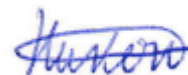


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

На правах рукописи



Никонов Юрий Юрьевич

**Разработка проблемно-ориентированной системы информационной
поддержки решений для контроля подлинности паспортизированных
компонентов воздушных судов**

Специальность 2.3.1 -

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (Московский авиационный институт, МАИ)

Научный Руководитель: **Буряк Юрий Иванович**
доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры 609 «Прикладная информатика» Московского авиационного института

Официальные оппоненты: **Аристова Наталья Игоревна**
доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова» Российской академии наук

Бехтер Александр Трофимович
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского центра (г. Люберцы) ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт Военно-воздушных сил» Министерства обороны Российской Федерации

Ведущая организация: **Федеральное государственное унитарное предприятие Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, 125438, Российская Федерация, г. Москва, ул. Михалковская, д. 67, к. 1**

Защита состоится «16» октября 2025 года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.327.03 в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по адресу: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» и на сайте МАИ по ссылке: https://mai.ru/events/defence/?ELEMENT_ID=185330

Автореферат разослан «___» _____ 2025 года.

Отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просим отправлять по адресу: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4, Отдел подготовки кадров высшей квалификации.

Ученый секретарь диссертационного совета 24.2.327.03,
доктор технических наук, доцент

Старков А.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы и степень разработанности темы исследования. Цифровая трансформация производственных отношений рождает ряд новых задач, в том числе в сфере интеграции разнородных источников данных предприятий – участников жизненного цикла сложной научно-технической продукции. Такие задачи возникают, например, в инспекционном контроле летной годности воздушных судов (ВС), включающем комплексную проверку свойств ВС для обеспечения безопасности полетов с последующей выдачей или возобновлением сертификата летной годности (СЛГ). Снижение затрат на процедуры контроля летной годности при сохранении должного уровня безопасности полётов можно рассматривать в качестве важного условия конкурентоспособности отечественных ВС на мировом и российском рынке авиаперевозок.

Однако в силу многообразия типов ВС, а, следовательно, и процессов их эксплуатации, а также видов информационных систем сопровождения эксплуатации ВС, выполнение требований нормативных документов по согласованному сбору сведений для контроля летной годности приводит к увеличению сроков проведения инспекционного контроля ВС, т.е. повышению затрат.

Реализация подходов по повышению эффективности информационного сопровождения эксплуатации ВС требует создания гибкой информационной системы, которая объединит всех участников процесса, осуществляющих контроль летной годности ВС (источники информации о легальности производителей, ремонтных и эксплуатирующих организаций, характеризующих фактическое состояние ВС) в единое информационное пространство (ЕИП).

В настоящее время задачи информационного обеспечения эксплуатации ВС уже решаются с помощью следующих систем, например: АСУ ПЛГ ВС, CAMP, my Boeing fleet, AirnavX, ИУС «Эрлан-3», AMOS, IBM Maximo for Aviation MRO, Ramco MRO Aviation, SAM, Veryon и др.

Однако функциональные возможности таких систем не поддерживают вопросы сбора актуальных, полных и разнородных сведений о текущем состоянии их паспортизированных компонентов, состоящих из паспортов и изделия (далее компонентов) за минимальное время (критерий минимума данного параметра), например: заданной и фактической периодичности обслуживания, остаточного ресурса, корректности заполнения

удостоверяющей документации, использование электронной и «бумажной» форм и пр.

Отметим, что сбор данных о паспортизированных компонентах включает ряд независимых операций в части паспорта и изделия с последующей интеграцией полученных сведений для подтверждения их подлинности, что ведет к необходимости углубления контроля и увеличения сроков проведения работ.

Дополнительные сложности вносит наличие ограничений в доступе к источникам данных по признаку «коммерческая тайна», а также необходимость проверки сведений на достоверность, что приводит к организации дополнительных (перекрестных) запросов.

Свой вклад в развитие технологий интеграции и инструментов работы в ЕИП внесли как отечественные (М.В. Кулагин, В.А. Серебряков, Глушков М.В, Лебедев А.С, Ершов А.П., Брук И.С, Канторович Л.В.), так и зарубежные ученые (Делвин Г., Фукс-Китовски Ф., Винер Н., Кнут Д., Ритчи Д., Страуструп Б., Тордвальдс С.).

Однако их работы носят во многом теоретический характер, рассматривая общие вопросы минимизации времени взаимодействия разнородных источников путем оптимизации трафика Internet сетей, увеличения их пропускной способности, а также интеграции данных на семантическом уровне, интеграции метаданных и пр.

Специфические особенности рассматриваемой задачи (параметры разрабатываемой системы), обусловленные необходимостью интеграции структурированных/не структурированных источников данных самых разных форматов, в том числе баз данных (SQL/NoSQL), совокупности таблиц или просто файлов разных форматов (doc, xml, xls, pdf csv, json и пр) за минимальное время обуславливают необходимость решения задачи синтеза проблемно-ориентированной системы, способной формировать множественные запросы к территориально распределенным источникам разнородных данных, используя комбинацию ETL (extract, transform, load технология) и Web (RESTful, SOAP, JSON, GraphQL и прочих технологий обмена данными) сервисов.

Таким образом, актуальность работы определяется необходимостью решения задачи синтеза новой проблемно-ориентированной системы как нового инструмента создания ЕИП, обеспечивающей выполнение всех требований по качественным и количественным характеристикам данных (скорости передачи и объема) при контроле летной годности ВС, что в конечном итоге позволит снизить эксплуатационные затраты.

Целью диссертационной работы является повышение технико-экономической эффективности процессов интеграции разнородных информационных ресурсов для контроля подлинности паспортизированных компонентов ВС при эксплуатации авиационной техники за счет создания новой проблемно-ориентированной системы информационной поддержки решений.

Для достижения цели работы были поставлены и решены следующие **основные задачи:**

1. Анализ существующих подходов к контролю подлинности паспортизированных компонентов ВС, выявление направлений повышения эффективности процессов сбора, обработки и передачи данных.

2. Разработка модели описания проблемно-ориентированной системы информационной поддержки решений.

3. Разработка метода и алгоритмов синтеза проблемно-ориентированной системы информационной поддержки решений для существующих условий сбора, обработки и передачи данных, основными из которых являются:

- алгоритм оптимизации параметров проблемно-ориентированной системы, обеспечивающий организацию информационного взаимодействия разнородных источников/потребителей данных за минимальное время;

- разработка метода выбора характеристик проблемно-ориентированной системы с учетом параметров интегрируемых источников/потребителей данных.

