

УДК 621.89+665.6

DOI: 10.26467/2079-0619-2020-23-4-20-32

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – БАЗА ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ ТОПЛИВОЗАПРАВОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ АЭРОПОРТОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

А.А. БРАЙЛКО<sup>1</sup>, О.В. ГРОМОВ<sup>2</sup>, Л.А. ДРУЖИНИН<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный технический университет гражданской авиации,  
г. Москва, Россия

<sup>2</sup>ООО «Туполев Сервис», г. Москва, Россия

<sup>3</sup>Казённое предприятие города Москвы, «Выставка достижений народного хозяйства»,  
г. Москва, Россия

В статье проведен анализ основных информационных автоматизированных систем управления топливозаправочных комплексов (далее 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. Предложен путь расширения (англ. upgrade) Groundstar Inform GmbH – единой комплексной системы управления аэропортом посредством увеличения возможностей системы за счет добавления новых компонентов. Представлено решение задачи мультиресурсного планирования заправки воздушных судов (далее ВС) в условиях высокой интенсивности полетов, в том числе и в условиях сбойных ситуаций, на основе интеллектуального имитационного моделирования и управления ресурсами, а также с точки зрения оптимизации решения задач бизнес-процесса. Порекомендована разработка алгоритмов планирования с использованием математического аппарата нечеткого моделирования и управления, нечетких множеств и нечеткой логики, лежащих в основе интеллектуального моделирования процессов. Задана концепция адаптивной информационно-управляющей системы технологических процессов ТЗК для контроля чистоты авиатоплива на основе динамического on-line (онлайн) мониторинга наличия механических примесей и воды в авиатопливе. В статье рассматриваются элементы создания «Умного ТЗК», в котором интеллектуальные бизнес-процессы соединяются в одно целое благодаря использованию «умных» операционных процессов и технологического оборудования. Внедрение цифровых технологий, инструментов «индустрии 4.0» и тенденции автоматизации, цифровизации, диджитализации современного авиатопливообеспечения ВС ГА становятся базой цифровой экономики топливозаправочных комплексов ГА.

**Ключевые слова:** топливозаправочный комплекс, мультиресурсное планирование, GroundStar, автоматическое планирование и диспетчеризация, язык планирования STRIPS, динамический мониторинг наличия механических примесей и воды, информационно-управляющая система.

### ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия в гражданской авиации России произошел резкий рост объема перевозок и по этой причине происходит увеличение выполняемых заправочных операций при подготовке воздушных судов (далее ВС) к вылету, что, в свою очередь, приводит к значительной нагрузке на персонал и оборудование топливозаправочных комплексов (далее ТЗК) аэропортов.

При этом главной задачей ТЗК является организация производственных процессов и контроля качества авиатоплива в условиях жесткого соблюдения технологических графиков (слотов) заправки ВС при подготовке к вылету.

Одной из главных задач организации производства 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 ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Другими словами, стоит задача мультиматричного планирования заправки воздушных судов при протекании как жестко детерминированных (коим является план полетов аэропорта) процессов, так и стохастических процессов, которые появляются в условиях сбойных ситуаций. Под мультиматричным планированием заправки воздушных судов будем понимать алгоритм аппаратно-программного модуля планирования заправки ВС, который должен включать планирование всех ресурсов, необходимых для обеспечения суточного плана полетов. Алгоритм мультиматричного 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.

Разработка алгоритмов планирования должна вестись с использованием математического аппарата нечеткого моделирования и управления [1], нечетких множеств и нечеткой логики, лежащих в основе интеллектуального моделирования процессов. Применение комплекса математического аппарата нечетких множеств позволит строить нечеткие системы [2, 3] 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.

Решение задачи мультиматричного планирования заправки воздушных судов возможно на основе интеллектуального имитационного моделирования [4] и управления ресурсами. Исходные данные для планирования заправки 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). 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 заправки 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 [5, 6], таких, как система GroundStar<sup>1</sup> (ГраундСтар) Inform GmbH. По объему и направленности решаемых задач типовая система GroundStar вполне может служить платформой для решения прикладных задач мультиматричного планирования путем ее расширения (англ. *upgrade*), то есть путем увеличения возможностей системы за счет добавления новых компонентов (рис. 1).

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

<sup>1</sup> Fully integrated software suite for optimized aviation processes [Электронный ресурс] // Inform-digital decision making. URL: <https://www.inform-software.com/products/groundstar> (дата обращения 18.05.2020).

назовем его «Склад – Заправка». В статье [7] представлена схема управления ТЗК с применением цифровых технологий, из которой всем понятен функционал и связи модуля «Управления складами ГСМ».



Рис. 1. Схема расширения конфигурации GroundStar  
Fig. 1. GroundStar configuration extension diagram

Формализованная технологическая схема аппаратно-программного модуля «Склад – Заправка» представлена на рис. 2, 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 [5]. 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 [5], решения задач в области искусственного интеллекта должны быть комплексными, оперировать в области неопределенных множеств [3, 8] 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) [6, 8]. 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.

