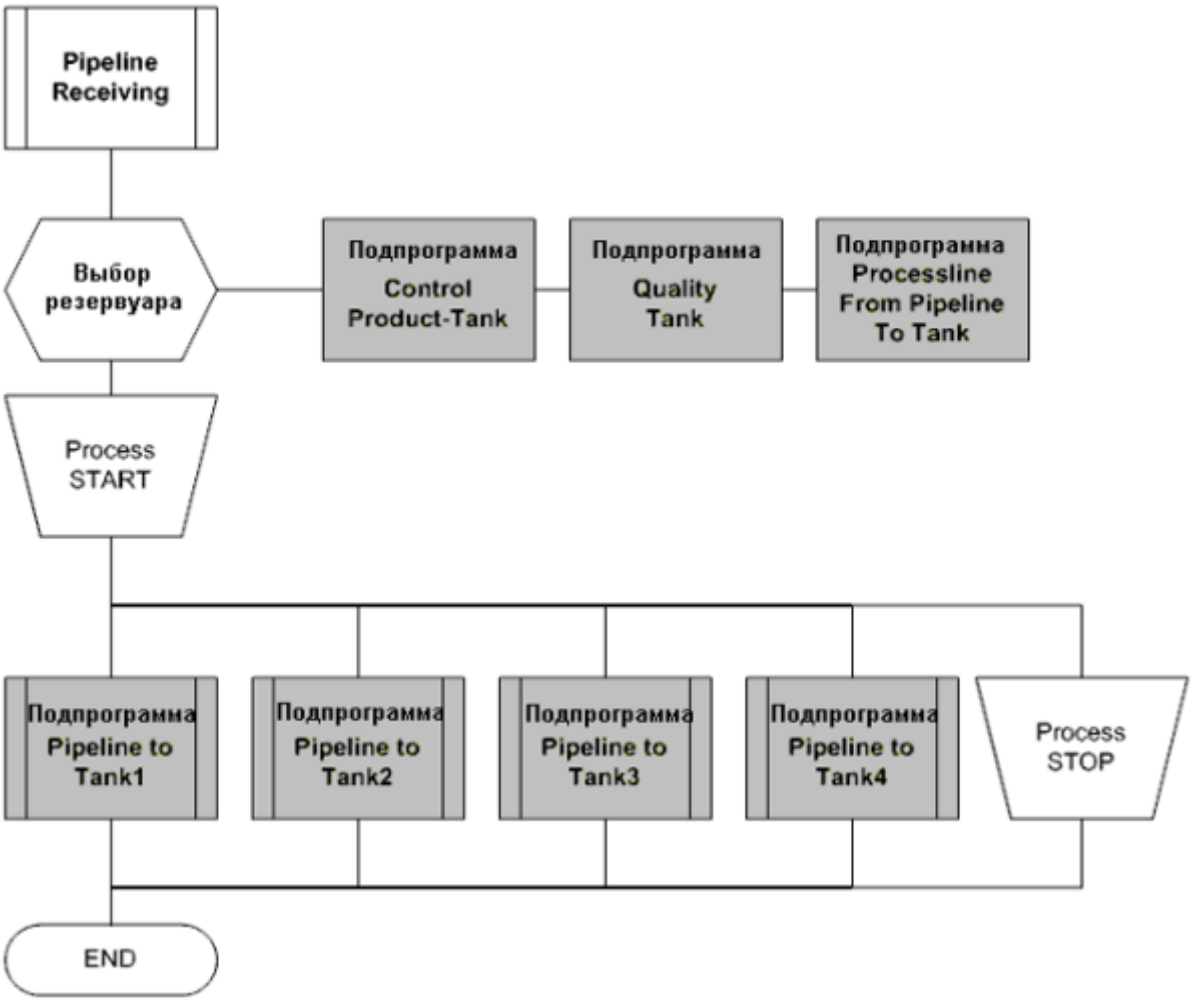


Рисунок В.78 – Основной алгоритм приема нефтепродуктов “Pipeline Receiving”

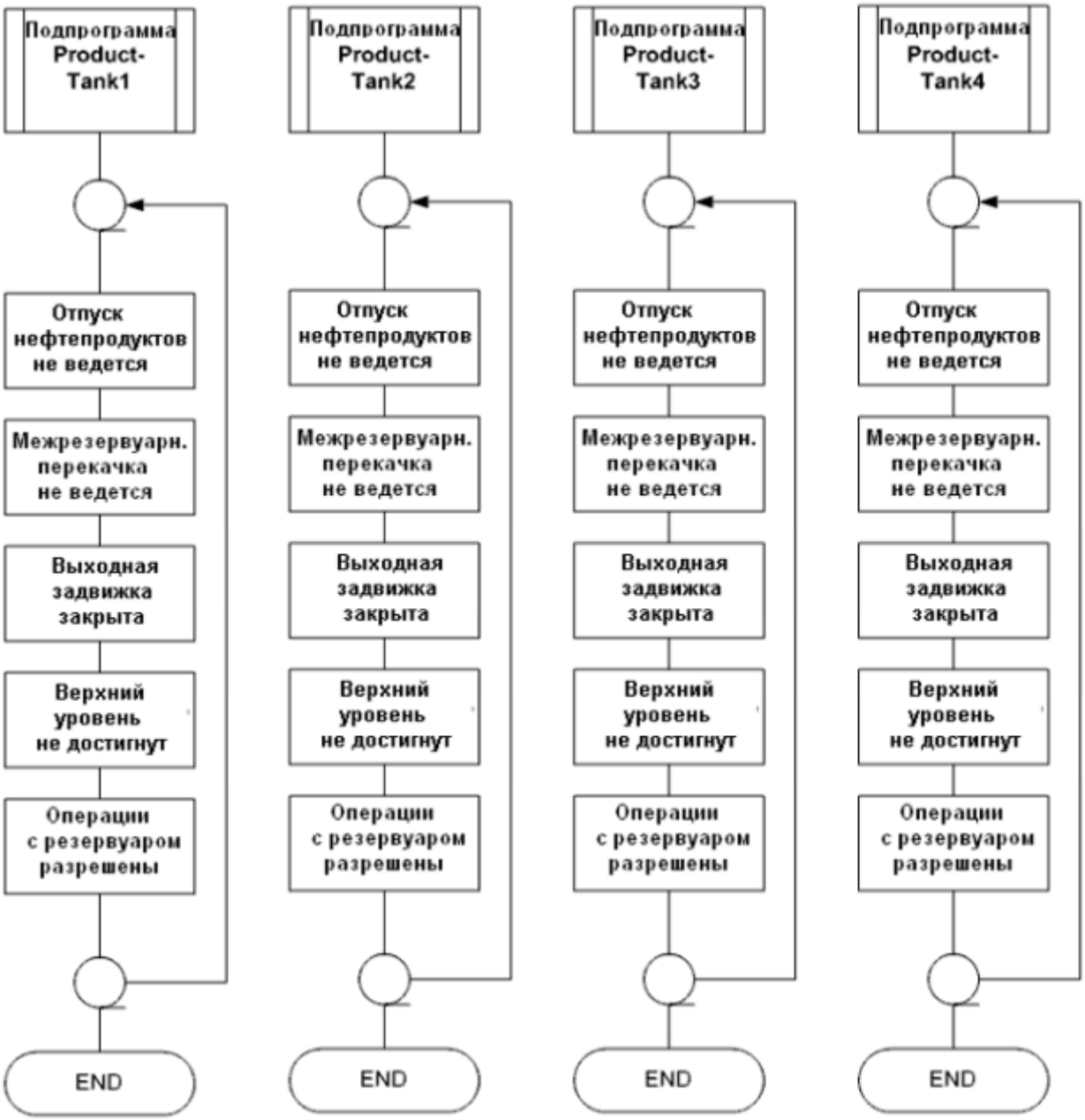


Рисунок В.79 – Алгоритмы контроля резервуаров при приеме нефтепродуктов “Product-Tankl”, “Product-Tank2”, “Product-ТапкЗ”, “Product-Tank4”

Примечание: Операции с резервуаром разрешены, если уровнемер исправен, сигнализатор верхнего уровня исправен и не запрещает прием, контроль достижения крайнего верхнего уровня в порядке, операции с резервуаром разрешены оператором.

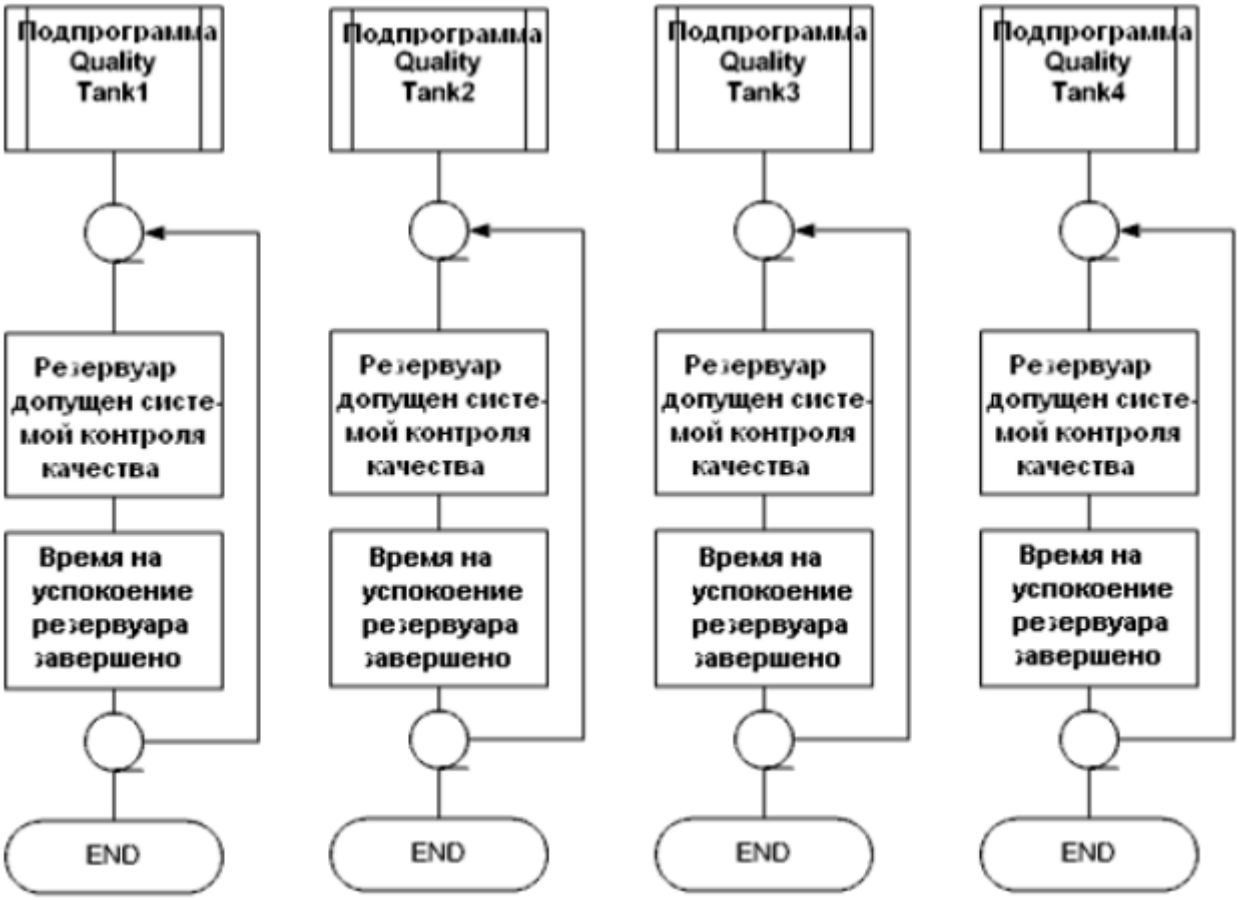


Рисунок В.80 – Алгоритмы контроля качества в резервуарах “Quality Tankl”, “Quality Tank2”, “Quality Тапк3”, “Quality Tank4

