



DOI: 10.22363/2312-8143-2023-24-3-223-232
EDN: VACPYU
УДК 004.042

Научная статья / Research article

Исследование потоков информации в транкинговой радиосети для операций наземного обслуживания воздушных судов

А.В. Ильченко^a , Т.Е. Ильченко^b 

^a Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, Российская Федерация

^b ООО «АФЛТ-Системс», Москва, Российская Федерация
✉ ilchenkoav@mai.ru

История статьи

Поступила в редакцию: 12 апреля 2023 г.
Доработана: 10 июля 2023 г.
Принята к публикации: 15 июля 2023 г.

Ключевые слова:

транспорт, гражданская авиация, воздушное судно, радиосети, коммуникации, технологический график, безопасность, спасение, анализ

Заявление о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Аннотация. Исследованы информационные потоки систем коммуникаций при проведении операций по наземному обслуживанию воздушных судов в одном из крупнейших аэропортов Российской Федерации для определения минимально достаточного ресурса системы радиосвязи как одного из каналов коммуникаций. Приведен технологический график обслуживания воздушного судна и на его примере показана сложность и параллелизм процессов обслуживания воздушного судна. Также на основе технологического графика обслуживания разработан список необходимых ресурсов коммуникации с описанием конкретных работ каждой группы и их ожидаемой загрузки. Описаны три этапа исследования для модернизации коммуникаций. На первом этапе установлены доступные и необходимые условия для функционирования систем коммуникаций в условиях нехватки частотного ресурса и определена технология связи, которая будет внедрена (в данном случае шла речь о строительстве DMR Tier III радиосети). На втором этапе накоплена статистика использования радиосети, проанализированы конкретные задачи, работа групп, их радиобмен. На третьем этапе на основе данных, полученных ранее, сделан вывод о тех или иных слабых местах системы, выработаны рекомендации к ее модификации для снижения количества отказов в обслуживании абонентов и повышения эффективности работ по наземному обслуживанию воздушных судов, а также для работы аварийных и служб безопасности. В исследовании отражены несколько ключевых показателей, а именно: доступность каналов связи, количество каналов связи для исполнения технологического графика обслуживания, удержание канала связи, а также строгое соблюдение регламента переговоров.

Для цитирования

Ильченко А.В., Ильченко Т.Е. Исследование потоков информации в транкинговой радиосети для операций наземного обслуживания воздушных судов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2023. Т. 24. № 3. С. 223–232. <http://doi.org/10.22363/2312-8143-2023-24-3-223-232>

© Ильченко А.В., Ильченко Т.Е., 2023



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Information flows research in trunked radio network for aircraft ground handling operations

Andrey V. Ilchenko^a  , Tatiana E. Ilchenko^b 

^a Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russian Federation

^b LLC “AFLT Systems”, Moscow, Russian Federation

 ilchenkoav@mai.ru

Article history

Received: April 12, 2023

Revised: July 10, 2023

Accepted: July 15, 2023

Keywords:

transport, civil aviation, aircraft, radio networks, communications, technological schedule, safety, rescue, analysis

Conflicts of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

For citation

Ilchenko AV, Ilchenko TE. Information flows research in trunked radio network for aircraft ground handling operations. *RUDN Journal of Engineering Research*. 2023;24(3):223–232. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2312-8143-2023-24-3-223–232>

Введение

Проблема обеспечения критических коммуникаций для обеспечения наземного обслуживания воздушных судов весьма актуальна, так как от работы средств связи зависит не только качество наземного обслуживания, но и жизнь людей [1–2]. Именно поэтому системы радиосвязи отнесены к объектам критической инфраструктуры, проводятся соответствующие законодательству процедуры категорирования. В целом в Российской

Федерации частотный ресурс, который используется для организации внутрипортовой радиосвязи весьма ограничен. Это или полоса 136–174 МГц, или 430–440 МГц для систем DMR, или полосы стандарта TETRA. Однако в соответствии с решением ГКРЧ¹ в Московском регионе диапазон TETRA 422–427 запрещен, а от диапазона 450 МГц решением (протокол № 14–26) оставлена полоса всего лишь 2 МГц². Вместе с тем проблема обеспечения коммуникаций для наземного обслуживания остается актуальной именно в указанных

¹ Протокол заседания Государственной комиссии по радиочастотам № 06–15 от 26.06.2006. URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/4044/> (дата обращения: 15.03.2023).