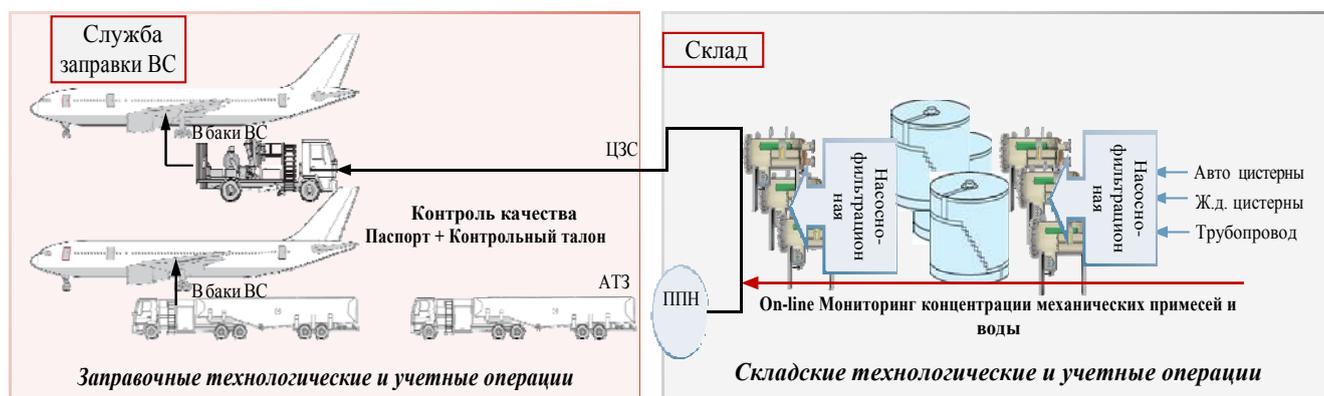


Рис. 2. Технологическая схема модуля «Склад – Заправка»  
Fig. 2. Technological diagram of Warehouse – Refueling module

Таким образом, разработка алгоритмов аппаратно-программного модуля «Склад – Заправка» с использованием программного модуля «Автоматическое планирование и диспетчеризация» и языка планирования STRIPS на базе математического аппарата неопределенных множеств позволит решить задачу мультиресурсного планирования на платформе широко эксплуатируемой в аэропортах гражданской авиации автоматизированной системы управления подготовкой к вылету ВС GroundStar путем ее расширения.

## РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЧИСТОТЫ АВИАТОПЛИВА

Другой важной задачей использования цифровых технологий в организации производственного процесса является динамический on-line (онлайн) мониторинг наличия механических примесей и воды в технологических процессах. Исследования, проведенные специалистами ТЗК, показали, что концентрации загрязнений авиатоплива и продолжительность их воздействия в эксплуатации практически невозможно отследить, так как в системе топливоподготовки происходят неконтролируемые процессы коагуляции, осаждения и формирования донных осадков, как в резервуарах, так и в трубопроводах [9, 10, 11, 12, 13].

В российских отраслевых нормативных документах<sup>2</sup> не установлены требования по обязательному контролю чистоты авиакеросина с помощью весового метода [14, 15, 16]. Индика-

<sup>2</sup>Руководство по приему, хранению, подготовке к выдаче на заправку и контролю качества авиационных горючесмазочных 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.

торы качества топлива ИКТ были разработаны и внедрены в эксплуатацию в начале 70-х годов прошлого века и предназначены для контроля содержания в авиатопливе мелкодисперсных загрязнений с малым удельным весом типа песка, глины и т.д., влияющими на интенсивность окраски индикаторного элемента и изменяющих цвет индикаторной бумаги. Между тем, текущее состояние складов ГСМ и технических средств большинства российских аэропортов характеризуется значительным сроком службы (в среднем более 20 лет) и, как следствие, значительным износом, что приводит к большому содержанию в загрязнениях металлических частиц. Этим объясняется отличие в результатах проверок с использованием ИКТ и с помощью ГОСТ 10577-78<sup>3</sup>. В связи с этим, контроль уровня чистоты авиакеросина только визуальным методом и с помощью индикаторов качества топлива ИКТ представляется недостаточным, поэтому предприятиям гражданской авиации было рекомендовано использовать для контроля уровня чистоты авиакеросина весовой метод ГОСТ 10577-78.

Таким образом назрела необходимость разработки и внедрения автоматизированной системы контроля концентрации загрязнений в авиатопливе с применением цифровых технологий. Существующий в топливозаправочных комплексах порядок отбора проб направлен на получение дискретных значений показателей концентрации загрязнений и не отображает истинную картину, так как загрязнения в топливе распределены по времени и объему неравномерно: например, топливо с высокими концентрациями загрязнений может поступать на фильтроэлементы кратковременно, например, в начальный момент прокачки топлива.

Для перехода на новый уровень оценки чистоты в потоке авиатоплива разработаны инновационные системы и устройства для осуществления мониторинга уровня чистоты авиатоплива в потоке, что подтверждено рядом патентов [17, 18]. В основе разработанной информационной системы непрерывного контроля чистоты топлива в потоке лежит методология требований ГОСТ 10577-78 по определению массовой доли загрязнений авиатоплива (гравиметрический метод) и требований по ГОСТ 17216-2001<sup>4</sup> при анализе гранулометрического состава загрязнений, а также исследования авторов [13, 19, 20].