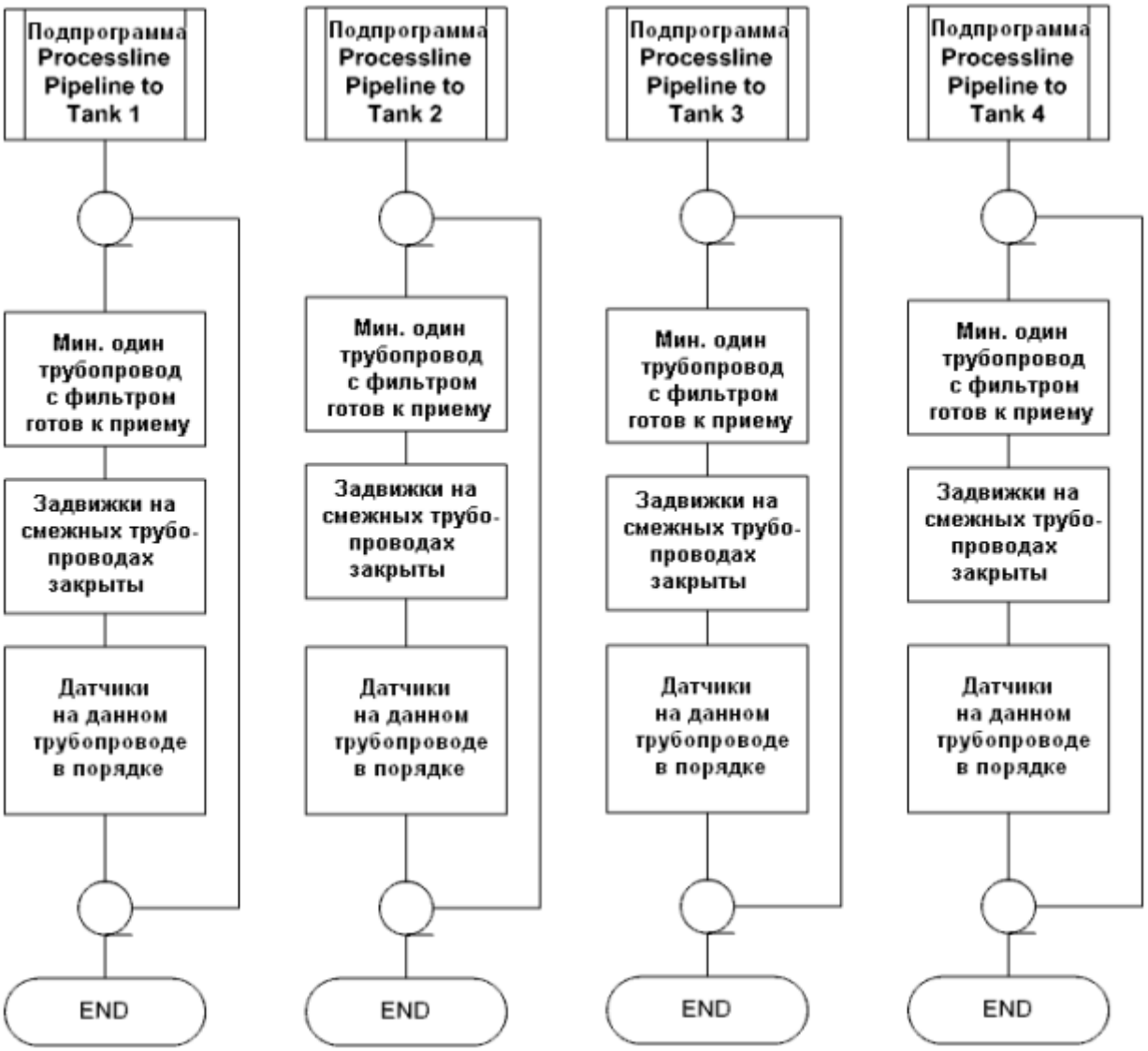


Рисунок В.81– Алгоритм проверки трубопровода при приеме нефтепродуктов в резервуары “Processline Pipeline to Tankl”, “Processline Pipeline to Tank2”, “Processline Pipeline to ТапкЗ”, “Processline Pipeline to Tank4”

Примечание: Трубопровод с фильтром готов к приему, если:

- датчик перепада давления на фильтре в норме,
- датчик воды в порядке,
- соленоидный клапан детектора воды в порядке,
- контроллер MFX 4 готов.

К задвижкам на смежных трубопроводах относятся задвижки между резервуарами и выходные задвижки резервуара.

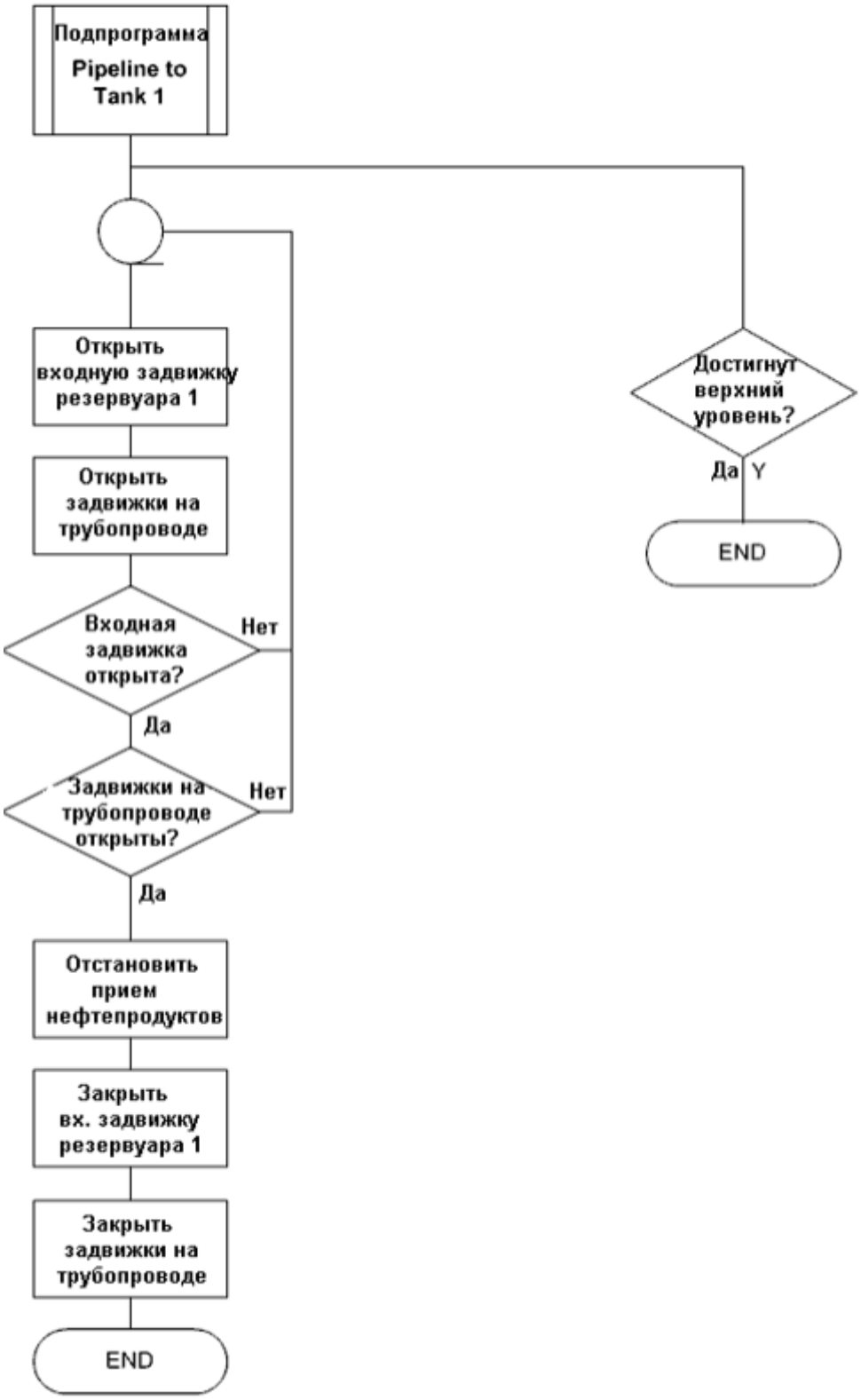


Рисунок В.82 – Алгоритм контроля трубопровода в резервуар при приеме нефтепродуктов “Pipeline to Tank 1”

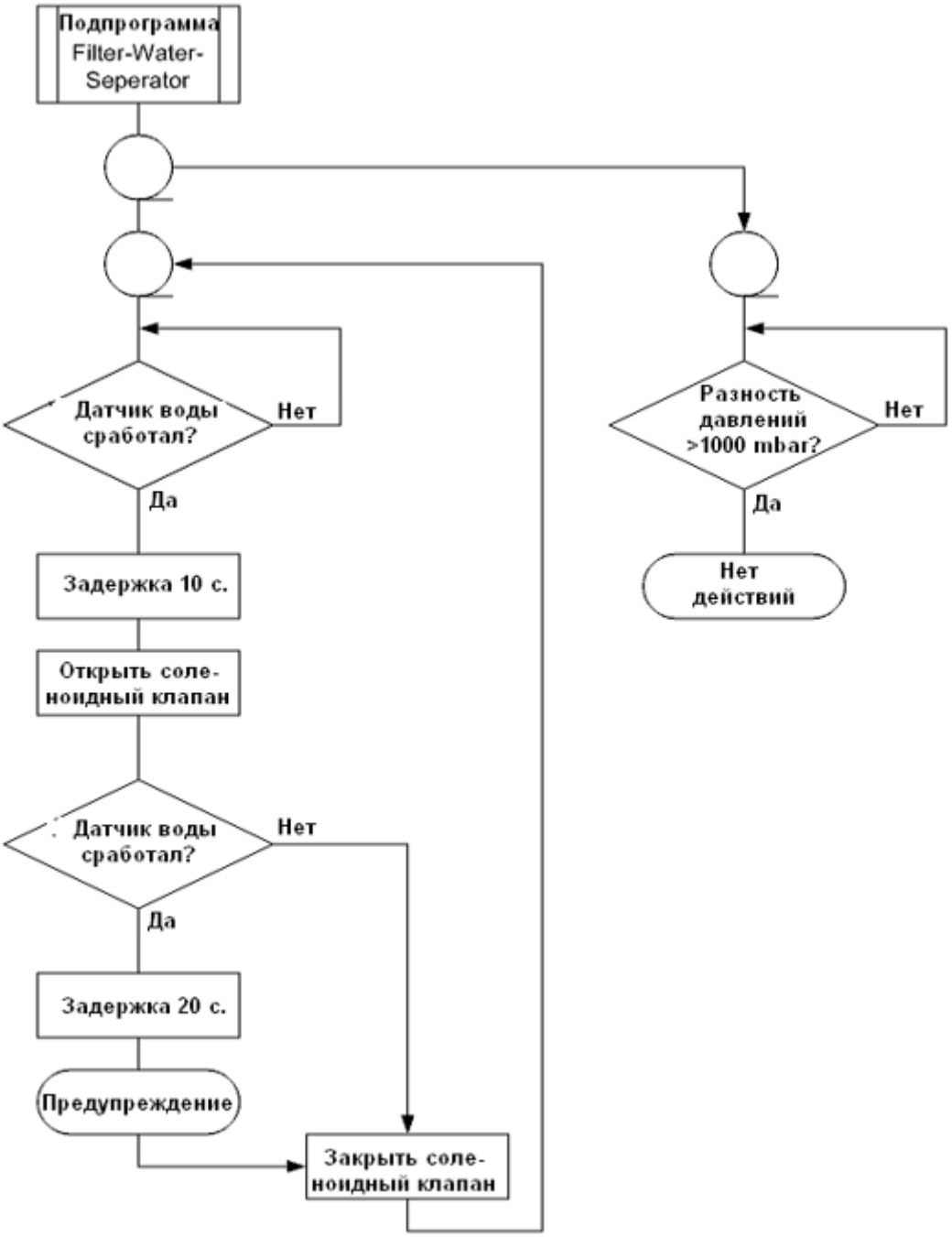


Рисунок В.83 – Алгоритм управления фильтром-водоотделителем “Filter-Water-Separator”

Примечание: Датчик воды срабатывает, если он определяет наличие воды более, чем 3 раза за минуту.

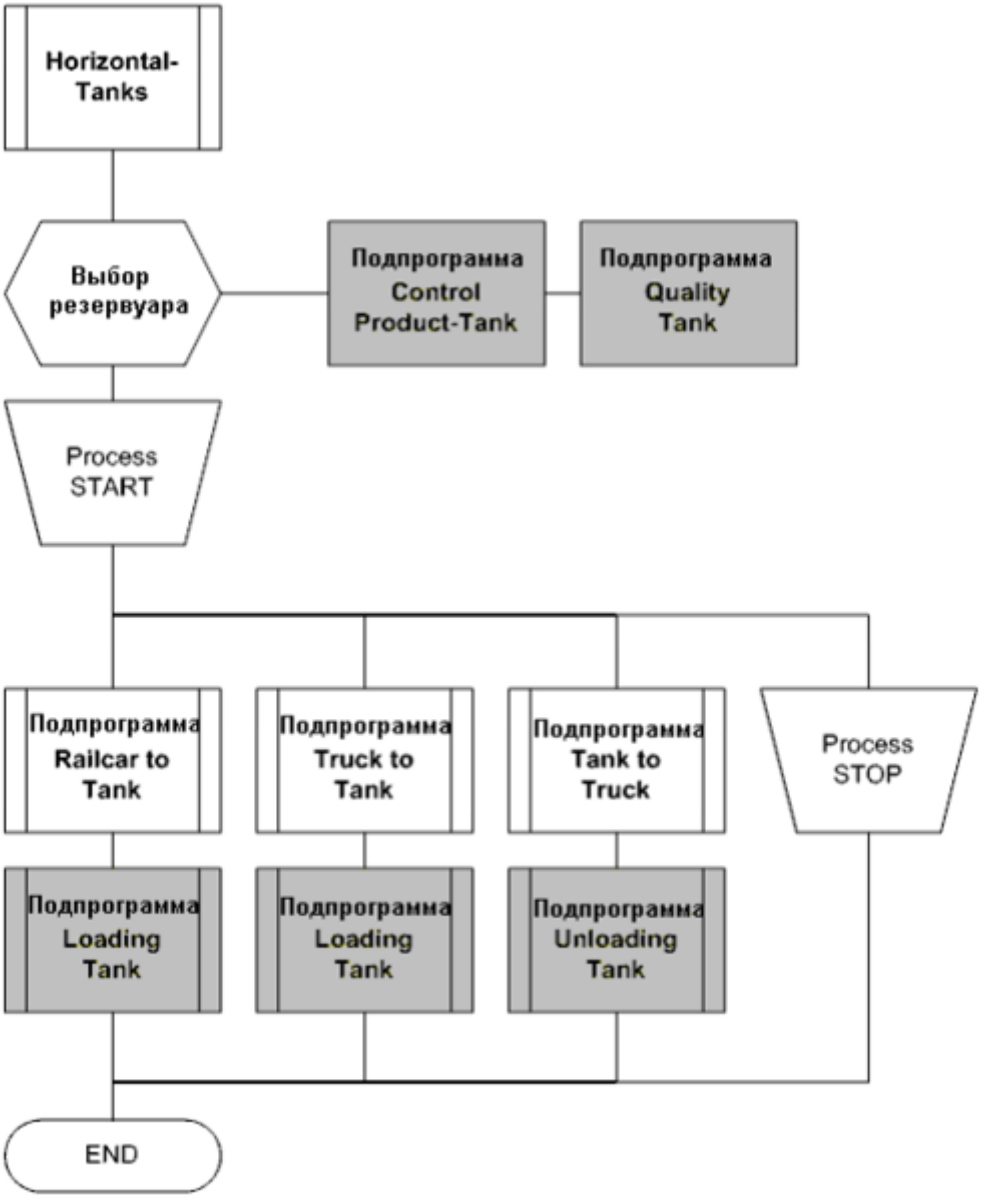


Рисунок В.84 – Основной алгоритм управления горизонтальными резервуарами “Horizontal-Tanks”

Рисунок В.85 – Алгоритм работы с резервуарами (отпуск и прием нефтепродуктов) “Loading Tank”, “Unloading Tank”

Примечание: Операции с резервуаром разрешены, если уровнемер исправен, сигнализаторы крайних верхнего и нижнего уровней исправны и сигнализируют о готовности, операции с резервуаром разрешены оператором, время успокоения резервуара закончилось.