4. Разработка информационной модели и программного комплекса, позволяющего на основе обработки информации об источниках/потребителях данных производить структурно-параметрический синтез проблемно-ориентированной системы.

5. Экспериментальное апробирование программного комплекса, реализующего предложенные модель, метода и алгоритмы.

При решении перечисленных выше задач **получены следующие новые научные результаты, выносимые на защиту:**

1. Алгоритм оптимизации параметров проблемно-ориентированной системы, обеспечивающий организацию информационного взаимодействия разнородных источников/потребителей данных за минимальное время.

2. Метод выбора характеристик проблемно-ориентированной системы с учетом структуры и параметров интегрируемых источников/потребителей данных.

3. Информационная модель, позволяющая на основе обработки информации об источниках/потребителях данных производить структурно-параметрический синтез проблемно-ориентированной системы.

4. Результаты применения программного комплекса, реализующего предложенные алгоритмы, метод и информационную модель.

Объект исследования – проблемно-ориентированная система информационной поддержки решений, состоящая из ETL-сервисов, участков передачи данных, различных видов баз данных и Web-сервисов для передачи данных во внешнюю среду.

Предмет исследования – характеристики баз данных, типов хранимых данных, а также технологий передачи данных в систему (ETL-сервисы) и из нее (Web-сервисы).

Научная новизна работы состоит в разработке оригинальных подходов к созданию новой проблемно-ориентированной системы, обеспечивающей организацию информационного взаимодействия разнородных источников/потребителей данных за минимальное время, а именно:

- разработана модель описания проблемно-ориентированной системы, отражающая особенности ее функционирования при организации информационного взаимодействия разнородных источников/потребителей;

- разработан алгоритм оптимизации параметров проблемно-ориентированной системы, обеспечивающий организацию информационного взаимодействия разнородных источников и потребителей данных за минимальное время;

- разработан метод выбора характеристик проблемно-ориентированной системы на основе обработки информации о структуре и параметрах интегрируемых источников/потребителей данных;

- разработана информационная модель системы, позволяющая на основе обработки информации об источниках/потребителях данных производить структурно-параметрический синтез проблемно-ориентированной системы;

- разработан программный комплекс, позволяющий на основе обработки информации о структуре и параметрах интегрируемых источников/потребителей данных синтезировать проблемно-ориентированную систему.

Методы исследования. Для решения поставленных в работе задач использовались: методы системного анализа, методы динамического программирования, математической статистики.

Обоснованность и достоверность полученных результатов обеспечивается корректным использованием методов системного анализа, динамического программирования, также объектно-ориентированного анализа и проектирования информационных систем.

Теоретическая значимость работы состоит в совершенствовании метода и алгоритмов оптимизации параметров проблемно-ориентированной системы, обеспечивающей организацию информационного взаимодействия множественных разнородных источников/потребителей данных в режиме on-line.

Практическая значимость полученных научных результатов заключается в создании на их основе программного комплекса для реализации системы, обеспечивающей организацию информационного взаимодействия разнородных источников/потребителей данных на разных этапах жизненного цикла воздушных судов.

Практическая значимость подтверждается актом внедрения основных научных результатов диссертации в ООО «Научно-производственный центр «Бизнесавтоматика».

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы обсуждались и докладывались на следующих научных конференциях:

1. XLVI Международная молодёжная научная конференция «Гагаринские чтения» (Москва, МАИ, 2020).
2. 20-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». (Москва, МАИ, 2021).
3. Программно-техническое обеспечение автоматизированных систем: Всероссийская молодежная научно-практическая конференция (Барнаул, 2021).
4. Цифровая трансформация социальных и экономических систем: международная научно-практическая конференция (Москва, 2022).
5. XLVIII Международная молодёжная научная конференция «Гагаринские чтения» (Москва, МАИ, 2022).
6. 22-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». (Москва, МАИ, 2023).

Личный вклад. Представленные результаты исследований получены лично соискателем. Эти исследования включают модель проблемно-ориентированной системы, а также ее техническое воплощение. В основе работы лежит учет специфик различных типов систем хранения и передачи данных, их совместимость.

Объем и структура работы. Работа состоит из оглавления, введения, трех глав, заключения, списка литературы из 105 позиций, 35 рисунков, 9 таблиц. Объем работы составляет 105 страниц машинописного текста.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснован выбор темы, ее актуальность для участников процедуры контроля подлинности компонентов в отечественной авиационной промышленности. Сформулированы цели, задачи, объект и предмет исследования, представлены сведения о научной новизне, практической значимости, апробации результатов исследования, а также основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ существующих подходов к выявлению направлений повышения эффективности процессов интеграции разнородных структурированных/не структурированных источников данных самых разных форматов, в том числе баз данных (SQL/NoSQL), спроектированных на основе разных технологий, таблиц, совокупности таблиц или просто файлов (данные в которых разделены символами-разделителями) разных форматов (doc, xml, xls, pdf и пр). По результатам анализа отечественных и зарубежных работ сделан вывод, что в современных условиях в качестве основного инструмента для извлечения данных из разнородных источников рассматривается комбинация ETL (extract, transform, load) и Web (RESTful, SOAP, JSON, GraphQL и пр) сервисов, где ETL сервисы обеспечивают извлечение информации из структурированных/неструктурированных источников, затем их преобразование в нужный формат с последующей загрузкой в место назначения, а Web-сервисы поддерживают эффективные запросы из разнообразных внешних систем в адрес единой базы данных. При этом вопросы обеспечения конфиденциальности данных решаются путем построения виртуальных частных сетей (VPN) и использования криптографических протоколов (СБ – сертификат безопасности), позволяющих установить безопасное соединение между базами данных и устройствами пользователей.

В работе проведен анализ возможности применения предлагаемого решения на примере задачи контроля летной годности ВС.

Показано, что контроль летной годности ВС является многоуровневой задачей, одной из составных частей которой является процесс контроля подлинности компонентов ВС, который описан (рис. 1) нормативными и методическими документами (Дос 9760. Руководство по летной годности Издание четвертое. 2020, Методика оценки аутентичности компонентов ВС №24.10-966ГА, Рекомендательный Циркуляр №РЦ-АП-145.А.42d, Приказ

Минтранса России от 27.11.2020 №519) и включает следующие основные этапы:

1. Сбор данных по изделию и удостоверяющим документам ВС;
2. Сопоставительный анализ полученных данных;
3. Формирование запросов к участникам процесса инспекционного контроля ВС.
4. Оценка качественных характеристик данных и выдача решения о возобновлении (в случае приостановления) сертификата летной годности в пределах срока его действия, а также составление акта инспекционного контроля летной годности ВС.