² Решение ГКРЧ от 22 июля 2014 года №. 14-26-05-3 «Об использовании полос радиочастот 453-457,4 МГц и 463-467,4 МГц радиоэлектронными средствами стандарта IMT-МС-450 и стандарта LTE и последующих его модификаций». URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/4224/> (дата обращения: 21.03.2023).

диапазонах. В последнее время были попытки перевести операции на технологии LTE МСРТТ, РоС, но в связи с жесткими требованиями по доступности каналов связи они не могут заменить технологии TETRA и DMR.

Практически все исследования по данной теме посвящены только вопросам рассмотрения различных технологий [3], радиочастотного планирования [4]. А.В. Ильченко неоднократно обращался к вопросу регулирования использования радиосредств, в частности, при проведении массовых мероприятий [5]. Вместе с тем авторы считают, что при безусловной важности радиочастотного обеспечения и расчетов необходимо исследовать сами потоки информации, циркулирующей в радиосети при выполнении операций наземного обслуживания рейсов и воздушных судов в аэропорту, чтобы определить оптимальный частотный ресурс и технологии радиосвязи. Интересна также специфика исследований в смежных областях. Например, при рассмотрении построения полевых мультисервисных сетей передачи данных в зонах ЧС и иных спасательных работ авторы описывают схожие сложности с переходом от применяемых в настоящее время TETRA и DMR к наиболее соответствующим современным требованиям по высокоскоростной передаче данных [6–7].

Также следует отметить повышенное внимание авторов к моделированию распространения радиоканалов, в [8–10] рассматривается возможность обеспечения покрытия беспроводной сети, а также связанные проблемы при работе с коммуникационными системами, результаты работы с которыми могут быть также полезны при рассмотрении тематики. В части исследований, касающихся непосредственно наземного обслуживания воздушных судов в аэропорту, подавляющее большинство публикаций посвящено вопросам экономической эффективности и оптимизации ресурсов — персонала, оборудования и спецтехники, например [11–16], также немалую часть занимают работы, затрагивающие тематику так называемых умных аэропортов, например [17–22], однако практически отсутствуют работы, в которых бы исследовались последовательности операций и информационное взаимодействие при их проведении.

Цель исследования — изучение потоков информации при наземном обслуживании воздушных судов, выявление проблем в связи с растущей

нагрузкой и определение оптимального количества ресурсов и уровень доступности, необходимых для безотказной работы всех задействованных служб аэропорта.

1. Выявление основных потоков информации

Системы радиосвязи в гражданской авиации используют полосу в диапазоне 160 МГц, которая в 70–80-е гг. прошлого века удовлетворяла всем требованиям обеспечения производства и безопасности полетов, обслуживания пассажиров, багажа, грузов и почты, однако в 20-х гг. нынешнего столетия уже не соответствует современным требованиям ни по пропускной способности, ни по защищенности. Конечно, в последнее время назначения частот Роскомнадзором весьма расширены (автор получал разрешения даже в районе 146–148 МГц), но это не решает проблему недостаточности частотного ресурса на определенных территориях и в условиях повышенной плотности эксплуатируемых радиосредств и ограничений, накладываемых Министерством обороны Российской Федерации.

Также для использования в гражданской авиации доступен диапазон 410–450 МГц, предназначенный в том числе для любительской и сухопутной подвижной радиослужб. При этом последняя включает полосы для устройств малого радиуса действия, а также для радиостанций типа Walkie Talkie, не требующих лицензирования. Такие устройства могут вызвать нарушения в связи, которые очень сложно идентифицировать поскольку в последнее время конечному потребителю доступен обширный ассортимент радиосредств общего назначения, использующих большой спектр радиочастот.