Цифровой преобразователь функциональных зависимостей с применением системы MasterSCADA<sup>5</sup> выдает цифровое и графическое представление изменения уровня чистоты авиатоплива каждые 10 секунд и данные по составу четырех размерных групп частиц механических примесей, присутствующих в потоке топлива. Программа рассчитана на одновременную работу с параметрами более 10 устройств мониторов, расположенных в различных местах. Проверочные лабораторные анализы чистоты топлива гравиметрическим методом корректируют исходные математические зависимости и значительно повышают точность измерений.

Создание представленной информационно-управляющей системы, стало возможным благодаря появлению отечественных интеллектуальных (цифровых) устройств, датчиков давления высокой чувствительности, которые позволяют оперативно оценивать изменения массы загрязнений в потоке авиатоплива.

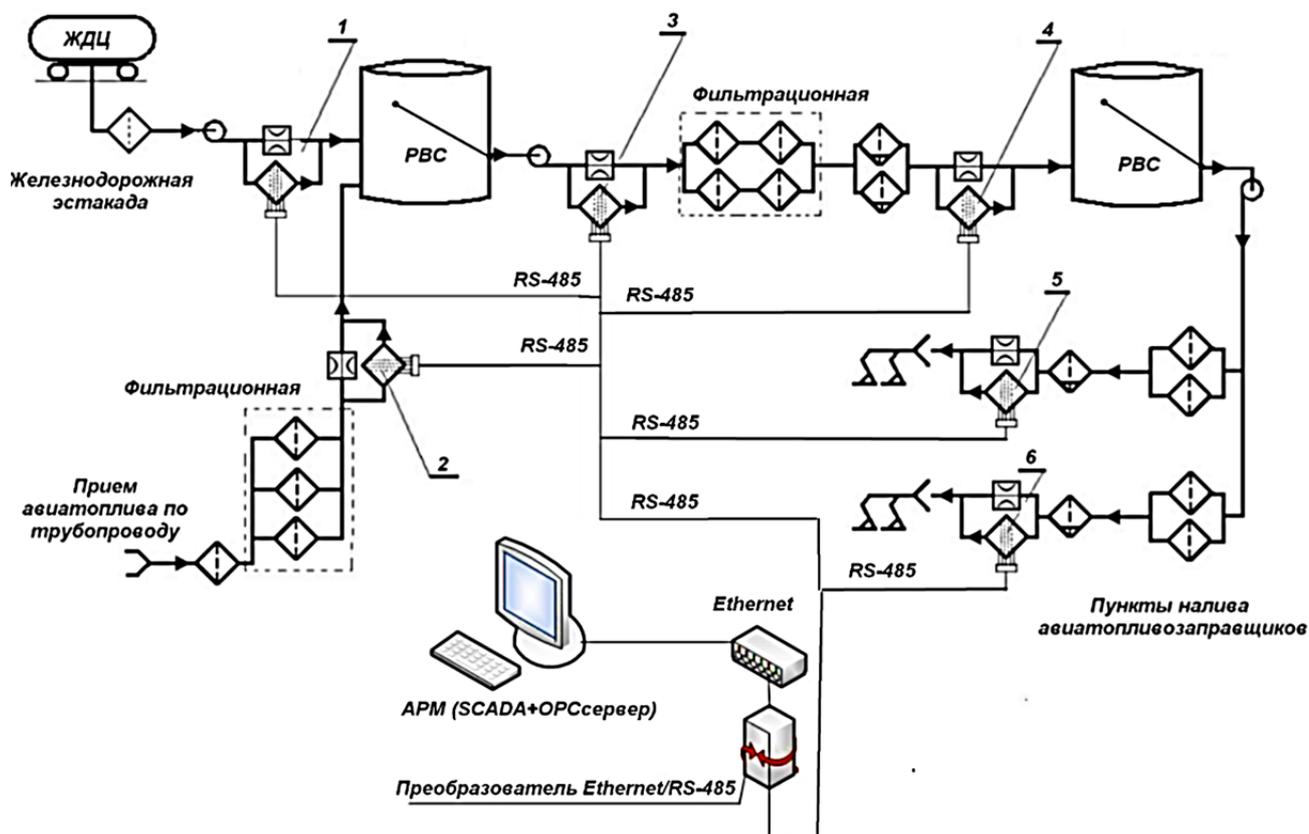
На рис. 3 представлена технологическая схема информационно-управляющей системы непрерывного мониторинга уровня чистоты авиатоплива с использованием поточных устройств контроля содержания механических примесей (мониторов). В технологической цепочке очистки топлива установлено несколько аналогичных мониторов, каждый из которых непрерывно анализирует концентрацию механических примесей в топливе с заданным периодом времени (1–10 секунд).

<sup>3</sup> ГОСТ 10577-78. Нефтепродукты. Метод определения содержания механических примесей. М.: Издательство стандартов, 1978. 7с.

<sup>4</sup> ГОСТ 17216-71. Промышленная чистота. Классы чистоты жидкостей. М.: Издательство стандартов, 1971. 5 с.

<sup>5</sup> MasterSCADA — программный пакет для проектирования систем диспетчерского управления и сбора данных SCADA [Электронный ресурс] // Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/SCADA> (дата обращения 23.05.2020).

С помощью устройств мониторинга [2112] производится непрерывный контроль количественного содержания механических примесей по всей технологической цепи движения авиатоплива на складах ГСМ ТЗК аэропортов.