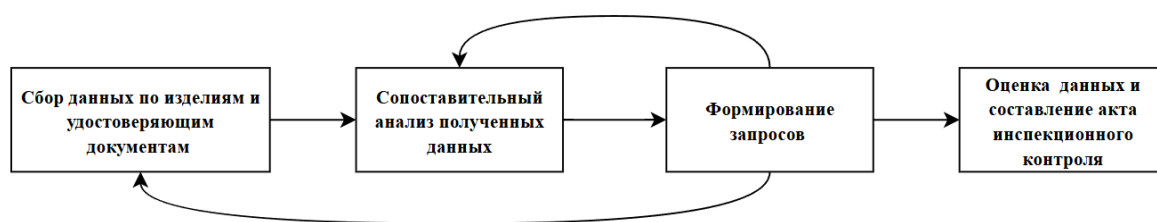


Рис. 1. Процесс контроля подлинности компонентов ВС

В работе показано, что в основу процесса (рис.1) положена организация множественных запросов к источникам информации (ВС включает до 6000 изделий с удостоверяющими документами). Полученные ответы, зачастую, характеризуются неполнотой, недостаточной достоверностью и актуальностью информации об изделиях/удостоверяющих документах, в том числе: отсутствием ключевых показателей (дата, производитель, наличие действующей лицензии, сроки проведения работ, ремонтное предприятие и пр.), подтверждающих подписей и печатей, наличием “двойников”, изделий с «неустановленным происхождением», дубликатов удостоверяющих документов и пр., что предполагает формирование повторных уточняющих запросов.

При этом отмечено, что попытки автоматизации указанных процедур за счет использования существующих технологических решений (цифровая телефония, электронная почта, разовые удаленные запросы к источникам данных) для поддержки инспекционного контроля, например, 20 ВС уже потребует формирования свыше 480 тыс. всех видов запросов к источникам данных (общий объем циркулирующей информации составляет более 5 терабайт данных), что не обеспечит существенного сокращения времени проведения работ (до 14 дней).

Анализ работ по теме диссертационного исследования показал, что современные информационные системы сопровождения эксплуатации ВС, в том числе: АСУ ПЛГ ВС, CAMP, my Boeing fleet», AirnavX, ИУС «Эрлан-3», AMOS, IBM Maximo for Aviation MRO, Ramco MRO Aviation, SAM, Veryon и пр. в основном ориентированы на обработку данных, уже введенных в систему, и не включают функциональность по организации сбора и обработки разнородных данных в автоматизированном режиме.

В этой связи возникает необходимость создания новой информационной системы, позволяющей обеспечить сбор полных и достоверных сведений о компонентах и пономерной документации ВС путем организации множественных запросов к источникам оригинальной информации: производителям, ремонтным организациям и эксплуатантам с учетом использования сетевой структуры современной коммуникационной среды, а также совместимых механизмов извлечения, передачи и обработки данных в режиме on-line.

В работе сформированы основные требования к такой системе, в том числе:

- множественные запросы к ИС поставщиков компонентов ВС;
- реализация сбора, преобразования и передачи данных полностью в цифровой форме;
- получение данных по компонентам и паспортам от источников в режиме on-line;
- преобразование разнородных форматов данных, в том числе: xml, csv, json;
- организация удаленного доступа к данным с признаками коммерческой тайны с использованием виртуальных частных сетей (VPN) и сертификатов безопасности.

Показано, что такая система имеет проблемно-ориентированный характер; структура комплекса (рис. 2) формируется на основе использования ETL-сервисов для сбора данных из разнотипных источников, множества цепочек передачи данных, различных видов баз данных и Web-сервисов для передачи данных во внешнюю среду.

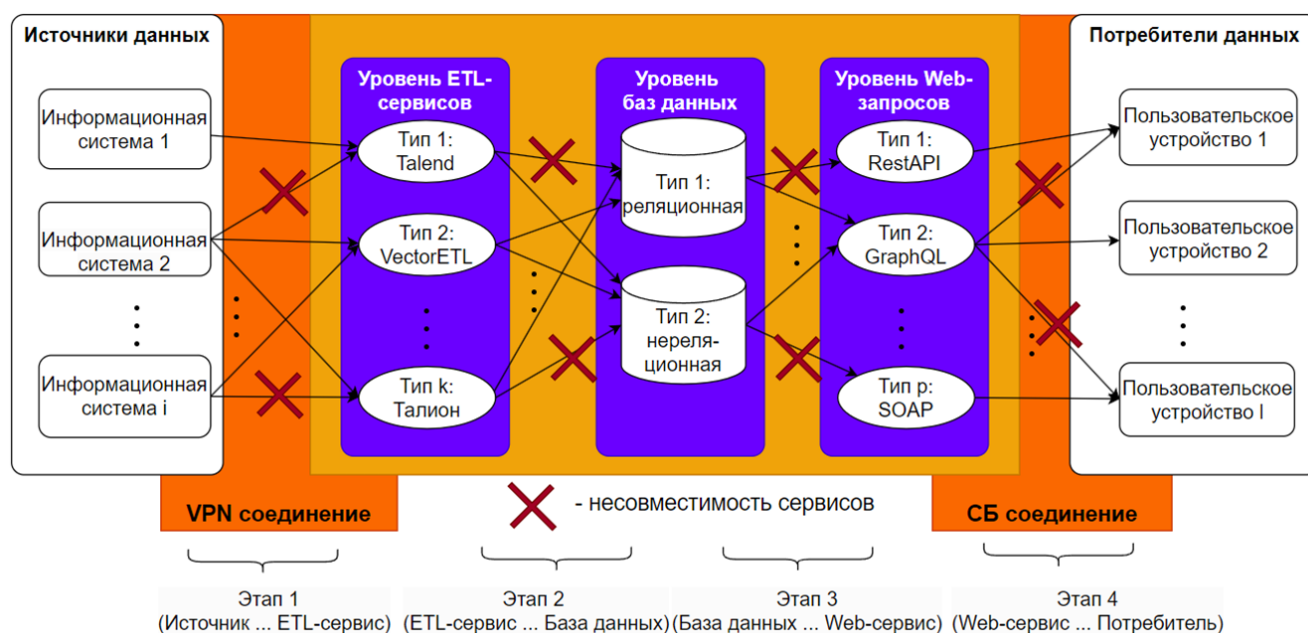


Рис. 2. Структура комплекса и этапы прохождения сигнала в нём

При этом вопросы обеспечения конфиденциальности решаются путем организации передачи данных безопасным соединением в зашифрованном виде, а именно: посредством VPN от источника до баз данных, а сертификатом безопасности – от баз данных к потребителям.