С учетом изложенного выше исследование и оптимизация информационных потоков в связке «персонал — информационные системы — системы радиосвязи» в аэропорту представляется перспективным способом решения проблем с предоставлением качественного сервиса радиосвязи и улучшения коммуникаций между задействованными в процессах наземного обслуживания службами. Взаимное влияние между информационными системами по обслуживанию воздушных судов, пассажиров, багажа, груза, почты (производственными системами), а также — другими системами аэропорта и сетью радио-

связи неоспоримо. В случае отказа производственной информационной систем значительно возрастает нагрузка на радиосеть. Справедливо и обратное — отказ радиосвязи приводит к росту нагрузки на персонал и производственные системы. Именно поэтому авторами проведено исследование процессов и операций наземного обслуживания в аэропорту, потоки информации и их взаимодействие.

Наземное обслуживание воздушного судна в аэропорту — набор обязательных операций, которые должны быть выполнены от момента прибытия воздушного судна на место стоянки до его отправления в соответствии с расписанием и суточным планом полетов авиакомпании и аэропорта. Такое обслуживание осуществляется в соответствии с принятыми в каждом аэропорту технологическими графиками обслуживания (ТГО). Все операции ТГО можно разделить на следующие виды:

- ✓ техническое обслуживание воздушного судна;
- ✓ наземное обслуживание воздушного судна;
- ✓ обслуживание пассажиров и багажа;
- ✓ обработка грузов и почты.

Объем и состав операций, выполняемых в рамках ТГО, зависит от вида сообщения для рейса (прибывающего или отправляющегося в/из аэропорта). Так, например, при встрече рейса, прибывающего по МВЛ (международные воздушные линии), на место стоянки прибывают представители служб пограничного контроля и таможни. А в случае наличия на борту оружия должны также присутствовать представители Министерства внутренних дел и/или Росгвардии.

Кроме того, ТГО подразделяются относительно направления и объема выполняемых операций на следующие виды:

- ✓ обслуживание по прилету рейса (конечный ТГО) — от прибытия ВС, выполняющего рейс в аэропорт как пункт назначения, на место стоянки до выполнения последней операции (например, окончания обработки груза/почты);
- ✓ обслуживание по вылету рейса (начальный ТГО) — от прибытия ВС, выполняющего рейс из аэропорта как пункта отправления, до отправления с места стоянки (точки запуска двигателей — в зависимости от сезона, необходимости и места проведения противообледенительной обработки);

- ✓ оборотный или транзитный ТГО (прилет/вылет) — обслуживание ВС от прилета до вылета как сумма всех операций, ограниченных временным отрезком от прибытия до отправления ВС, выполняющего пару рейсов — прилетной и вылетной.

Каждая технологическая операция выполняется в строгом соответствии с требованиями, указанными в технологических картах и инструкциях, разрабатываемых операторами наземного обслуживания в соответствии с видом работ и с учетом требований руководств по наземному обслуживанию авиакомпаний.

Во время обслуживания одного рейса параллельно выполняются несколько операций. Пример ТГО приведен в табл. 1.

Проблемы прохождения информации от одного участника процесса к другому в процессе обслуживания воздушного судна обусловлены такими факторами, как:

- ✓ количество одновременно обслуживаемых рейсов и проводимых операций в процессе наземного обслуживания;
- ✓ конфигурация аэродрома, перрона и комплекса зданий и сооружений на территории аэропорта;
- ✓ используемые для координации и выполнения операций помещения в цокольных или подвальных этажах терминалов аэропорта или в отдаленных от места обслуживания зданиях;
- ✓ наличие радионепрозрачных сооружений и препятствий для радиосигнала на перроне (спецтехника, воздушные суда, ангары и т.п.).