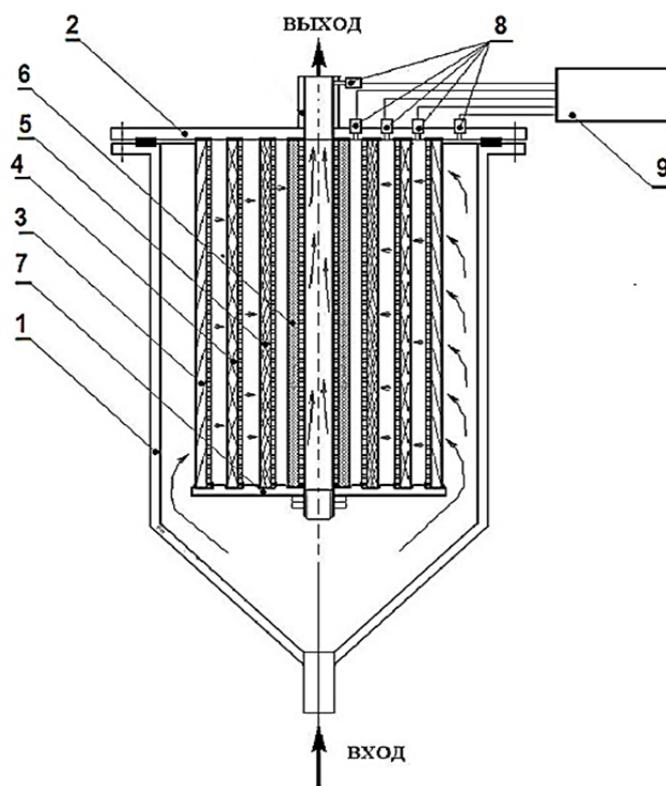


**Рис. 3.** Структурная схема информационно-управляющей системы контроля чистоты авиатоплива, сбор информации об уровне чистоты от механических примесей и воды:

1. при приеме авиатоплива из ЖДЦ; 2. при приеме авиатоплива по трубопроводу; 3. при перекачке авиатоплива из приемных резервуаров в расходные (после отстоя); 4. при перекачке авиатоплива из приемных резервуаров в расходные (после фильтрации и водоотделения); 5. при выдаче авиатоплива в средства заправки (авиатопливозаправщики); 6. при выдаче авиатоплива в средства заправки (авиатопливозаправщики)

**Fig. 3.** The structural diagram of the information-management system for monitoring the cleanliness of jet fuel, collecting information of the level of purity from mechanical impurities and water: 1. When receiving jet fuel from the railway center; 2. When receiving jet fuel through the pipeline; 3. When pumping jet fuel from receiving tanks to supply tanks (after sedimentation); 4. When pumping jet fuel from receiving tanks to supply tanks (after filtration and water separation); 5. When dispensing jet fuel to refueling facilities (aviation refuellers); 6. When dispensing aviation fuel to refueling facilities (aviation refuellers)

На рис. 4 представлен эскиз устройства монитора. В основе применения информационно-управляющей системы мониторинга лежит принцип пофракционного отсеивания частиц механических примесей фильтрующими перегородками разной пористости, их концентрации и количества и распределения по размерам частиц. Программируемый логический контроллер, используя данные базы данных библиотеки, в которых сохранены предварительно полученные тарифовочные данные, позволяет устанавливать связь между гидравлическим сопротивлением и весовым количеством частиц, задержанных каждой фильтрующей перегородкой, и сохранять данные динамики процесса загрязнения фильтрующих перегородок, а также графически отображать этот процесс на экране дисплея в режиме реального времени.



**Рис. 4.** Устройство монитора количественного, где: 3, 4, 5 и 6 – откалиброванные фильтрующие перегородки  
**Fig. 4.** Device for monitoring the quantitative content of mechanical impurities in the jet fuel stream (monitor), where: 3, 4, 5 and 6 calibrated filter baffles

Для решения проблемы надежности получения достоверных данных в информационно-управляющей системе мониторинга предложен способ сравнения исходных данных уравнений функций от результатов для каждого из четырех индикаторных фильтроэлементов, учитывающий изменения реального элементного состава (удельного веса) механических загрязнений. Способ заключается во внесении в программу сравнения постоянных после математической обработки данных поправочного коэффициента, учитывающего эти изменения. На рис. 5 представлена схема работы информационно-управляющей системы, обработки данных мониторинга содержания мехпримесей в потоке авиатоплива. Конечным результатом обработки данных, полученных с мониторов, является показатель весовой концентрации механических примесей (С, г/т) и его изменение во времени, величина значений весовой концентрации механических примесей, полученных в результате реальных лабораторных измерений проб авиатоплива весовым методом.

В результате применения информационно-управляющей системы удержания заданной чистоты авиатоплива с учетом общего расхода топлива стало возможным в онлайн режиме получать объективные данные об уровне чистоты авиационного топлива на всех этапах авиатопливообеспечения: при приеме, выдаче и заправке.

Система мониторинга позволяет в режиме реального времени, осуществлять непрерывный контроль уровня загрязнения потока авиатоплива в различных точках технологического оборудования, определять эффективность работы оборудования топливоподготовки ТЗК, систем фильтрации и средств заправки ВС [19, 22].