В исходном состоянии комплекс настраивается на адресное пространство источников данных каждого конкретного пользователя. Причем каждый новый пользователь имеет возможность создавать собственное адресное пространство и работать независимо от других пользователей. В процессе работы пользователь выбирает адреса необходимых источников, а ПО комплекса выполняет множественные запросы и осуществляет поиск цепочек прохождения сигнала минимального времени.

Особенностью комплекса является поддержка разнообразных форматов данных, хранимых в соответствующих источниках, а также существующего и перспективного множества компьютерных средств пользователей (планшеты ПК, ноутбуки и пр.), функционирующих на разных операционных системах.

Комплекс реализован в проблемно-ориентированной концепции -.

Проведен анализ существующих методов и алгоритмов синтеза проблемно-ориентированной системы, в том числе алгоритмов оптимизации параметров системы, методов выбора характеристик системы. Отмечено, что в этих методах и алгоритмах используется большой объем разнородных входных данных, часть из которых хранится в базе данных системы.

Показано, что с учетом требований по поиску путей с минимальным временем прохождения данных рассматриваемая задача может быть записана как комбинаторная, сформулированная в виде задачи целочисленного линейного программирования (ЦЛП) с двоичными переменными.

Таким образом, для решения задачи (1) необходимо:

- разработать модель описания проблемно-ориентированной системы;
- разработать информационную модель, позволяющую на основе обработки информации об источниках/потребителях данных производить структурно-параметрический синтез проблемно-ориентированной системы;
- разработать метод и алгоритмы синтеза проблемно-ориентированной системы для существующих условий обмена данных.

Во второй главе диссертации рассмотрены вопросы разработки модели описания проблемно-ориентированной системы, дополненной информационной моделью, методом и алгоритмом синтеза системы.

Для описания структуры модели проблемно-ориентированной системы определим следующие множества:

I –внешних систем, откуда данные передаются в хранилище данных;

L –внешних систем, куда данные передаются из хранилища данных;

J –хранилищ данных.

Внешние системы и хранилища связаны множественными связями (цепочками прохождения сигнала), характеризуемыми следующими множествами:

K –ETL-сервисом между внешними системами, откуда данные передаются в хранилище данных и самими хранилищами данных;

P –Web-сервисов между системами хранения данных и внешними системами, куда данные передаются.

Входящими данными в модели являются:

W – множество запрашиваемых данных о компонентах ВС, формируемых пользователями.

Исходящими данными будут результаты этих запросов, используемые пользователями для дальнейших вычислений.

Для оценки совместимости сервисов и последующего прохождения сигнала от источника до потребителя автором предложено ввести переменные модели:

$a[i, j, k, w]=1$ участок модели, где сигнал проходит, $i \in I, j \in J$,

$k \in K, k' \in K', w \in W$;

$a[i, j, k, w]=0$ участок модели, где сигнал не проходит , $i \in I, j \in J,$
 $k \in K - k', w \in W$;

$b[j, l, p, w]=1$ участок модели, где сигнал проходит , $j \in J, l \in L,$
 $p \in P - p', w \in W$;

$b[j, l, p, w]=0$ участок модели, где сигнал не проходит, $j \in J, l \in L,$
 $p \in P - p', w \in W$.

Перепишем в язык алгебры логики:

$a[i, j, k, w] \rightarrow b[j, l, 1, w] b[j, l, 2, w] b[j, l, 3, w] \dots$;

$A \rightarrow B \leftrightarrow \neg A \vee B$;

$\neg a[i, j, k, w] \vee b[j, l, 1, w] \vee b[j, l, 2, w] \vee b[j, l, 3, w] \dots$

Перепишем в уравнение неравенства:

$(1 - a[i, j, k, w]) + b[j, l, 1, w] + b[j, l, 2, w] + b[j, l, 3, w] + \dots \geq 1$

При этом: $a[i, j, k, w] > 0$ и $b[j, l, p, w] > 0$.

Введем следующие обозначения:

x_{ij}^{kw} - объем k -ых входящих данных из i -ой внешней системы в j -ю систему хранения данных (все топологические варианты связей);

c_{ij}^{kw} - скорость передачи данных ETL сервисом (все топологические варианты связей);

y_{jl}^{pw} - объем p -ых исходящих данных из j -ой системы хранения данных в l -ю внешнюю систему (все топологические варианты связей);

q_{jl}^{pw} - скорость передачи данных web-сервисами (все топологические варианты связей);

Исходя из этого задачу ЦЛП с двоичными переменными можем записать следующим образом:

$X_{ilw} = \{(k, j, p) \in C_{ilw} \mid \frac{x_{ij}^{kw}}{c_{ij}^{kw}} + \frac{y_{jl}^{pw}}{q_{jl}^{pw}} = m_{ilw}\} \subset C_{ilw}$, где

$$m_{ilw} = \min_{(k,j,p) \in C_{ilw}} \left(\frac{x_{ij}^{kw}}{c_{ij}^{kw}} + \frac{y_{jl}^{pw}}{q_{jl}^{pw}} \right) \quad (1)$$

В основу разработки информационной модели проблемно-ориентированной системы была положена модель службы обмена сообщениями (ГОСТ Р 58546 – 2019). Созданная в настоящей работе модель проблемно-ориентированной системы включает описания источников

данных, ETL-сервисов, Web-сервисов и отличается (рис. 3) от известной включением дополнительных сущностей и атрибутов совместимости, необходимых для расчета минимального времени, а именно:

- ETL-сервис, который на основе типа данных (например: xml, json и т.д.) и типа системы (например: документооборот, система управления данными об изделии и т.д.) поддерживает взаимодействие с источником данных и, проведя преобразования, сохраняет извлеченные атрибуты данных в базы данных;

- Web-сервис, который на основе типа базы данных (например: SQL, NoSQL и т.д.) и типов данных обеспечивает взаимодействие с базами данных с передачей информации на устройства потребителей.

Таким образом, информационная модель позволяет производить структурно-параметрический синтез проблемно-ориентированной системы.