Рисунок В.86 – Алгоритм контроля качества в резервуарах “Quality Tank”

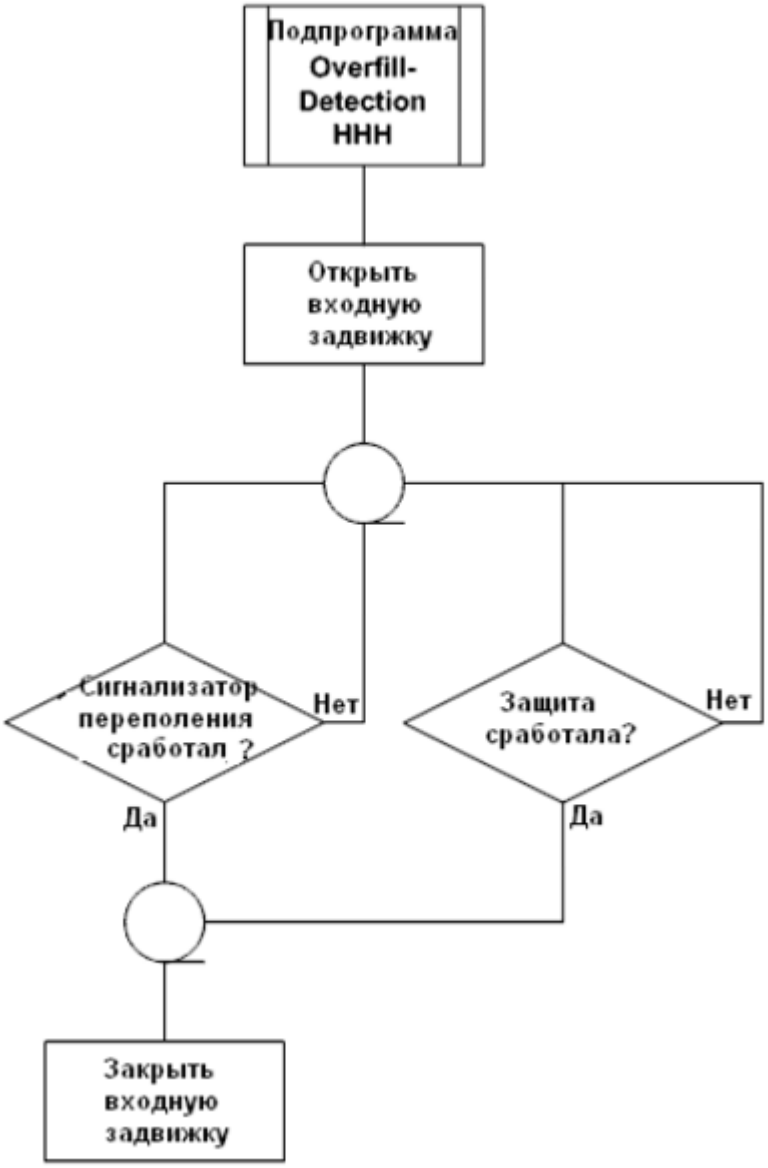


Рисунок В.87– Алгоритм контроля за переполнением “Overfill Detection HHH”

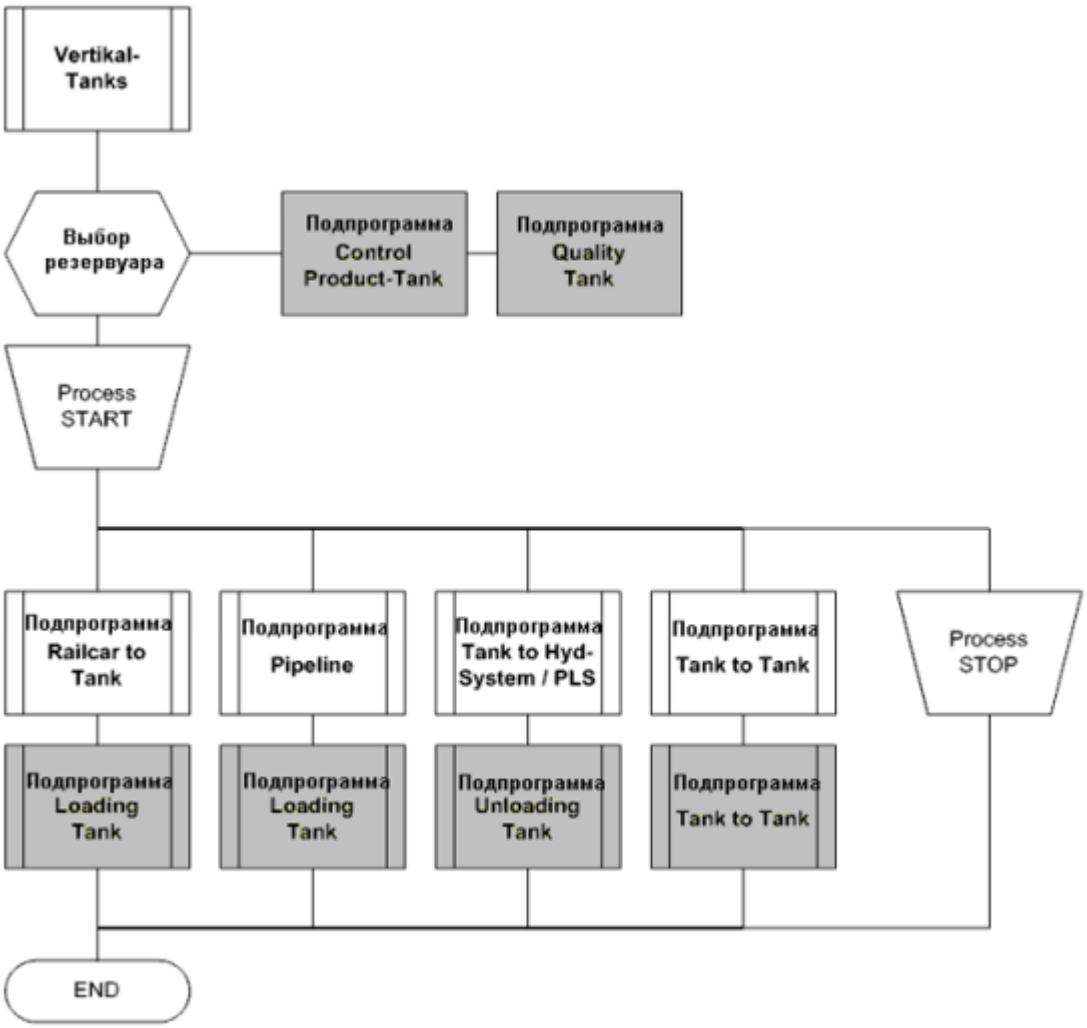


Рисунок В.88 – Основной алгоритм управления вертикальными резервуарами “Vertikal-Tanks”

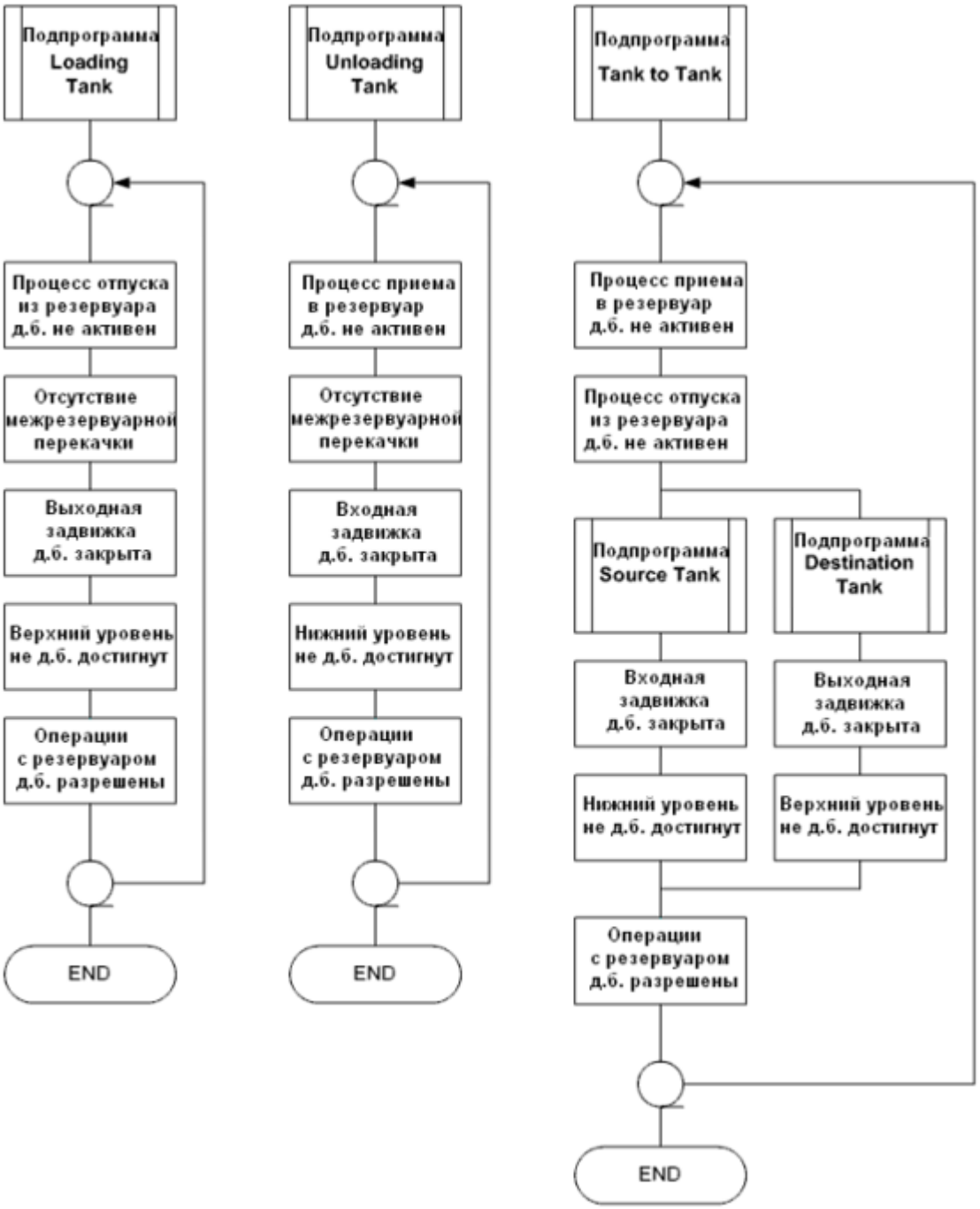


Рисунок В.89 – Алгоритмы работы с резервуарами
“Loading Tank”, “Unloading Tank”, “Tank to Tank”

Рисунок В.90 – Алгоритм контроля качества в резервуарах “Quality Tank”

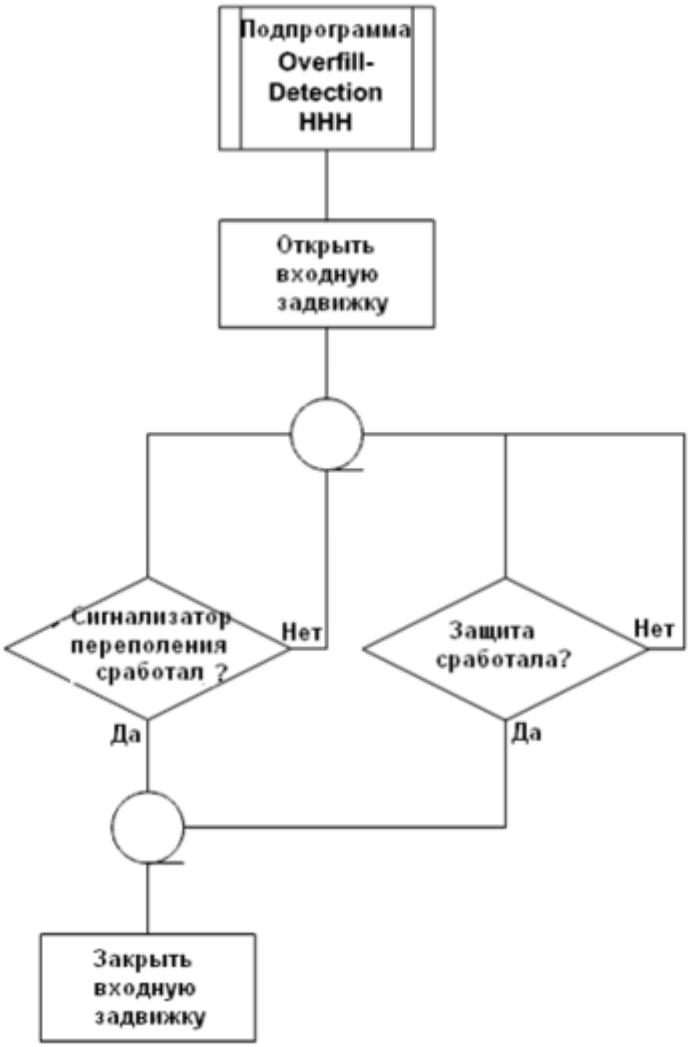


Рисунок В.91– Алгоритм контроля за переполнением “Overfill Detection HHH”