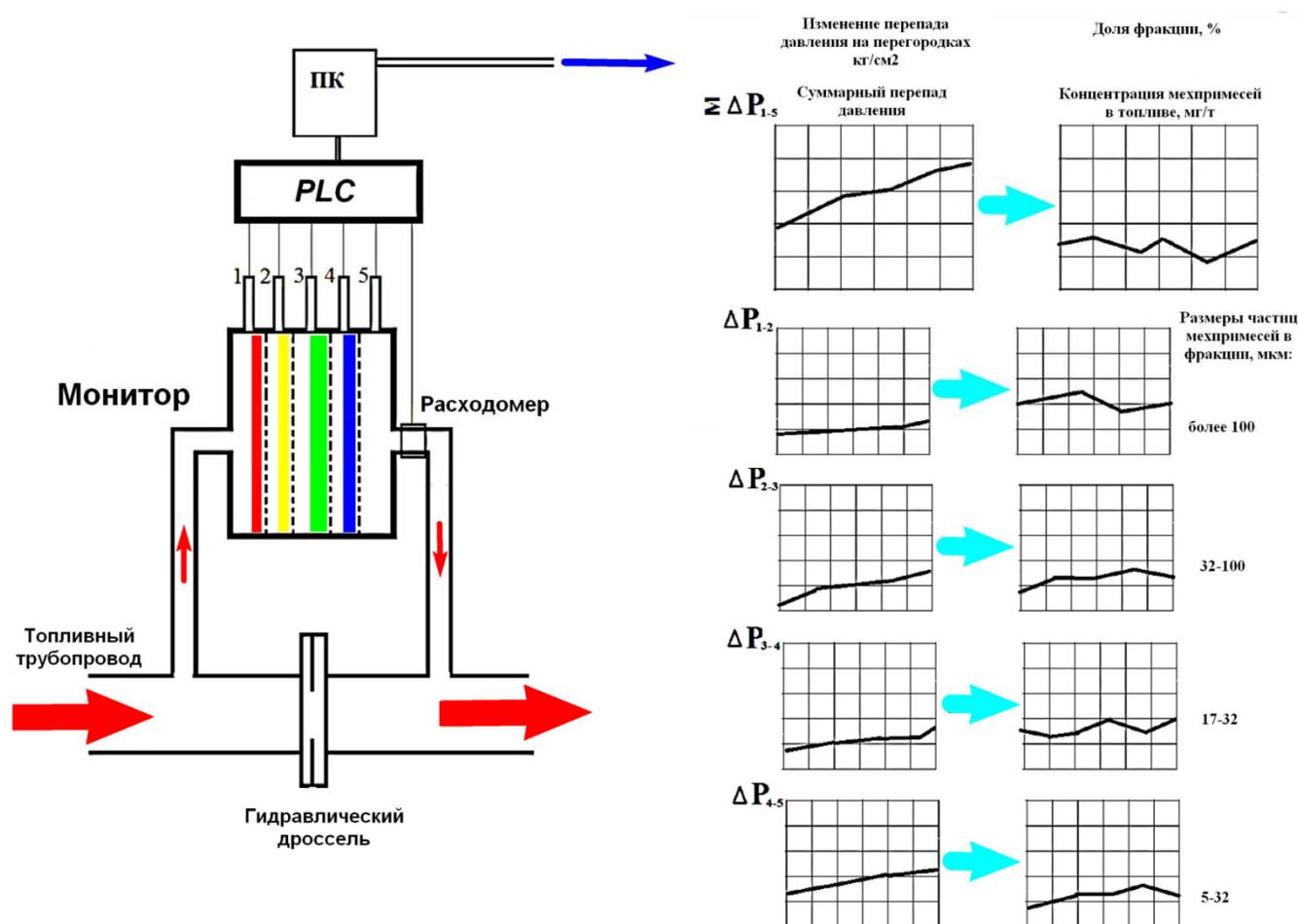


Рис. 5. Схема работы информационно-управляющей системы, обработки данных мониторинга содержания мехпримесей в потоке авиатоплива

Fig. 5. Scheme of the information management system, processing data for monitoring the content of mechanical impurities in the jet fuel stream

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аэропорт – высокотехнологичный бизнес, огромное количество ежеминутных операций по обслуживанию авиакомпаний, человек не может принять такое количество решений, управление традиционными ручными способами становится неэффективным и неконкурентоспособным, осложняют картину непрогнозируемые операции, например, задержки рейса или прилет ранее – одинаково стрессовая ситуация, любые изменения требуют мгновенной перенастройки многих взаимосвязанных ресурсов, поэтому автоматизация авиатопливообеспечения имеет особую актуальность ввиду высокой стоимости бизнеса и, что особенно важно, высокой ответственности за безопасность полетов, еще больше повышает значимость классификация технадзора ТЗК, как объект повышенной опасности.

Цифровой ТЗК представляет собой конвергенцию, где сходятся возможности многих составляющих компонентов. Применение современных микропроцессорных технических и программных средств обеспечивает развитие цифрового ТЗК и его интеграцию в производственную информационную сеть аэропорта. Внедрение средств автоматизации позволяет повысить качество управления складом ГСМ, заправки ВС и оперативно решать вопросы с внешними ор-

ганизациями, полная интеграция и неограниченный обмен данными со всеми системами аэропорта в режиме реального времени, позволяет принимать более качественные оперативные решения на основе реальных данных.