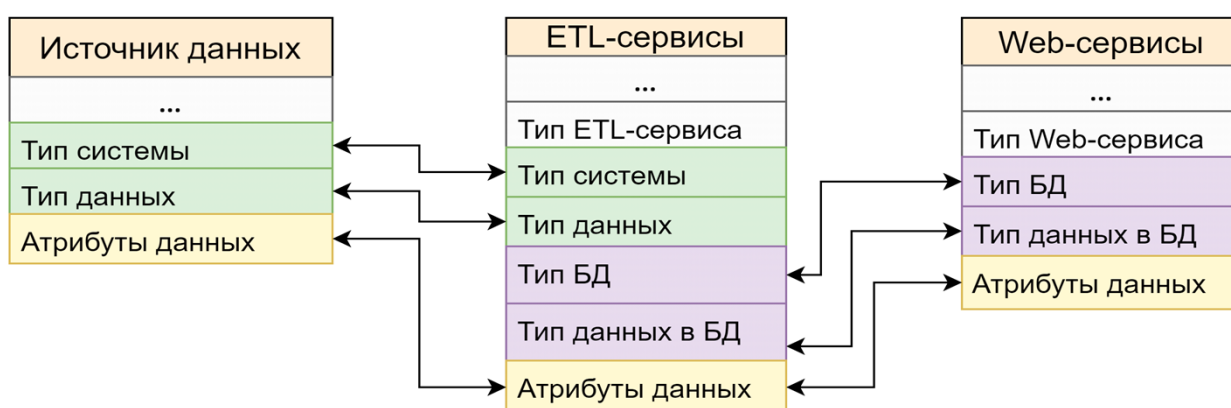


Рис. 3. Информационная модель проблемно-ориентированной системы

Для последующего синтеза проблемно-ориентированной системы автором были разработаны:

- 1) Алгоритм оптимизации параметров проблемно-ориентированной системы, обеспечивающий организацию информационного взаимодействия разнородных источников/потребителей данных за минимальное время;
- 2) Метод выбора характеристик проблемно-ориентированной системы на основе структуры и параметров интегрируемых источников/потребителей данных.

В основу предложенного автором алгоритма оптимизации параметров системы положена структурная схема (рис. 4), включающая следующие элементы:

- источники данных разного типа от 1 до n ;
- хранилища данных (базы данных) от 1 до j , $j=2$;
- Web-сервисы всего 1 ... p
- потребители данных общим количеством от 1 до l ;

При отношении несовместимости на этапе $t = +\infty$. Множество цепочек прохождения сигнала от источника к потребителю:

$C_{11w} = \{(k, j, p) \in K \times J \times t_1[1, j, k, w] = 1, t_4[j, 1, p, w] = 1\}$, так как

$t_1 \gg t_2$ и $t_4 \gg t_3$, то $t_2 = t_3 = 0$.

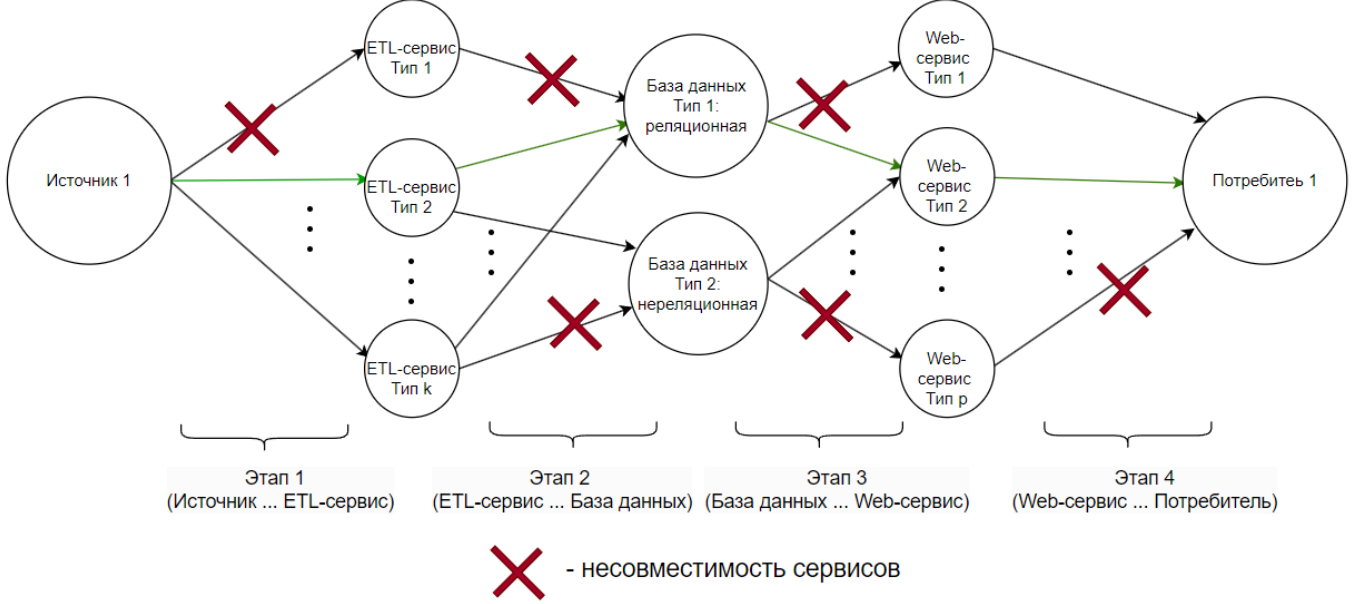


Рис. 4. Схема структуры проблемно-ориентированной системы

Необходимо найти цепочки участков прохождения сигнала от источника до потребителя за минимальное время с учетом совместимости сервисов, то есть

$$X_{i1w} = \{(k, j, p) \in C_{i1w} \mid \frac{x_{1j}^{kw}}{c_{1j}^{kw}} + \frac{y_{j1}^{pw}}{q_{j1}^{pw}} = m_{i1w}\} \subset C_{11w}, \text{ для } m_{11w} =$$

$$= \min_{(k, j, p) \in C_{11w}} \left(\frac{x_{1j}^{kw}}{c_{1j}^{kw}} + \frac{y_{j1}^{pw}}{q_{j1}^{pw}} \right), \text{ при ограничениях:}$$

$t_1[1, j, k, w] = 1$ участок модели, где сигнал проходит, $j \in J, k \in K - k'$,

$w \in W$;

$t_1[1, j, k, w] = 0$ участок модели, где сигнал не проходит, $j \in J, k \in K - k'$,

$w \in W$;

$t_4[j, 1, p, w] = 1$ участок модели, где сигнал проходит, $j \in J, p \in P - p'$,

$w \in W$;

$t_4[j, 1, p, w] = 0$ участок модели, где сигнал не проходит, $j \in J, p \in P - p'$,

$w \in W$.

Для решения данной задачи автор предложил использовать метод динамического программирования Беллмана-Форда.