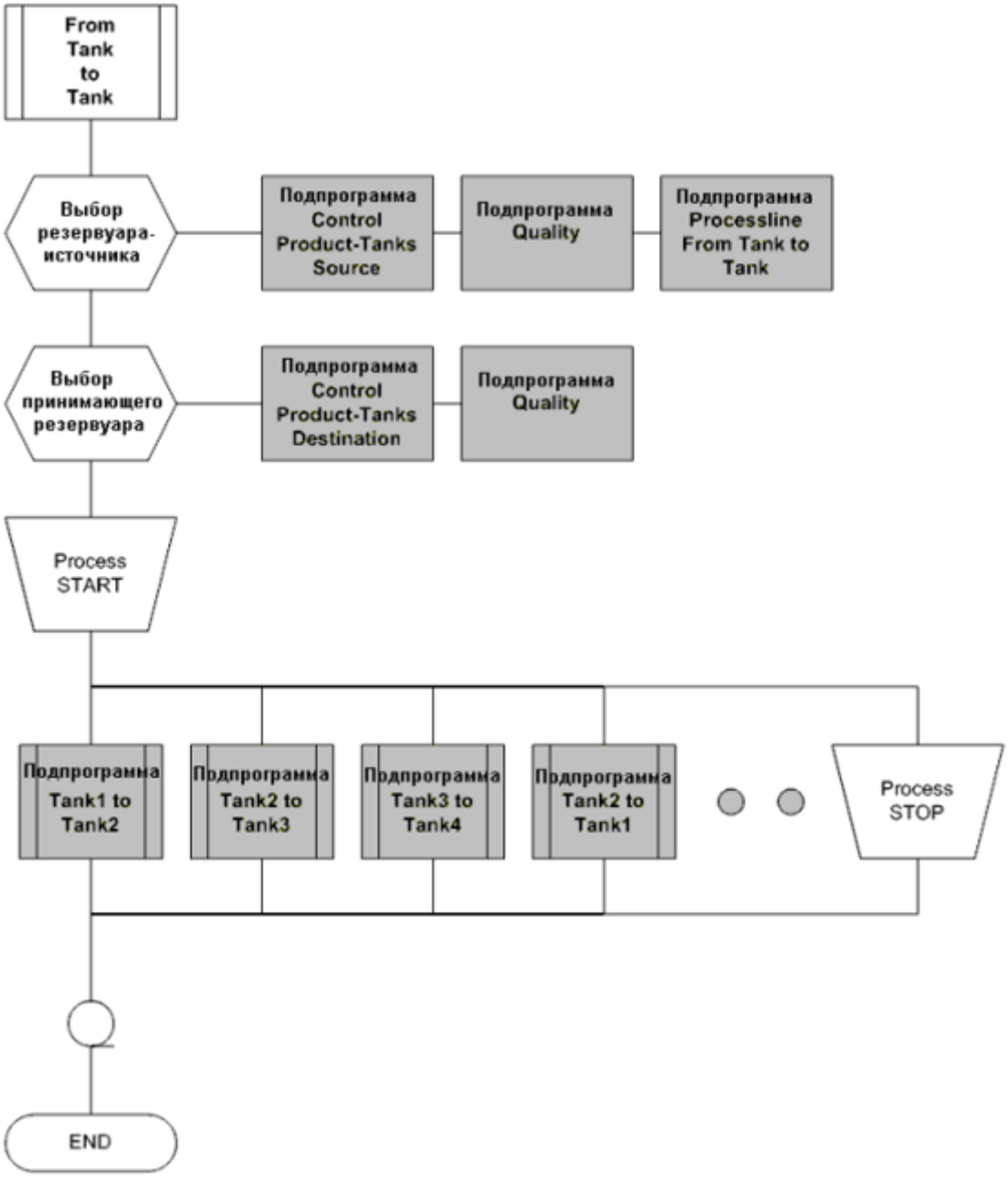


Рисунок В.92 – Основной алгоритм межрезервуарной перекачки “From Tank to Tank”

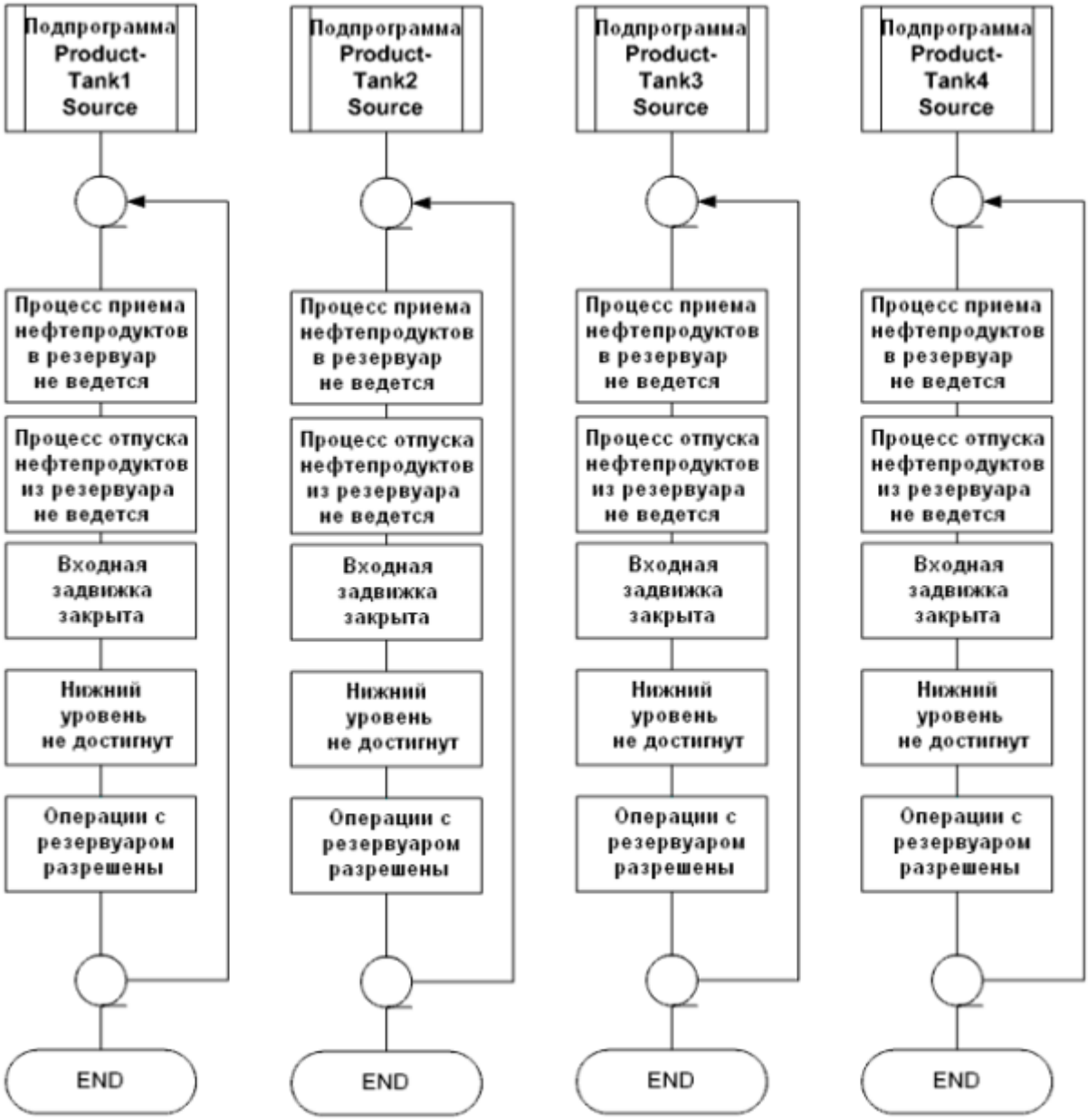


Рисунок В.93 – Алгоритмы контроля резервуаров-источников “Product-Tank 1 Source”, “Product-Tank2 Source”, “Product-Тапк3 Source”, “Product-Tank4 Source”

Примечания: Уровнемер в резервуаре должен быть исправен. Показания сигнализатора верхнего уровня не имеют значения на процесс отпуска нефтепродуктов. Значения имеют сигналы с сигнализатора крайнего нижнего уровня. Операции с резервуаром-источником должны быть разрешены оператором.

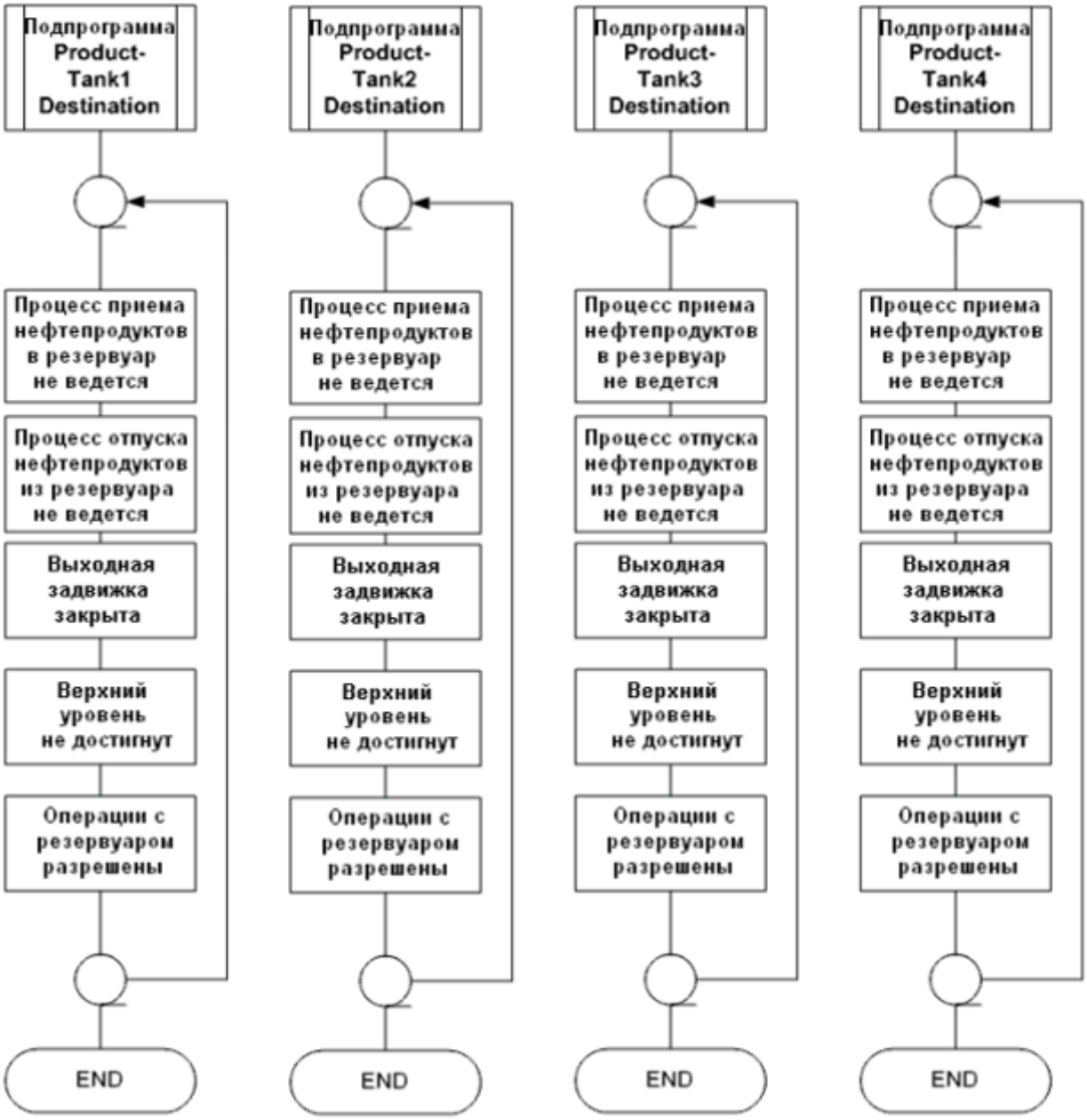


Рисунок В.94 – Алгоритмы контроля резервуаров-приемников “Product-Tank 1 Destination”, “Product-Tank2 Destination”, “Product-Тапк3 Destination”, “Product-Tank4 Destination”

Примечания: Уровнемер в резервуаре должен быть исправен. Показания сигнализатора нижнего уровня не имеют значения на процесс приема нефтепродуктов. Значения имеют сигналы с сигнализатора крайнего верхнего уровня. Операции с резервуаром-приемником должны быть разрешены оператором.