В статье предложен путь расширения (англ. upgrade) Groundstar Inform GmbH – единой комплексной системы управления аэропортом посредством увеличения возможностей системы за счет добавления новых компонентов.

В статье проанализирована возможность создания адаптивной информационно-управляющей системы поддержания заданного уровня чистоты на основе непрерывного мониторинга контроля чистоты авиатоплива. Применение данной системы позволяет в режиме реального времени принимать решение о кондиционности авиатоплива.

Современный ТЗК уже немислим без трансформации систем, без преобразования существующих, стремительно устаревающих технологий. Бурное развитие и прогресс в эпоху 4-й промышленной революции меняет наши представления о подходах к решению этих вызовов<sup>6</sup>.

## ВЫВОДЫ

1. На основании проведенного анализа отечественного и зарубежного опыта был сделан вывод, что широко эксплуатируемая в аэропортах гражданской авиации автоматизированная система управления подготовки к вылету ВС GroundStar Inform GmbH не в полном объеме решает задачи служб заправки ВС в плане планирования и контроля исполнения топливозаправочных операций.

2. В результате анализа установлено, что данная система не решает задачу планирования и контроля обеспечения авиатопливом, допущенного к выдаче на заправку и других сопутствующих задач на смену.

3. Целесообразно для решения этой задачи с целью оптимизации решения задач бизнес-процесса произвести апгрейд (англ. upgrade) системы Groundstar Inform GmbH и разработать аппаратно-программный модуль «Склад – Заправка», функционально предназначенный для планирования и контроля качества авиатоплива для выдачи на заправку с целью увеличения возможностей системы за счет добавления новых компонентов.

4. Проведён расчет с использованием математического аппарата нечеткого моделирования и управления, нечетких множеств и нечеткой логики, лежащих в основе интеллектуального моделирования процессов управления ресурсами. Предложена разработка 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 мультиресурсного планирования заливок воздушных судов в условиях высокой интенсивности полетов, в том числе и в условиях сбойных ситуаций.

5. Разработана модель адаптивной информационно-управляющей системы удержания заданной чистоты авиатоплива для АСУТП ТЗК на основе динамического on-line (онлайн) мониторинга наличия механических примесей и воды в авиатопливе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление: пер. с англ. 2-е изд. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. 798 с.

<sup>6</sup> Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации».

2. **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.
3. **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.
4. **Гостев В.И.** Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления. Киев: "Радіаматор", 2008. 972 с.
5. **Пирогов Ю.Н.** Математическое моделирование процессов функционирования объектов технических средств обеспечения горючим. М.: Неография, 2006. 228 с.
6. **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.
7. **Громов В.К.** Концепция модернизации. Процессный подход к организации топливо-заправочных комплексов аэропортов // Информационный сборник Ассоциации ОАТО ВС ГА. 2011. № 6. С. 36–41.
8. **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.
9. **Коваленко В.П., Ильинский А.А.** Основы техники очистки жидкостей от механических примесей. М.: Химия, 1982. 272 с.
10. **Ентов В.М.** Теория фильтрации // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 2. С. 121–128.
11. **Бродский Г.С.** Фильтры и системы фильтрации для мобильных машин. М.: Горная промышленность, 2004. 359 с.
12. **Браилко А.А.** Мониторинг чистоты топлив в системе топливообеспечения ЗАО «Топливо-заправочный сервис» а/п «Внуково» // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: X Международная научно-техническая конференция. Москва, 24 апреля 2013 г. М.: МГТУ ГА, 2013. С. 25.
13. **Титов И.В., Говоров А.Т.** Обводнение авиатоплив и очистка их от механических примесей и воды. М.: ГосНИИ ГА, 1970. 14 с.
14. **Яновский Л.С.** Инженерные основы авиационной химмотологии: монография / Л.С. Яновский, Н.Ф. Дубовкин, Ф.М. Галимов, Н.Ф. Гортышев и др. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 2005. 713 с.
15. **Большаков Г.Ф.** Восстановление и контроль качества нефтепродуктов. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Недра, 1982. 350 с.
16. **Тихонов Н.И., Саленко Н.Н., Лебедева Г.И.** Обеспечение чистоты топлив в условиях аэродромной эксплуатации // Эксплуатационные свойства авиационных топлив: труды конференции. Киев: КИИГА, 1972. С. 85–89.
17. **Браилко А.А.** Устройство контроля содержания механических примесей в жидкости и система мониторинга содержания механических примесей в потоке жидкости / А.А. Браилко, Н.А. Дружинин, Л.А. Дружинин, А.В. Смутьский, М.А. Смутьская, Н.Е. Сыроедов. Патент ПМ RU № 141654, 26.08.2015.
18. **Браилко А.А.** Способ контроля содержания механических примесей в жидкости, устройство для его осуществления и система мониторинга содержания механических примесей в потоке жидкости / А.А. Браилко, Н.А. Дружинин, Л.А. Дружинин, А.В. Смутьский, М.А. Смутьская, Н.Е. Сыроедов и др. Патент RU № 2563813, 29.05.2017.
19. **Рыбаков К.В.** Фильтрация авиационных топлив. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1983. 158 с.
20. **Тук Д.Е., Гарипов А.А., Целищев В.А.** Исследование течения жидкости в фильтро-элементах с объемным принципом фильтрации // Вестник УГАТУ. 2011. Т. 15, № 4 (44). С. 159–163.