Введем состояние (f_r) на r этапе, которое определяет время прохождения сигнала по цепочке участков затраченное к r этапу: $f_r = \sum_{t=1}^4 t$.

Введем управление (u_r) на r этапе – время прохождения сигнала на r этапе в зависимости от выбора соответствующего сервиса: $u_1 = \left(\frac{x_{1j}^{kw}}{c_{1j}^{kw}} \right)$, $u_4 = \left(\frac{y_{j1}^{pw}}{q_{j1}^{pw}} \right)$. То есть на первом этапе выбор типа ETL, а на четвертом – выбор типа Web.

Введем управление связи $\vec{f}_r = \vec{f}_{r-1} + \vec{u}_r$, определяющее изменение состояния процесса под действием управления, на множестве допустимых управлений: $U'_{\text{доп}} = \bigcap_r U''_{\text{доп}}$.

Тогда основное динамическое уравнение Беллмана будет иметь вид:

$$Q_r^*(\vec{f}_{r-1}) = \min_{\vec{u}_r \in U'_{\text{доп}}} \{ \vec{f}_r(\vec{u}_r) + Q_{r+1}^*(\vec{f}_{r-1} + \vec{u}_r) \} \min_{\vec{u}_r \in U'_{\text{доп}}} \{ t_r + Q_{r+1}^*(\vec{f}_{r-1} + \vec{u}_r) \} \quad (2)$$

$$\vec{u}_r^*(\vec{f}_{r-1}) = \arg(\min_{\vec{u}_r \in U'_{\text{доп}}} \{ t_r + Q_{r+1}^*(\vec{f}_{r-1} + \vec{u}_r) \}) \quad (3)$$

Где $Q_r^*(\vec{f}_{r-1})$ – функция Беллмана (2), а $\vec{u}_r^*(\vec{f}_{r-1})$ – условно оптимальное управление на r -ом этапе (3). Параллельно независимо находится управление и для источника №2, и последующих источников. Алгоритм решения реализован с использованием пакета prn bellman-ford.

На рисунке 4 зеленым цветом показан пример нахождения оптимальной цепочки участков сети с минимальным временем прохождения сигнала.

Созданная автором проблемно-ориентированная система работает в двух режимах: настройка и эксплуатация.

В режиме настройки автор предложил использовать следующий метод выбора характеристик.

- 1) Формируем исходные данные: адрес устройства потребителя данных $l=1$ (подмножество L). Web-адреса множества источников данных (множество I). Список запрашиваемых объектов в системе (множество W).
- 2) Запускаем множественные сетевые запросы и получаем выходные данные (технически совместимые варианты множества цепочек):

$x_{i-i'j}^{k-k'w}$ – объем $k-k'$ входящих данных из i -ой внешней системы в j -ю систему хранения данных;

$c_{i-i'j}^{k-k'w}$ – скорость передачи данных ETL сервисом данных;

$y_{j1}^{p-p'w}$ – объем $p-p'$ исходящих данных из j -ой системы хранения данных во внешнюю систему пользователя;

$q_{j1}^{p-p'w}$ – скорость передачи данных Web-сервисами.

- 3) После получения и обработки данных вычисляем необходимые характеристики.
- 4) Методом последовательного анализа Вальда определяем число замеров характеристик.
- 5) Выбираем наилучшие варианты множества цепочек и формируем блок характеристик проблемно-ориентированной системы (табл. 1).

Таблица 1. Блок характеристик проблемно-ориентированной системы

Источник данных	Установление связи	Скорость от источника к хранилищу, (мб/с)	Объем принятых данных от источника к хранилищу, (мб)	Скорость от хранилища к потребителю, (мб/с)	Объем принятых данных от хранилища к потребителю, (мб)	Количество замеров характеристик
Разработчик ВС	Не установлена	-	-	-	-	5
Разработчик ВС	Установлена	2	1	1	1	8
Эксплуатирующая организация 1	Установлена	1	1	0,5	1	6
Эксплуатирующая организация 2	Установлена	1,5	1	1,5	1	6
Ремонтная организация 1	Установлена	0,5	1	2	1	7
Изготовитель 1	Установлена	1	1	1	1	6

В третьей главе диссертации рассматривается облик разработанного программного комплекса. Программный комплекс включает следующие компоненты:

- Модуль ETL-сервисов;
- Модуль Web-сервисов;
- Модуль баз данных (SQL и NoSQL);
- Таблица адресов источников данных;
- Модуль VPN, через которые взаимодействуют ETL-сервисы с источниками данных;
- Модуль сертификатов безопасности, через которые потребители подключаются через Web-сервисы;
- Алгоритм подбора ETL-сервисов к источникам;
- Алгоритм подбора Web-сервисов для потребителей

и реализует алгоритм, представленный на рисунке 5. Программный комплекс поддерживает многопользовательский режим работы и по запросам пользователей обеспечивает подключение пользовательских устройств к выбранным источникам данных. На первом шаге для заданного источника в модуле ETL - сервисов производится выбор соответствующего сервиса и типа базы данных. В качестве критерия используется тип данных, а процесс

подбора основан на методе последовательного перебора из списка возможных решений. На втором шаге для известных значений типа базы данных и перечня поддерживаемых устройством сервисов в модуле Web-сервисов методом последовательного перебора производится выбор удовлетворяющего решения. В случае отсутствия подходящего решения производится возврат к первому шагу с уточнением ETL – сервиса и типа базы данных. Далее процесс повторяется на втором шаге. На третьем шаге производится выбор наилучшего сетевого решения – выбора комбинации множества цепочек, обеспечивающих передачу данных за минимальное время. В процессе расчетов используются временные характеристики цепочек участков. Комплекс готов к работе и после проверки сертификатов безопасности обеспечивает передачу данных на терминальные устройства пользователя. Для ограничения числа запросов к источникам данных использовался метод последовательного анализа Вальда, а для выбора наилучшей цепочки участков передачи данных – алгоритм Беллмана-Форда.