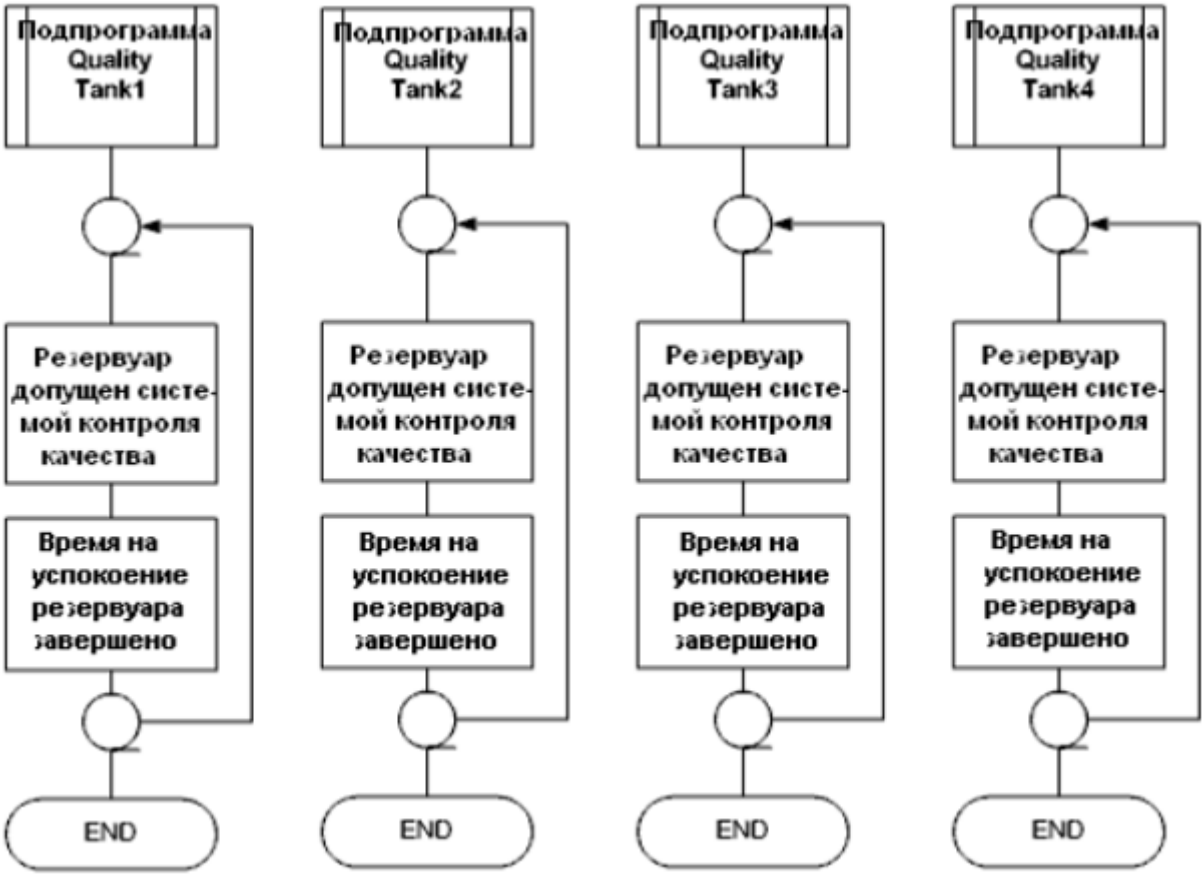


Рисунок В.95 – Алгоритмы контроля качества в резервуарах “Quality Tankl”, “Quality Tank2”, “Quality Тапк3”, “Quality Tank4”

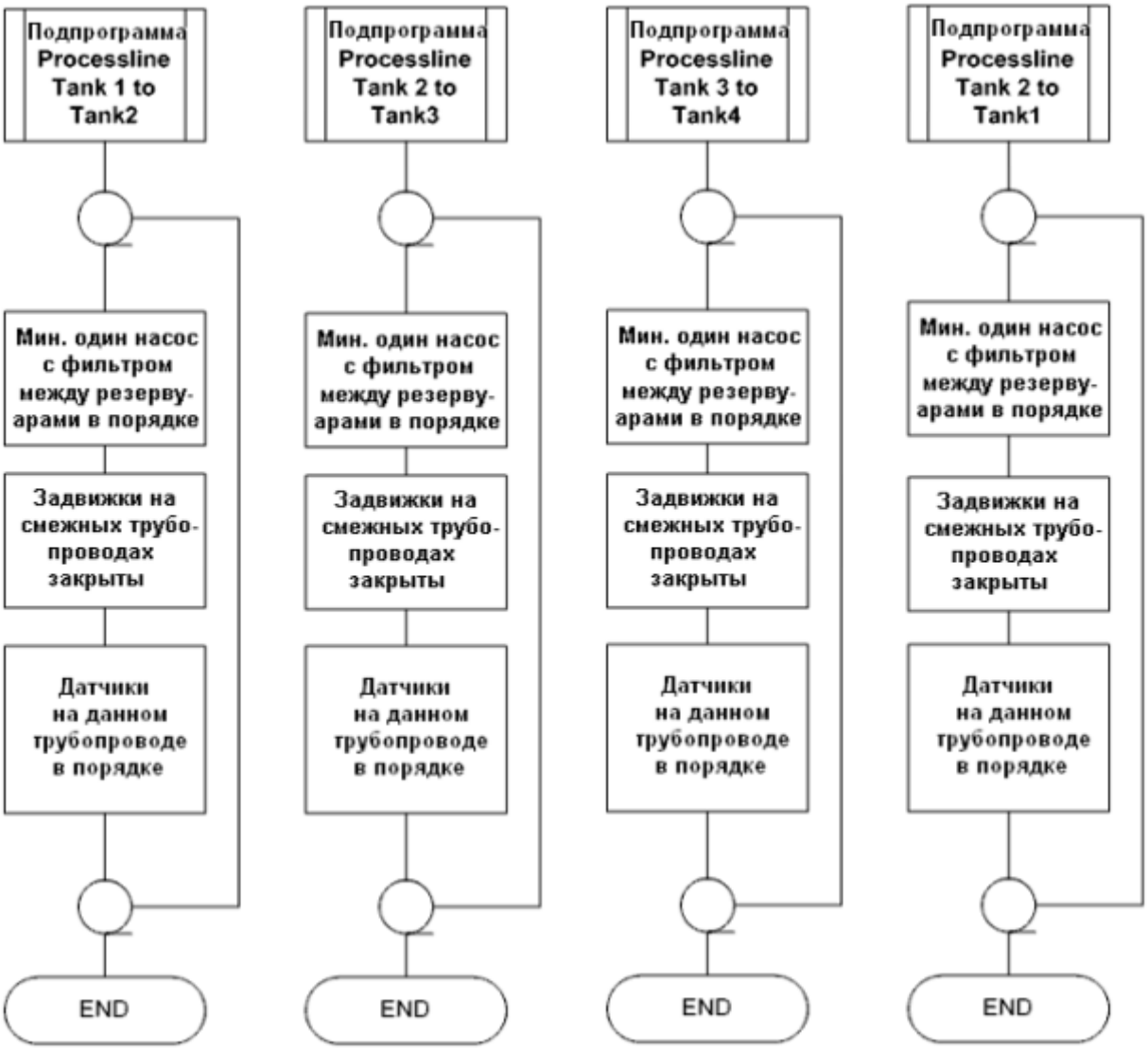


Рисунок В.96 – Алгоритм проверки трубопровода между резервуарами “Processline Tankl to Tank2”, “Processline Tank2 to ТапкЗ”,...

Примечания: 1) Насос и фильтр в порядке, если:

- операции с насосом разрешены,
- насос готов (нет ошибок),
- частотный преобразователь в порядке,
- гаситель в порядке,
- температура корпуса в норме,
- температура подшипников в норме,
- защита от сухого пуска в порядке,
- панель оперативного останова в порядке,
- противоаварийная блокировка оборудования в порядке,

- датчик разности давлений в порядке,
- датчик утечек в порядке,
- соленоидный клапан исправен.

2) К задвижкам на смежных трубопроводах относятся входная и выходная задвижки каждого резервуара.

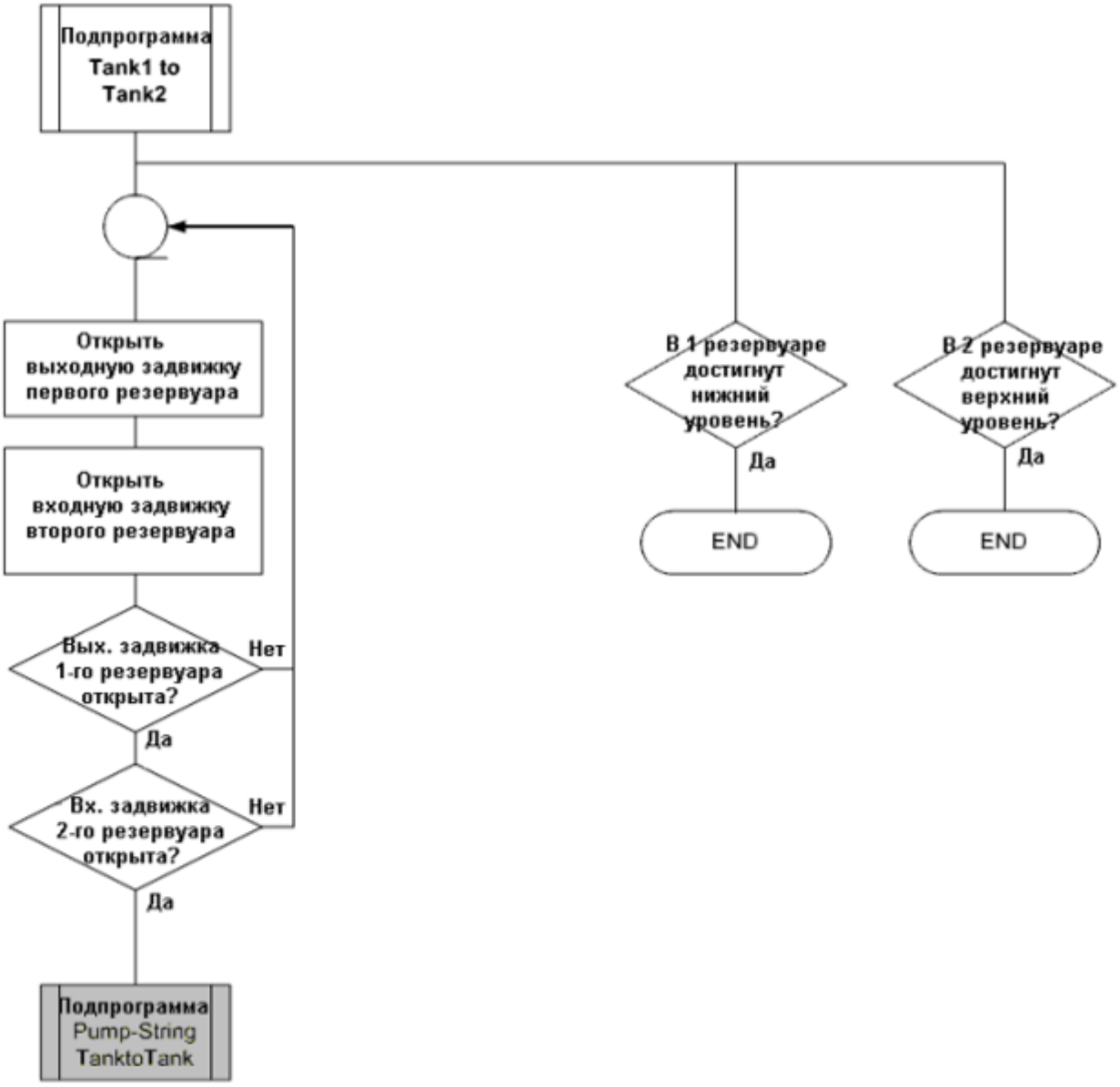


Рисунок В.97 – Алгоритм перекачки “Tankl to Tank2”

Рисунок В.98 – Алгоритм подготовки насоса “TankToTank”

Примечание: Оборудование насоса в порядке, если: - операции с насосом разрешены, - насос готов (нет ошибок), - частотный преобразователь в порядке, - гаситель в порядке,

- температура корпуса в норме,

- температура подшипников в норме,
- защита от сухого пуска в порядке,
- панель оперативного останова в порядке,
- противоаварийная блокировка оборудования в порядке,
- датчик разности давлений в порядке,
- датчик утечек в порядке,
- соленоидный клапан исправен,
- контроллер MFX 4 готов.