21. Браилко А.А., Смутьский А.А. Оценка остаточного ресурса фильтроэлементов // Информационный сборник ОАТО ВС ГА. 2013. № 8. С. 66–69.

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

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Браилко Анатолий Анатольевич**, кандидат технических наук, соискатель кафедры авиатопливообеспечения и ремонта летательных аппаратов МГТУ ГА, [brailko@tzsvko.aero](mailto:brailko@tzsvko.aero).

**Громов Олег Владимирович**, кандидат экономических наук, Советник Генерального директора ООО «Туполев Сервис», [o.gromov@sorge.pro](mailto:o.gromov@sorge.pro).

**Дружинин Лев Александрович**, специалист по учёту ГСМ, КП «ВДНХ», [lev19.a@yandex.ru](mailto:lev19.a@yandex.ru).

## DIGITAL TECHNOLOGIES ARE THE BASIS OF DIGITAL ECONOMY OF CIVIL AVIATION AIRPORT REFUELING COMPLEXES

**A.A. Brailko<sup>1</sup>, O.V. Gromov<sup>2</sup>, L.A. Druzhinin<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Moscow State Technical University of Civil Aviation,  
Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*LLC "Tupolev Service", Moscow, Russia*

<sup>3</sup>*VDNH State-Owned Enterprise, Moscow, Russia*

### ABSTRACT

The article analyzes the main information automated control systems for refueling complexes, based on this analysis, the problems of the airport ground handling functioning are identified, the main of which are the inefficiency of managing stochastic processes that occur in failure situations, as well as the lack of automated control systems for the level of purity of aviation fuel from mechanical impurities and water. The way to upgrade GroundStar Inform GmbH - a single integrated airport management system by increasing the capabilities of the system by adding new components is proposed. A solution to the problem of multi-resource planning of aircraft refueling in high-intensity flight conditions, including failure situations, based on intelligent simulation and resource management is proposed. As well as from the point of view of optimizing the solution of business process objectives the development of planning algorithms using the mathematical apparatus of fuzzy modeling and control, fuzzy sets and fuzzy logic underlying the intelligent modeling of processes is proposed. The concept of an adaptive information management system of technological processes of a refueling complex for monitoring the purity of jet fuel, based on dynamic on-line monitoring of the existence of mechanical impurities and water is introduced. The article examines the elements of creating a "Smart Refueling Complex", in which intelligent business processes are combined into one whole due to the use of "smart" operational processes and technological equipment. The introduction of digital technologies, "industry 4.0" tools and trends in automation, digitalization and digitalization of the modern aviation fuel supply for civil aviation is becoming the basis of the digital economy of civil aviation refueling complexes.

**Key words:** refueling complex, multi-resource planning, GroundStar automatic planning and centralization of control, STRIPS planning language, dynamic monitoring of the existence of mechanical impurities and water, information-management system.

### REFERENCES

1. **Pegat, A.** (2001). *Fuzzy modeling and control*. Physica-Verlag Heidelberg, 728 p. DOI: 10.1007/978-3-7908-1824-6

2. **Zade, L.A.** (1976). *The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning*. Moscow: Mir, 165 p.