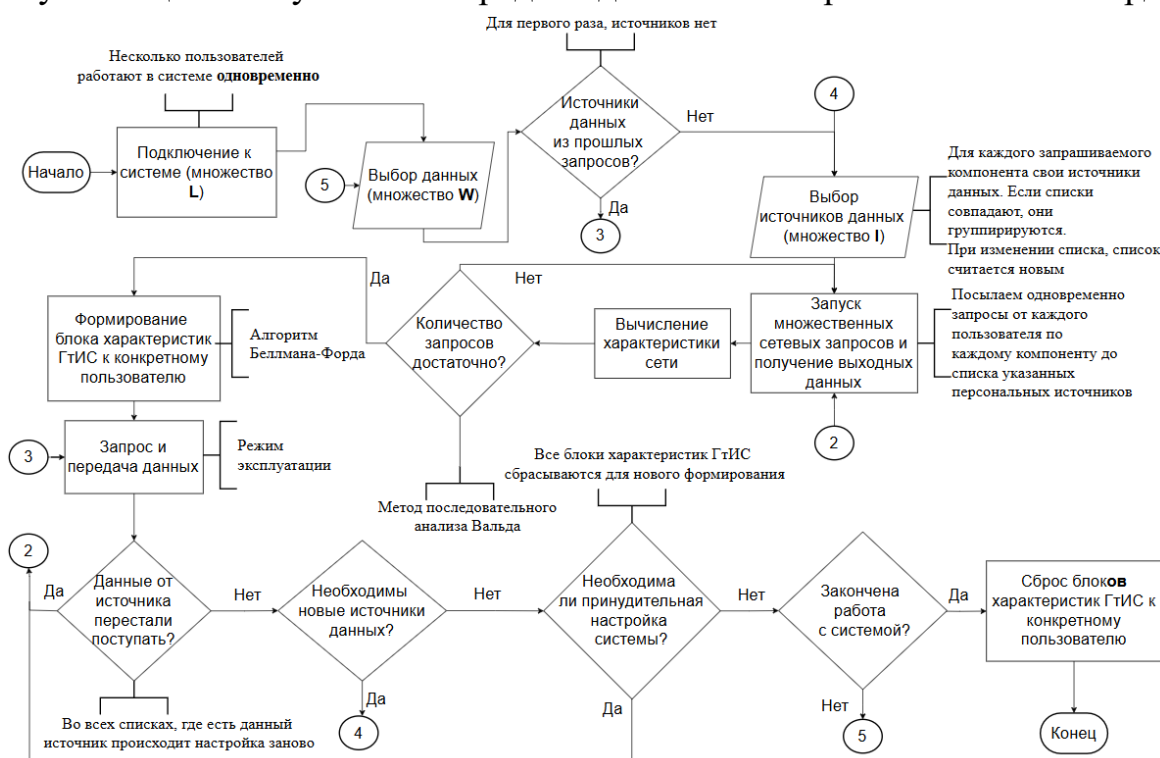


Рис. 5. Алгоритм работы программного комплекса

Алгоритм проверки изделия на подлинность с помощью разработанного программного комплекса показан на рисунке 6.

С использованием разработанного программного комплекса была проведена оценка эффективности предложенных методов и алгоритмов на примере характеристик отдельных блоков ближнемагистрального пассажирского самолёта типа Ил-114-300. Оценка проводилась для следующих составных частей: рулевой привод, пневматический насос,

гироскоп, высотометр. При проведении расчетов (рисунок 7) были использованы следующие программные компоненты: Talend Open Studio(ETL - сервис), Postgres, Mongo DB (хранилища данных), RestAPI, GraphQL (Web- сервисы), а для обеспечения безопасной передачи данных - КриптоПро и сертификаты МинЦифры РФ соответственно.

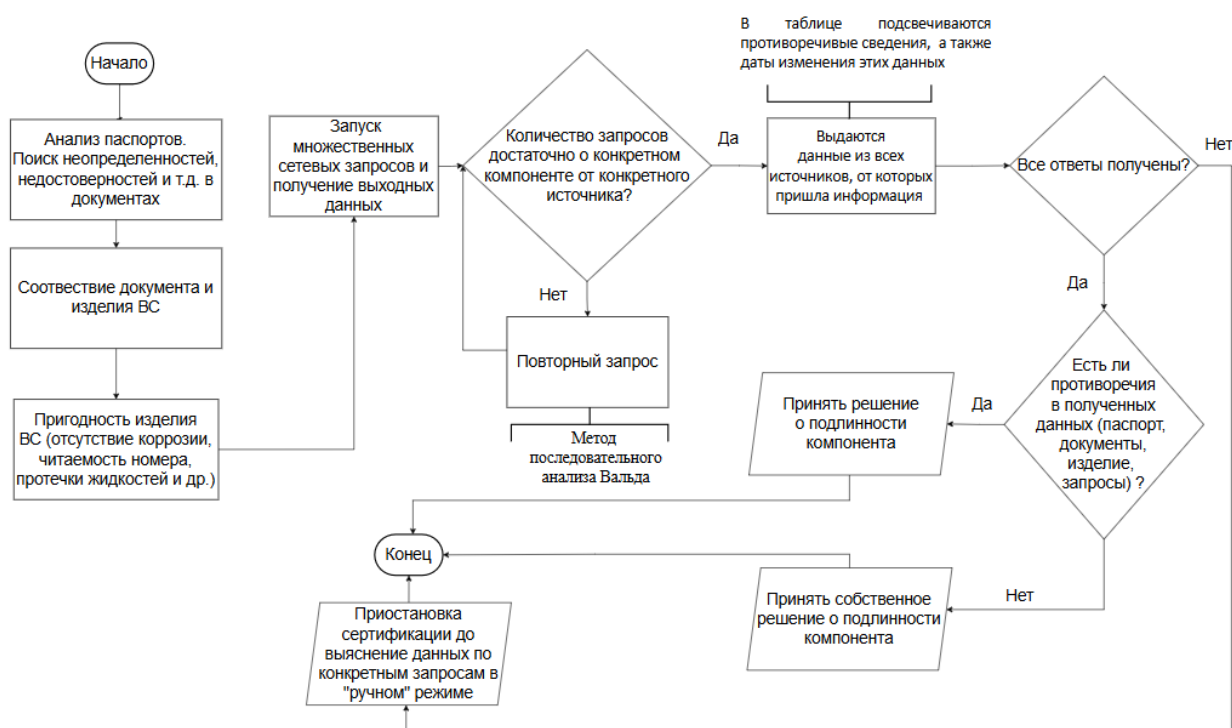


Рис. 6. Схема алгоритма принятия решения о подлинности изделия

В результате расчетов получены следующие результаты:

- Проведен выбор наилучшей цепочки участков для прохождения сигнала за **минимальное время**;
- Показана возможность повышения скорости отработки на **19-20 %** для одного запроса данных;
- Показана возможность сокращения времени сбора и анализа удостоверяющих документов одного ВС до **2,5 рабочих дней**;
- Повышение достоверности результатов проверок благодаря ведению журнала записей.