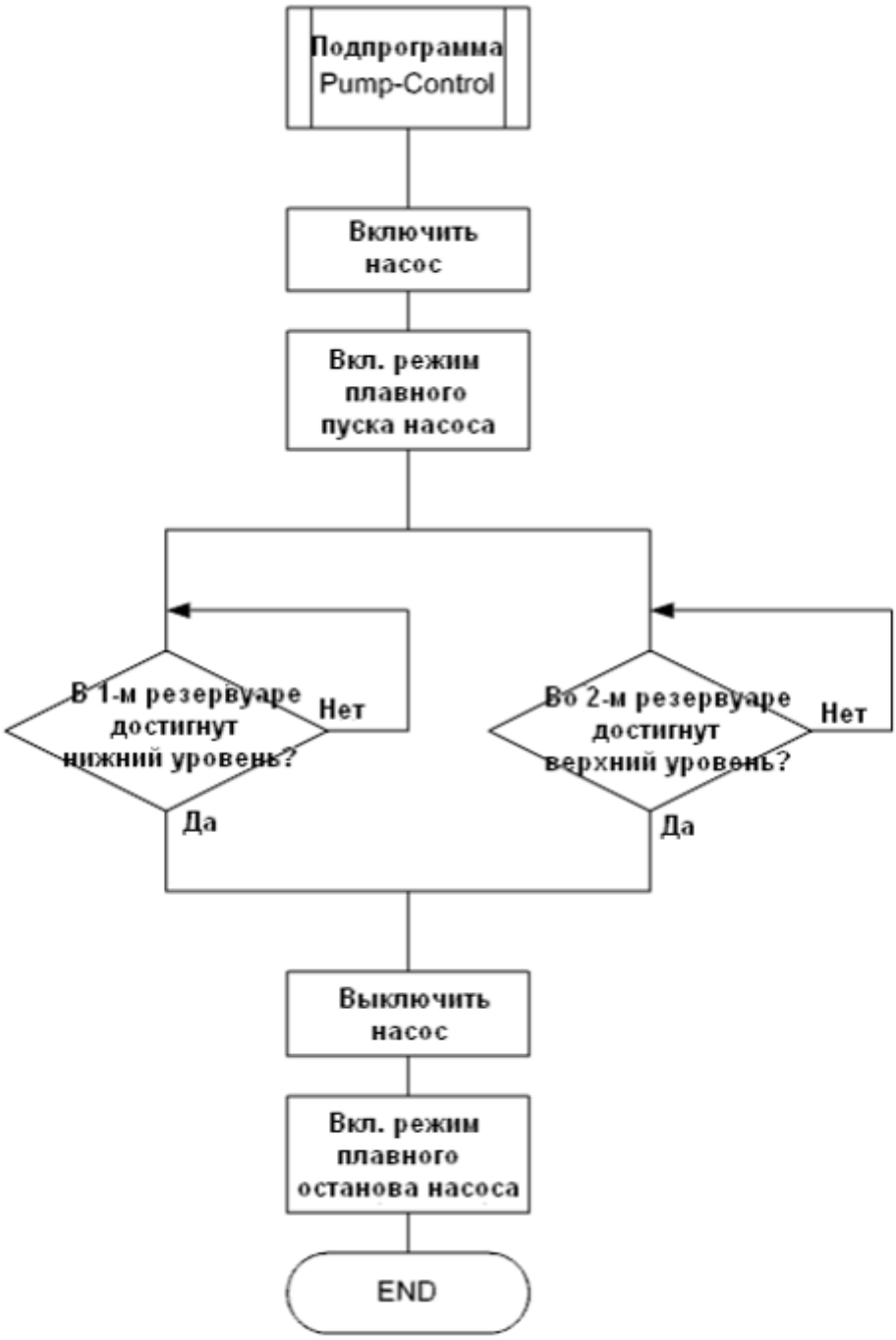


Рисунок В.99 – Алгоритм контроля насосов “Pump-Control”

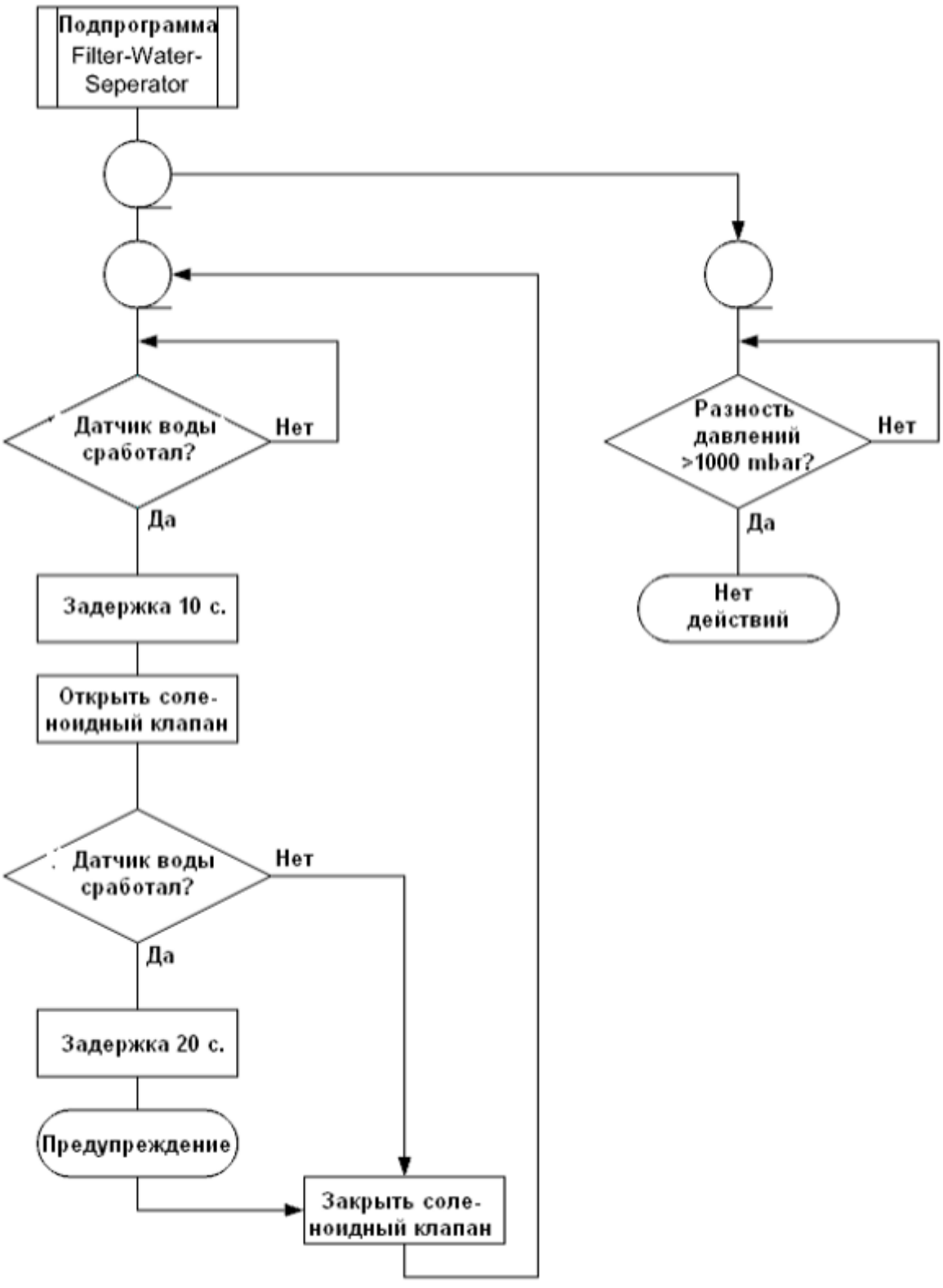


Рисунок В.100 – Алгоритм управления фильтром-водоотделителем “Filter-Water-Separator”

Примечание: Датчик воды срабатывает, если он определяет наличие воды более, чем 3 раза за минуту.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
ОБЪЕМЫ ДОЗИРОВАНИЯ ПВКЖ
(СПРАВОЧНОЕ)

Таблица Г.1 – Объемы дозирования ПВКЖ(л), для различных норм ее ввода

Объем топлива, л	0,1 + 0,05%			0,2 ±0,02%			0,3 ± 0,3%		
	не менее	норма	не более	не менее	норма	не более	не менее	норма	не более
1 000	1	1	1,5	1,8	2	2,2	2,7	3	3,3
2 000	2	2	3	3,6	4	4,4	5,4	6	6,6
3 000	3	3	4,5	5,4	6	6,6	8,1	9	9,9
4 000	4	4	6	7,2	8	8,8	10,8	12	13,2
5 000	5	5	7,5	9	10	11	13,5	15	16,5
6 000	6	6	9	10,8	12	13,2	16,2	18	19,8
7 000	7	7	10,5	12,6	14	15,4	18,9	21	23,1
8 000	8	8	12	14,4	16	17,6	21,6	24	26,4
9 000	9	9	13,5	16,2	18	19,8	24,3	27	29,7
10 000	10	10	15	18	20	22	27	30	33
11 000	11	11	16,5	19,8	22	24,2	29,7	33	36,3
12 000	12	12	18	21,6	24	26,4	32,4	36	39,6
13 000	13	13	19,5	23,4	26	28,6	35,1	39	42,9
14 000	14	14	21	25,2	28	30,8	37,8	42	46,2
15 000	15	15	22,5	27	30	33	40,5	45	49,5
16 000	16	16	24	28,8	32	35,2	43,2	48	52,8
17 000	17	17	25,5	30,6	34	37,4	45,9	51	56,1
18 000	18	18	27	32,4	36	39,6	48,6	54	59,4
19 000	19	19	28,5	34,2	38	41,8	51,3	57	62,7
20 000	20	20	30	36	40	44	54	60	66
21 000	21	21	31,5	37,8	42	46,2	56,7	63	69,3
22 000	22	22	33	39,6	44	48,4	59,4	66	72,6
23 000	23	23	34,5	41,4	46	50,6	62,1	69	75,9
24 000	24	24	36	43,2	48	52,8	64,8	72	79,2
25 000	25	25	37,5	45	50	55	67,5	75	82,5

На практике в случае приготовления смеси не автоматизированными средствами, для контроля и проверки правильности дозирования используют номограммы для расчета объема дозы ПВКЖ, представленные на рисунке Г.1

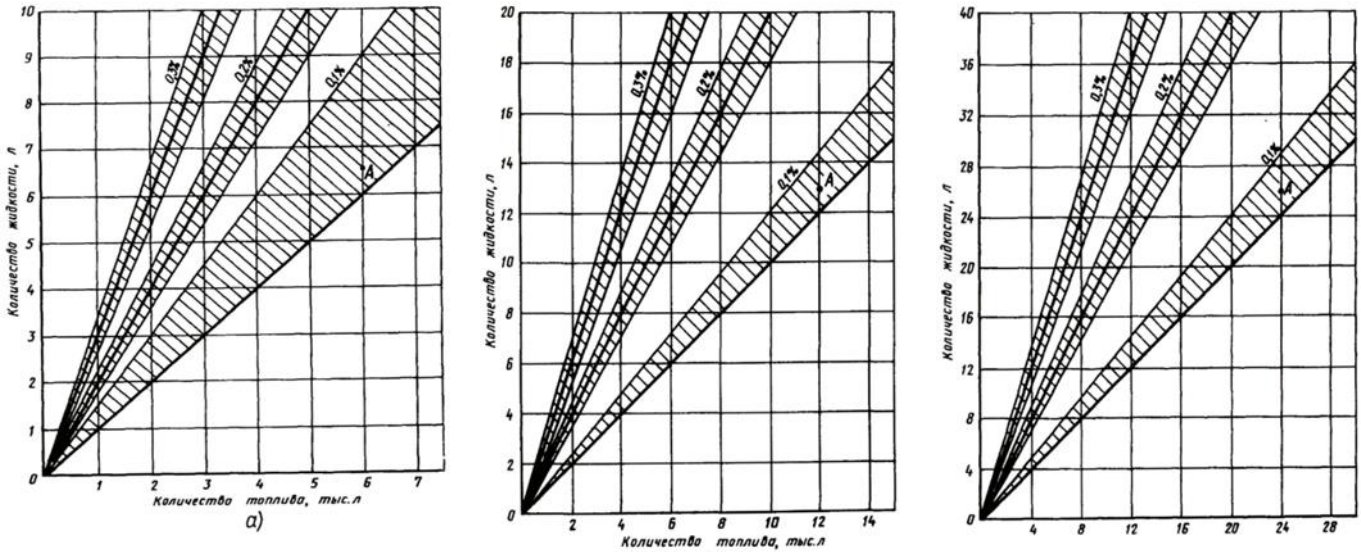


Рисунок Г.1 — Номограммы для расчета объема дозы ПВКЖ: а) объем авиатоплива до 7 тыс. л.; б) то же до 14 тыс. л.; в) то же до 28 тыс. л

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
ПРОГРАММА ДЕЛИТЕЛЯ ИМПУЛЬСОВ СЕРВОШАГОВОГО ПРИВОДА

Код: Написан в среде на языке Arduino, созданном на базе C++

Все используемые в этом примере функции являются библиотечными

```
//*****************************************************************
volatile unsigned long    micros_sp = 0;
volatile byte             sz = 0; //счетчик обнуления
volatile unsigned int     sp = 0; //скорость
volatile unsigned int     InputHz = 0;
volatile unsigned int     OutputHz = 0;
double                    popravka = 0;
volatile boolean          st = false; //триггер
unsigned long timing;
unsigned long timing2;
int                       Vixod=4;
```

```
#define PIN_POT          A0
unsigned long Period;
unsigned long sp2;
unsigned long Skvajnost;
bool Status=0;
int rotat;
//*****************************************************************
void setup(){
Serial.begin(115200);                  //инициализация ком порта
attachInterrupt(1, speedometr, RISING); //прерывание энкодера шаговог двигателя по фронту импульса
pinMode(PIN_POT, INPUT);
pinMode (Vixod, OUTPUT);
}
//*****************************************************************
void loop(){
if (millis() - timing > 50)
{
timing = millis();
if (sz != 0){sz--;}else{sp = 0;};
InputHz=sp;
popravka=map(analogRead(PIN_POT),0,1023,0,200)*0.01;
//Period=6000;       // тестовый меандр
OutputHz=InputHz*popravka;
Period=600000/OutputHz;
sp2=600000/Period;
Serial.println ((String)OutputHz+" Hz  x"+(String)popravka);
Serial.println ((String)sp+"km/h");
Serial.println ((String)sp2);
}
Skvajnost= Period/2 ;   // такая скважность называется меандр
```

```
if (Status==0) {
if ( (micros()-timing2)>= Skvajnost) {
timing2 = micros();
digitalWrite(Vixod, HIGH);
Status=1;
}
}
if (Status==1) {
if ( (micros()-timing2)>= (Period-Skvajnost) ){
timing2 = micros();
digitalWrite(Vixod, LOW);
Status=0;
}
}
}
//*************************************************************************
void speedometr(){                    //измеряем частоту на входе сшд по прерыванию
if(!st){micros_sp = micros();}
else {sp = (600000/(micros() - micros_sp));}
st = !st;
sz = 30;
}
```

В разработанной программе реализован принцип электронного редуктора, сопрягающего датчик импульсов счетчика (энкодера поворота счетчика-расходомера или вычислителя Кориолиса) с сервошаговым двигателем. Входной сигнал, квадратурный меандр с амплитудой 5 вольт, выходной такой же.