3. Kaufmann, A. (1977). *Introduction a la theorie des sous-ensembles flous*. Masson, Paris.
4. Gostev, V.I. (2008). *Nechetkiye regulatory v sistemakh avtomaticheskogo upravleniya* [Fuzzy regulators in automatic control systems]. Kiev: Radiamator, 972 p. (in Russian)
5. Pirogov, Yu.N. (2006). *Matematicheskoye modelirovaniye protsessov funktsionirovaniya obyektov tekhnicheskikh sredstv obespecheniya goryuchim* [Mathematical modeling of the refueling technical facilities functioning processes]. Moscow: Neografiya, 228 p. (in Russian)
6. Ventzel, E.S. and Ovcharov, L.A. (2013). *Teoriya sluchaynykh protsessov i yeye inzhernyye prilozheniya: uchebnoye posobiye dlya VTUZov* [The theory of random processes and its engineering applications]. 5th ed., ster., Moscow: KNORUS, 448 p. (in Russian)
7. Gromov, V.K. (2011). *Kontseptsiya modernizatsii. Protsessornyy podkhod k organizatsii toplivozapravochnykh kompleksov aeroportov* [The concept of modernization. The process approach to the organization of airport fueling complexes]. Informatsionnyy sbornik Assotsiatsii OATO VS GA, no. 6, pp. 36–41. (in Russian)
8. Jager, R.R. (1982). *Fuzzy sets and the theory of possibilities. Recent achievements*. Pergamon Press, Oxford, New York, 672 p.
9. Kovalenko, V.P. and Ilinskiy, A.A. (1982). *Osnovy tekhniki ochistki zhidkostey ot mekhanicheskikh primesey* [Basics of techniques for cleaning liquids from mechanical impurities]. Moscow: Khimiya, 272 p. (in Russian)
10. Entov, V.M. (1998). *Teoriya filtratsii* [Theory of filtration]. Soros educational journal, no. 2. pp. 121–128. (in Russian)
11. Brodskiy, G.S. (2004). *Filtry i sistemy filtratsii dlya mobilnykh mashin* [Filters and filtration systems for mobile machines]. Moscow: Gornaya promyshlennost, 359 p. (in Russian)
12. Brailko, A.A. (2013). *Monitoring chistoty topliv v sisteme toplivoobespecheniya ZAO «Toplivo-zapravochnyy servis» aeroporta «Vnukovo»* [Monitoring fuel purity in the fuel supply system of CJSC Fuel-Filling Service, Vnukovo Airport]. Grazhdanskaya aviatsiya na sovremennom etape razvitiya nauki, tekhniki i obshchestva: sbornik trudov X mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Scientific and technical conference: Civil Aviation at the present stage of development of science, technology and society]. Moscow: MGTU GA, p. 25. (in Russian)
13. Titov, I.V. and Govorov, A.T. (1970). *Obvodneniye aviatoptiv i ochistka ikh ot mekhanicheskikh primesey i vody* [Water flooding of jet fuels and their cleaning from mechanical impurities and water]. Moscow: GosNII GA, 14 p. (in Russian)
14. Yanovskii, L.S., Dubovkin, N.F., Galimov, F.M. and Gortyshev, N.F. (2005). *Inzhernyye osnovy aviatsionnoy khimotologii: Monografiya* [Engineering Foundations of Aviation Chemotology: Monograph]. Kazan: Izdatelstvo kazanskogo universiteta, 713 p. (in Russian)
15. Bolshakov, G.F. (1982). *Vosstanovleniye i control kachestva nefteproduktov* [Reviving and quality control of petroleum products]. 2nd ed., pererab. i dop., Leningrad: Nedra, 350 p. (in Russian)
16. Tikhonov, N.I., Salenko, N.N. and Lebedeva, G.I. (1972). *Obespecheniye chistoty topliv v usloviyakh aerodromnoy ekspluatatsii* [Ensuring the purity of fuels under conditions of aerodrome operation]. Ekspluatatsionnyye svoystva aviatsionnykh topliv: trudy konferentsii [Operational properties of aviation fuels: Tr. Conferences]. Kiev: KIIGA, pp. 85–89. (in Russian)
17. Brailko, A.A., Druzhinin, N.A., Druzhinin, L.A., Smulskiy, A.V., Smulskaya, M.A. and Syroyedov, N.Ye. (2015). *Ustroystvo kontrolya soderzhaniya mekhanicheskikh primesey v zhidkosti i sistema monitoring soderzhaniya mekhanicheskikh primesey v potoke zhidkosti* [A device for monitoring the content of mechanical impurities in a liquid and a system for monitoring the content of mechanical impurities in a fluid stream]. Patent PM RU, no. 141654, August 26, 2015. (in Russian)
18. Brailko, A.A., Druzhinin, N.A., Druzhinin, L.A., Smulskiy, A.V., Smulskaya, M.A. and Syroyedov, N.Ye. (2017). *Sposob kontrolya soderzhaniya mekhanicheskikh primesey v zhidkosti, ustroystvo dlya yego osuchshestvleniya i sistema monitoring soderzhaniya mekhanicheskikh primesey v potoke* [A method for controlling the content of mechanical impurities in a liquid, for its implementa-

tion, and a system for monitoring the content of mechanical impurities in a fluid stream]. Patent RU, no. 2563813, May 29, 2017. (in Russian)

**19. Rybakov, K.V.** (1983). *Filtratsiya aviatsionnykh topliv* [Filtration of aviation fuels]. 2nd ed., pererab. i dop., Moscow: Transport, 158 p. (in Russian)

**20. Tuk, D.E., Garipov, A.A. and Tselishchev, V.A.** (2011). *Research of a current of a liquid in filterelements with a volume principle of a filtration*. Vestnik UGATU, vol. 15, no. 4 (44). pp. 159–163. (in Russian)

**21. Brailko, A.A. and Smulskiy, A.A.** (2013). *Otsenka ostatochnogo resursa filtroelementov* [Estimation of the residual resource of filter elements]. Moscow: Informatsionnyy sbornik OATO VS GA, no. 8, pp. 66–69. (in Russian)

**22. Rybakov, K.V., Zhuldybin, Ye.N. and Kovalenko, V.P.** (1979). *Obezvozhivaniye aviatsionnykh goryuche-smazochnykh materialov* [Dehydration of aviation fuels and lubricants]. Moscow: Transport, 181 p. (in Russian)

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Anatoly A. Brailko**, Candidate of Technical Sciences, Doctoral Student of the Aviation Fuel Supply and Aircraft Repair Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, [brailko@tzsvko.aero](mailto:brailko@tzsvko.aero).

**Oleg V. Gromov**, Candidate of Economic Sciences, Adviser to the Director General of LLC "Tupolev Service", [o.gromov@sorge.pro](mailto:o.gromov@sorge.pro).

**Lev A. Druzhinin**, Fuel Metering Specialist, State-Owned Enterprise "VDNH", [lev19.a@yandex.ru](mailto:lev19.a@yandex.ru).

Поступила в редакцию 07.06.2020  
Принята в печать 23.07.2020

Received 07.06.2020  
Accepted for publication 23.07.2020