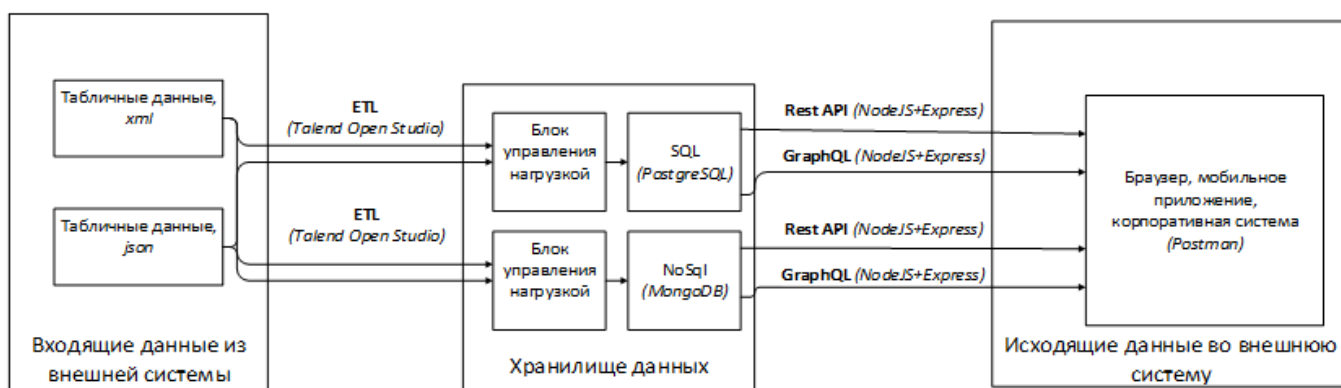


Рис. 7. Схема реализованного программного комплекса

В заключении сформулированы выводы и основные результаты диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют сформулировать следующие основные выводы и результаты работы.

1) Произведен анализ существующих подходов к контролю подлинности компонентов воздушного судна и выявлены направления повышения эффективности процессов передачи данных.

2) Сформированы требования к новой проблемно-ориентированной системе для контроля подлинности компонентов воздушных судов на основе результатов анализа, а именно, особенностях процедуры контроля подлинности компонентов воздушного судна.

3) Разработана модель описания проблемно-ориентированной системы, отражающей особенности ее функционирования в организации информационного взаимодействия разнородных источников/потребителей. Отличием модели является описание параметров информационной системы, включая характеристики баз данных, типов хранимых данных, а также технологий передачи данных в систему и из нее.

4) Разработан алгоритм оптимизации параметров проблемно-ориентированной информационной системы, обеспечивающий организацию информационного взаимодействия разнородных источников/потребителей данных за минимальное время, основанный на динамическом

программировании. Алгоритм отличается параллельным поиском в пространстве сервисов путей передачи данных через совместимые сервисы ETL и Web от источников к потребителю.

5) Разработан метод выбора характеристик проблемно-ориентированной системы на основе обработки информации о структуре и параметрах интегрируемых источников/потребителей данных. Отличием метода является возможность для каждого устройства потребителей выбрать наилучшие варианты множества цепочек и сформировать блок характеристик проблемно-ориентированной системы.

6) Разработаны информационная модель и программный комплекс, позволяющий на основе обработки информации о структуре и параметрах интегрируемых источников/потребителей данных синтезировать проблемно-ориентированную систему. Отличием программного комплекса является возможность работы в двух режимах: настройки и эксплуатации. В первом происходит формирование характеристик системы, а во втором – выполнение запросов на основании источников и выбранных ранее характеристик.

7) Внедрение и экспериментальное апробирование программного комплекса в ООО «Научно-производственный центр «Бизнесавтоматика», реализующего предложенные модель, методы и алгоритмы, позволило повысить эффективность процессов интеграции разнородных информационных ресурсов и оценить зависимость различных показателей затрат от требуемых видов интеграции.

Таким образом, достигнута поставленная цель по повышению технико-экономической эффективности процессов интеграции разнородных информационных ресурсов для контроля летной годности ВС при эксплуатации авиационной техники за счет создания новой проблемно-ориентированной системы.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах, входящих в перечень периодических изданий ВАК РФ:

1. Никонов Ю.Ю., Столярчук В.А. Исследование применения технологий ESB и GraphQL в интеграции государственных автоматизированных информационных систем. Автоматизация. Современные технологии. 2022. Т. 76. № 8. С. 375-378.
2. Никонов Ю.Ю. Сравнение импорта данных из различных типов файлов в реляционные и нереляционные базы данных. Научно-технический вестник Поволжья. 2023. № 1. С. 81-84
3. Никонов Ю.Ю. Исследование применения технологии ETL в интеграции информационных систем. Научно-технический вестник Поволжья. 2023. № 10. С. 150-152.
4. Буряк Ю.И., Никонов Ю.Ю. Совершенствование процессов обеспечения летной годности воздушных судов за счет создания высокоскоростной гетерогенной информационной системы. Вестник компьютерных и информационных технологий. 2024. Т. 21, № 6. С. 31 – 40.

Другие публикации:

5. Никонов Ю. Ю. Исследование интеграции государственных автоматизированных информационных систем с помощью GraphQL. «Гагаринские чтения – 2020»: Сборник тезисов докладов. — М.: МАИ, 2020. — 1731 с.
6. Никонов Ю. Ю. Исследование интеграции автоматизированных информационных систем используя технологию ETL. 20-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». Москва. Тезисы. – М.: Издательство «Перо», 2021 – 730 с.
7. Никонов Ю. Ю. Анализ и сравнение форматов данных xml, json. Программно-техническое обеспечение автоматизированных систем:

материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции (9 декабря 2021., г. Барнаул) / Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова ; под ред. А. Г. Якунина. – Барнаул : АлтГТУ, 2021. 94 с.

8. Никонов Ю. Ю. Анализ видов баз данных: реляционная, NoSQL. Цифровая трансформация социальных и экономических систем: материалы международной научно-практической конференции / отв. ред. И.А. Королькова; Моск. ун-т им. С.Ю. Витте. – Москва: изд. ЧОУВО «МУ им. С.Ю. Витте», 2022 – 937 с.
9. Никонов Ю. Ю. Разработка технологии интеграции гетерогенных информационных систем при помощи веб-сервисов. «Гагаринские чтения – 2022»: Сборник тезисов докладов. — М.: МАИ, 2022. — 835 с.
10. Никонов Ю. Ю. Интеграция гетерогенных информационных систем с помощью ETL-сервисов и веб-сервисов. 22-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». 20-24 ноября 2023 года. Москва. Тезисы. — 413 с.