В программе предусмотрена возможность интегрировать корректор температуры, процентного содержания ПВКЖ, или (и) плотности, если снабдить схему соответствующими датчиками.

Настройка сводится к подбору коэффициента (индивидуальная калибровка) и выбору коэффициента умножения «К». В настоящем коде записан коэффициент К=1.5

Устройство производит измерения периода входных импульсов и согласно запрограммированным коэффициентам, генерирует импульсы на выходе требуемой частоты (кратной соотношению входного и выходного коэффициентов). Программирование производится уже разработанным выше программным обеспечением.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОБ АВИАКЕРОСИНА НА СОДЕРЖАНИЕ ПРОТИВОВОДОКРИСТАЛЛИЗАЦИОННОЙ ЖИДКОСТИ «И»

Этап 1. - дозирование в режиме 0,1%+0,05

ПЛК, дозатора был запрограммирован на ввод присадки в количестве 0,11% от объема выданного топлива.

Количество:

Введенного авиатоплива составляет 948 литров;

Введенной в авиатопливо ПВКЖ составляет 1,0651 литра.

Данные лабораторного анализа %-содержания ПВКЖ составляет 0,112%.

Таблица Е.1 – Результаты испытаний этапа № 1: дозирование в режиме 0,1%+0,05

Время, сек	Выдано топлива, л	Введено ПВКЖ, л	Доля введённой ПВКЖ, %
12:17:59	1	0,0000	0,000
12:18:00	5	0,0000	0,000
12:18:01	11	0,0000	0,000
12:18:02	19	0,0000	0,000
12:18:03	26	0,0000	0,000
12:18:04	34	0,0083	0,024
12:18:06	49	0,0222	0,045
12:18:07	57	0,0305	0,054
12:18:08	66	0,0388	0,059
12:18:09	76	0,0527	0,069
12:18:10	86	0,0638	0,074
12:18:11	98	0,0749	0,076
12:18:15	142	0,1137	0,080
12:18:16	152	0,1220	0,080
12:18:17	164	0,1304	0,079
12:18:18	174	0,1387	0,080
12:18:19	184	0,1498	0,081
12:18:22	218	0,1858	0,085
12:18:23	228	0,1969	0,086
12:18:26	272	0,2330	0,086
12:18:27	272	0,2413	0,089
12:18:28	282	0,2524	0,090
12:18:29	294	0,2635	0,090
12:18:30	316	0,2774	0,088
12:18:31	316	0,2857	0,090
12:18:32	338	0,2968	0,088
12:18:33	348	0,3079	0,088
12:18:34	348	0,3134	0,090
12:18:36	382	0,3384	0,089
12:18:37	382	0,3467	0,091
12:18:39	414	0,3744	0,090
12:18:40	414	0,3828	0,092
12:18:41	436	0,3966	0,091
12:18:42	445	0,4077	0,092
12:18:43	458	0,4188	0,091
12:18:44	458	0,4271	0,093
12:18:45	479	0,4438	0,093
12:18:46	489	0,4521	0,092
12:18:48	511	0,4854	0,095
12:18:49	521	0,4909	0,094
12:18:50	533	0,5020	0,094
12:18:51	543	0,5131	0,094
12:18:52	555	0,5187	0,093
12:18:53	565	0,5408	0,096
12:18:54	577	0,5519	0,096
12:18:55	587	0,5658	0,096
12:18:56	599	0,5797	0,097
12:18:58	619	0,6019	0,097
12:18:59	631	0,6130	0,097
12:19:00	641	0,6241	0,097
12:19:01	653	0,6435	0,099
12:19:02	663	0,6573	0,099
12:19:03	675	0,6657	0,099
12:19:04	685	0,6795	0,099
12:19:05	697	0,6878	0,099
12:19:07	719	0,7045	0,098
12:19:08	729	0,7350	0,101
12:19:09	739	0,7489	0,101
12:19:10	751	0,7572	0,101
12:19:11	761	0,7711	0,101
12:19:12	773	0,7821	0,101
12:19:13	783	0,7932	0,101
12:19:14	795	0,8043	0,101
12:19:16	817	0,8265	0,101
12:19:17	827	0,8376	0,101
12:19:18	839	0,8515	0,101
12:19:19	849	0,8709	0,103
12:19:20	859	0,8764	0,102
12:19:23	892	0,9070	0,102
12:19:25	912	0,9347	0,102
12:19:26	919	0,9486	0,103
12:19:27	927	0,9680	0,104
12:19:28	934	0,9791	0,105
12:19:29	941	0,9957	0,106
12:19:30	947	1,0151	0,107
12:19:31	948	1,0318	0,109
12:19:32	948	1,0456	0,110
12:19:33	948	1,0595	0,112
12:19:34	948	1,0651	0,112

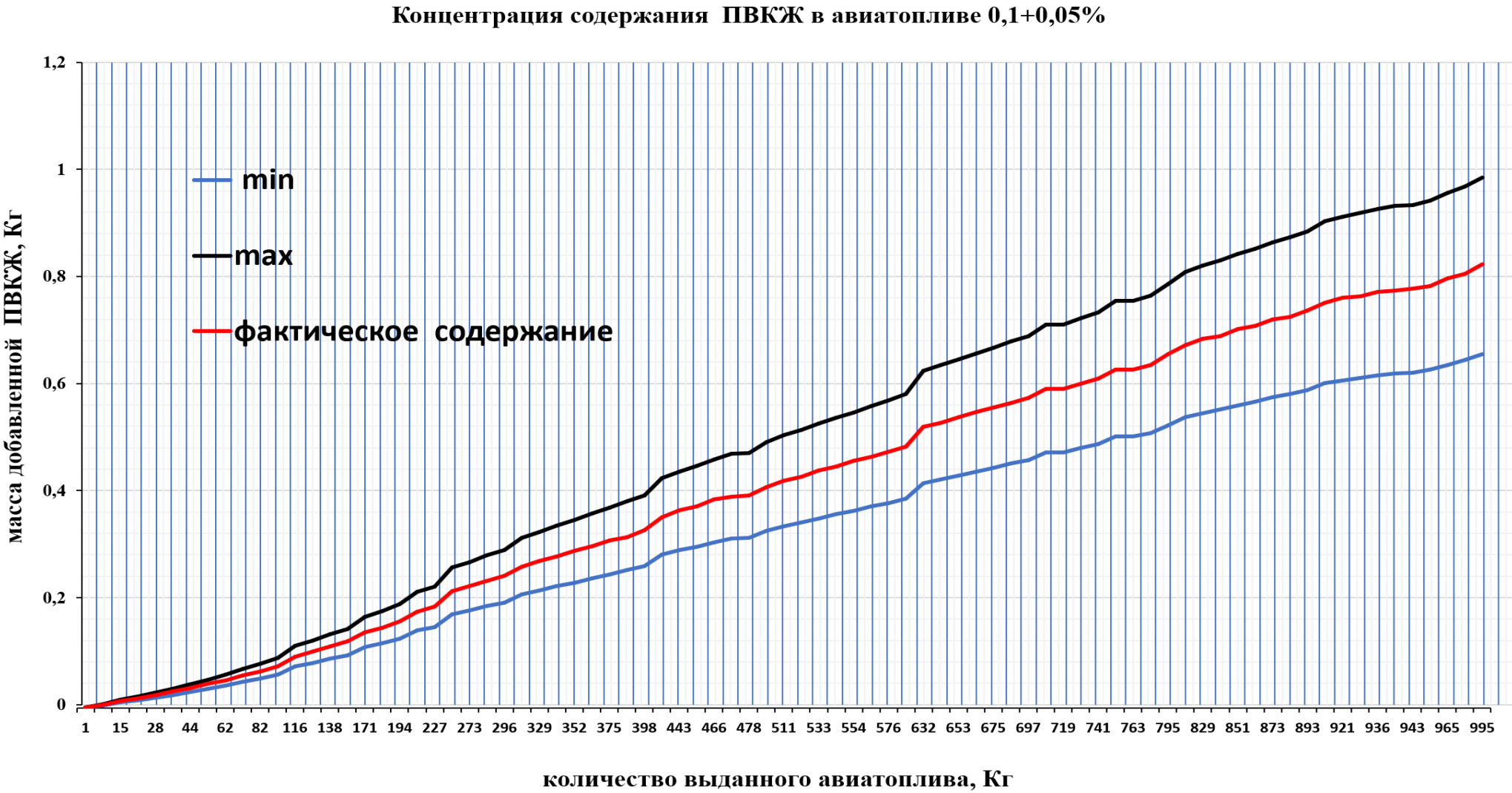


Рисунок Е.1— Результаты испытаний этапа №1: дозирование в режиме 0,1%+0,05

Этап 2. - дозирование в режиме 0,2% ± 0,002

Представлены в таблице Е.2 и графике на рисунке Е.2

ПЛК, дозатора был запрограммирован на ввод присадки в количестве 0,2% от объема выданного топлива.

Количество:

Введенного топлива составляет 943 литра;

Введенной в топливо ПВКЖ составляет 1,911 литра.

Данные лабораторного анализа %-содержания ПВКЖ составляет 0,203%.

Что соответствует нормативному показателю.

Таблица Е.2 – Результаты испытаний этапа №2: дозирование в режиме 0,2% ± 0,002

Время, сек	Выдано топлива, л	Введено ПВКЖ, л	Доля введённой ПВКЖ, %
1	1	0,000	0,000
2	7	0,000	0,000
3	15	0,000	0,000
4	21	0,003	0,013
5	28	0,019	0,069
6	36	0,013	0,085
7	44	0,042	0,095
8	53	0,055	0,105
9	62	0,069	0,112
10	73	0,075	0,103
11	82	0,089	0,108
12	94	0,097	0,103
13	116	0,141	0,122
14	126	0,158	0,125
15	138	0,197	0,143
16	148	0,208	0,141
17	171	0,261	0,152
18	181	0,280	0,155
19	194	0,300	0,154
20	217	0,347	0,160
21	227	0,369	0,163
22	263	0,435	0,166
23	273	0,466	0,171
24	286	0,483	0,169
25	296	0,508	0,171
26	319	0,557	0,175
27	329	0,577	0,175
28	342	0,602	0,176
29	352	0,624	0,177
30	365	0,655	0,179
31	375	0,671	0,179
32	387	0,693	0,179
33	398	0,718	0,180
34	431	0,790	0,183
35	443	0,813	0,183
36	453	0,838	0,185
37	466	0,857	0,184
38	476	0,879	0,185
39	478	0,904	0,185
40	498	0,924	0,185
41	511	0,960	0,188
42	521	0,971	0,186
43	533	0,996	0,187
44	544	1,021	0,188
45	554	1,040	0,188
46	566	1,065	0,188
47	576	1,084	0,188
48	588	1,104	0,188
49	632	1,204	0,190
50	643	1,215	0,189
51	653	1,237	0,189
52	665	1,265	0,190
53	675	1,284	0,190
54	687	1,306	0,190
55	697	1,334	0,191
56	719	1,365	0,190
57	719	1,373	0,191
58	731	1,398	0,191
59	741	1,423	0,192
60	763	1,434	0,188
61	763	1,462	0,192
62	773	1,484	0,192
63	795	1,517	0,191
64	817	1,556	0,190
65	829	1,584	0,191
66	839	1,595	0,190
67	851	1,617	0,190
68	861	1,648	0,191
69	873	1,656	0,190
70	883	1,684	0,191
71	893	1,714	0,192
72	913	1,750	0,192
73	921	1,789	0,194
74	928	1,803	0,194
75	936	1,817	0,194
76	941	1,833	0,195
77	943	1,853	0,196
78	943	1,864	0,198
79	943	1,883	0,200
80	943	1,897	0,201
81	943	1,911	0,203

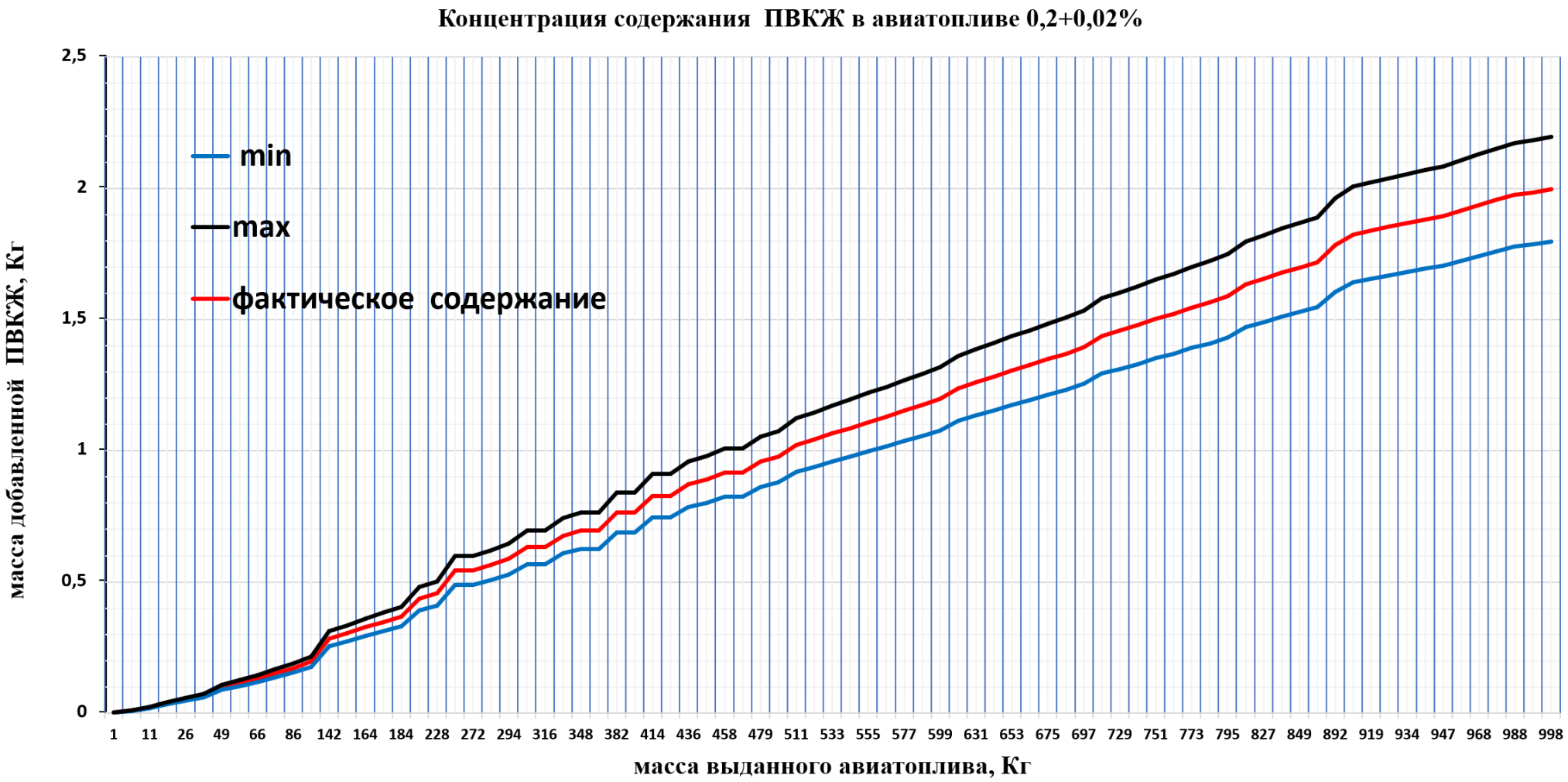


Рисунок Е.2 – Результаты испытаний этапа №2: дозирование в режиме 0,2% + 0,002

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

ИНТЕГРАЦИОННООЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ТОПЛИВОЗАПРАВОЧНОГО КОМПЛЕКСА В РАМКАХ ОПЕРАЦИЙ НАЗЕМНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В АЭРОПОРТОВОМ КОМПЛЕКСЕ

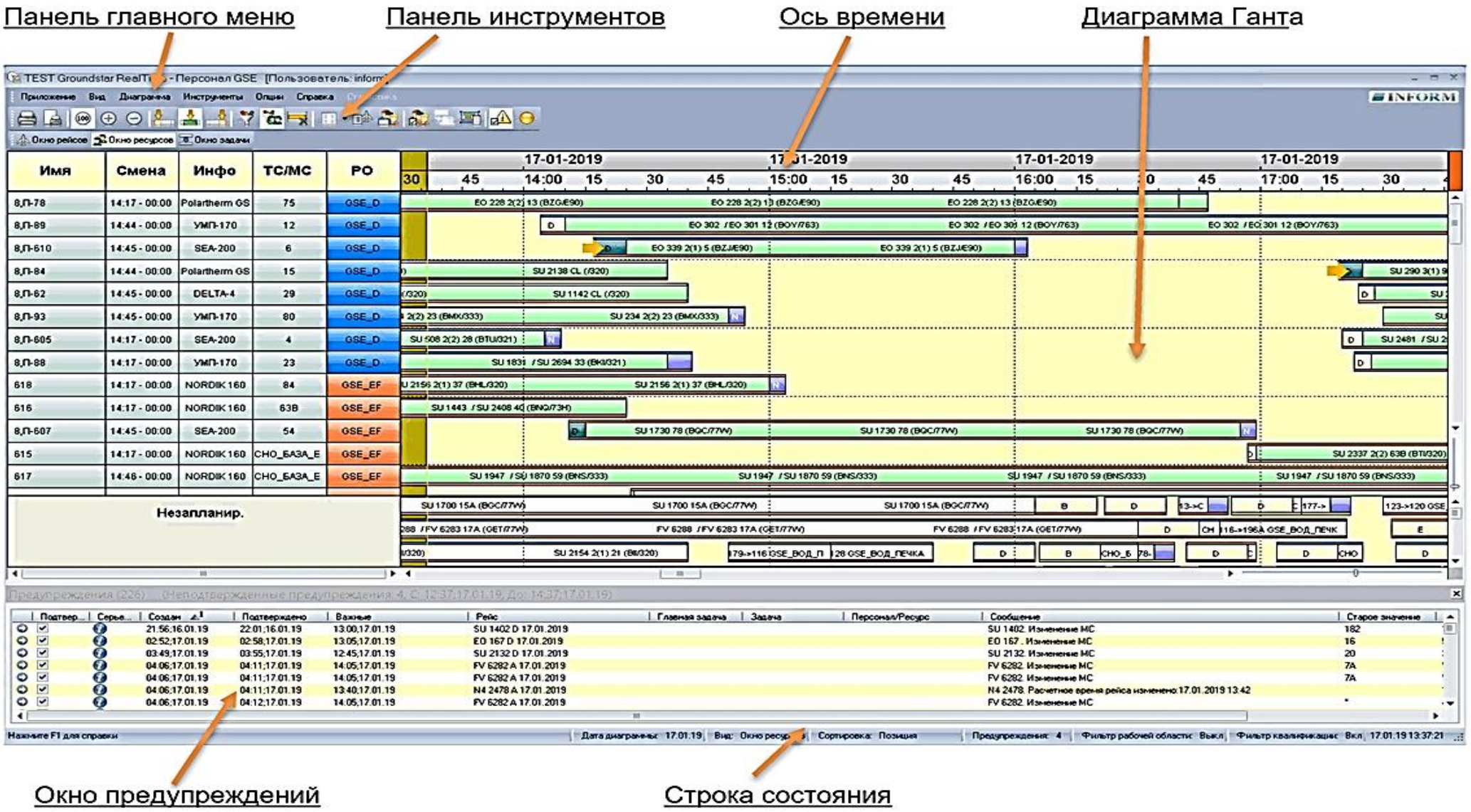


Рисунок Ж.1 – Графический интерфейс программной среды «GroundStar»

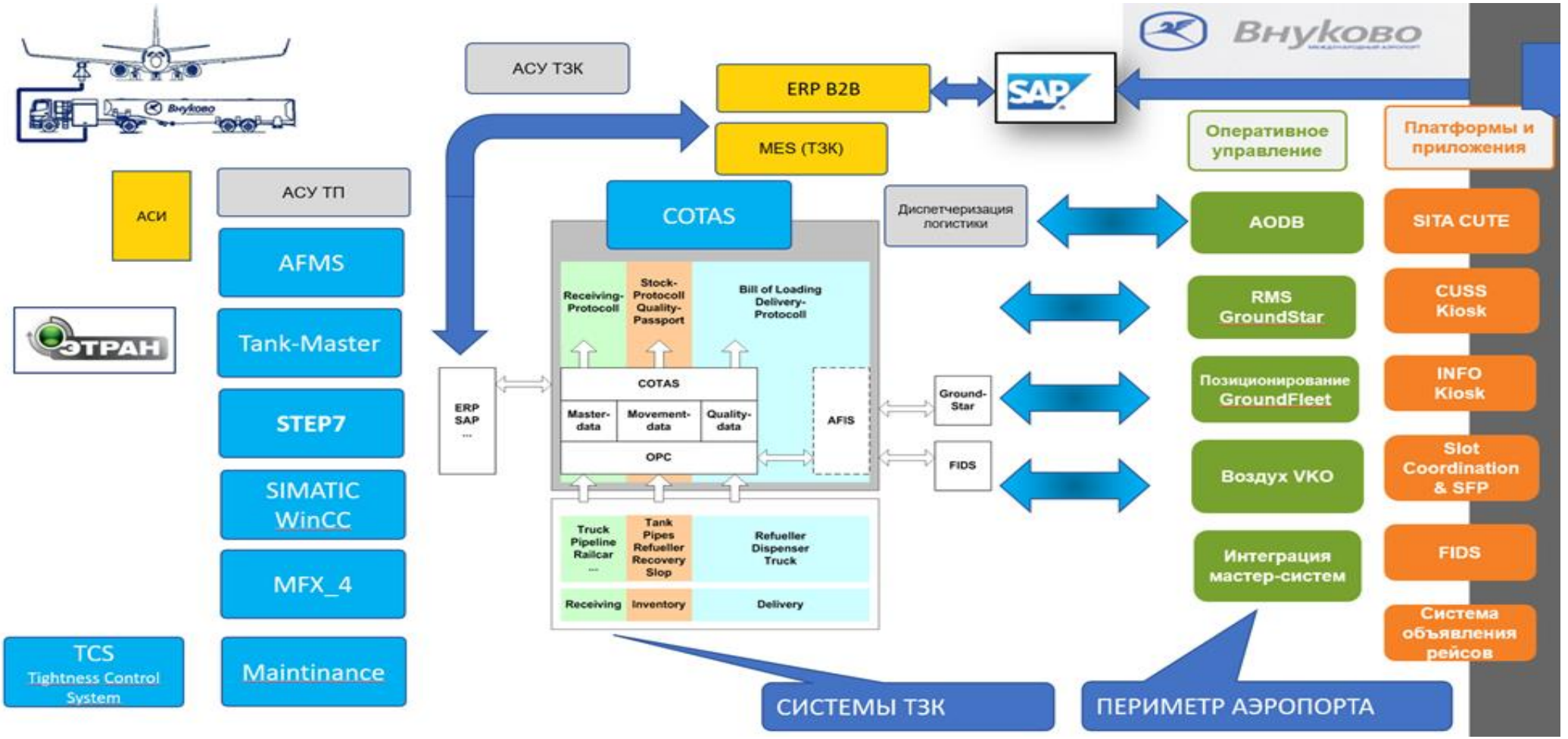


Рисунок Ж.2 – Схема интеграционного взаимодействия систем управления технологическими процессами ТЗК в рамках операций наземного обслуживания ВС в аэропортовом комплексе

Рисунок Ж.3 – Информационно управляющая система наземного обслуживания воздушных судов аэропортового комплекса, «КОБРА»

ПРИЛОЖЕНИЕ З

ПАТЕНТ НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ «УСТРОЙСТВО ДОЗИРОВАНИЯ ПРОТИВОВОДОКРИСТАЛЛИЗАЦИОННОЙ ЖИДКОСТИ (ПВКЖ) В АВИАТОПЛИВО»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 223152

УСТРОЙСТВО ДОЗИРОВАНИЯ ПРОТИВОВОДОКРИСТАЛЛИЗАЦИОННОЙ ЖИДКОСТИ (ПВКЖ) В АВИАТОПЛИВО

Патентообладатель: *Общество с ограниченной ответственностью "РН-Аэро" (RU)*

Авторы: *Дружинин Никита Александрович (RU), Белопухов Борис Валентинович (RU), Пермяков Дмитрий Вячеславович (RU), Шимель Николай Алексеевич (RU), Грязнов Олег Владимирович (RU), Козырева Анна Анатольевна (RU), Браилко Анатолий Анатольевич (RU), Козлов Александр Николаевич (RU), Грядунов Константин Игоревич (RU), Балышин Кирилл Эдуардович (RU), Савушкин Сергей Александрович (RU)*

Заявка № **2023121181**
Приоритет полезной модели **14 августа 2023 г.**
Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **02 февраля 2024 г.**
Срок действия исключительного права на полезную модель истекает **14 августа 2033 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

Рисунок З.1 – Патент на полезную модель «устройство дозирования противоводокристаллизационной жидкости (ПВКЖ) в авиатопливо»

Рисунок 3.2 – Автоматизированное рабочее место (АРМ) диспетчера управления технологическими процессами ТЗК (учебный процедурный тренажер кафедры АТО и РЛА МГТУ ГА)

Рисунок 3.3 – Автоматизированное рабочее место АРМ диспетчера управления заправкой ВС (учебный процедурный тренажер кафедры АТО и РЛА МГТУ ГА)