Также большое значение имеет уровень сервиса — время предоставления канала связи со стороны инфраструктуры.

С учетом упомянутых выше факторов, а также в соответствии с типовыми ТГО представляется целесообразным выделить следующие потоки информации (виды каналов управления):

- ✓ управление производством и/или аэропортом (координация производственной деятельности, выполнение суточного плана полетов и расписания аэропорта, слот-координация, управление наземным движением воздушных судов и т.д.);
- техническое обслуживание воздушного судна в рамках ТГО (авиационные механики, инженеры по обслуживанию воздушных судов и/или супервайзеры под бортом, диспетчеры по организации перевозок на перроне);

Таблица 1

Типовой технологический график

| № | Операция | Начало | Окончание | Продолжительность |
|----|------------------------------------|--------|-----------|-------------------|
| 1 | Прибытие ВС | 0:45 | 0:35 | 0:10 |
| 2 | Авиационная безопасность | 0:35 | 0:00 | 0:35 |
| 3 | Установка колодок | 0:35 | 0:34 | 0.01 |
| 4 | Подгон первого трапа | 0:34 | 0:32 | 0.02 |
| 5 | Открытие грузовых люков | 0:34 | 0:32 | 0:02 |
| 6 | Подгон второго трапа | 0:34 | 0:32 | 0:02 |
| 7 | Разгрузка багажа | 0:32 | 0:21 | 0:11 |
| 8 | Высадка пассажиров | 0:32 | 0:26 | 0:06 |
| 9 | Подъезд топливозаправщика | 0:34 | 0:27 | 0:07 |
| 10 | Заправка топливом | 0:26 | 0:14 | 0:12 |
| 11 | Готовность ВС | 0:20 | 0:19 | 0:01 |
| 12 | Посадка пассажиров в ВС | 0:14 | 0:02 | 0:12 |
| 13 | Загрузка багажа | 0:16 | 0:04 | 0:12 |
| 14 | Доставка перевозочной документации | 0:07 | 0:05 | 0:02 |
| 15 | Прибытие тягача | 0.07 | 0:05 | 0:02 |
| 16 | Заккрытие грузовых люков | 0:04 | 0:02 | 0:02 |
| 17 | Заккрытие пассажирских дверей | 0:02 | 0:01 | 0:01 |
| 18 | Отгон первого трапа | 0:02 | 0:01 | 0:02 |
| 19 | Отгон второго трапа | 0:02 | 0:01 | 0:02 |
| 20 | Уборка колодок, отправление | 0:01 | 0:00 | 0:01 |
| 21 | Буксировка ВС | 0:00 | -0:03 | 0:03 |

Table 1

Typical technological schedule

| No. | Operation | Begin | End | Duration |
|-----|-----------------------------------|-------|-------|----------|
| 1 | Departing Aircraft | 0:45 | 0:35 | 0:10 |
| 2 | Aviation Safety operations | 0:35 | 0:00 | 0:35 |
| 3 | Cutters install | 0:35 | 0:34 | 0.01 |
| 4 | Landing 1 st ramp | 0:34 | 0:32 | 0.02 |
| 5 | Opening Cargo Doors | 0:34 | 0:32 | 0:02 |
| 6 | Landing 2 nd ramp | 0:34 | 0:32 | 0:02 |
| 7 | Baggage Unloading | 0:32 | 0:21 | 0:11 |
| 8 | Passengers Unloading | 0:32 | 0:26 | 0:06 |
| 9 | Fuel Tanker Entrance | 0:34 | 0:27 | 0:07 |
| 10 | Fuelling | 0:26 | 0:14 | 0:12 |
| 11 | Aircraft Readiness | 0:20 | 0:19 | 0:01 |
| 12 | Passengers Loading | 0:14 | 0:02 | 0:12 |
| 13 | Baggage Loading | 0:16 | 0:04 | 0:12 |
| 14 | Flight Docs delivery | 0:07 | 0:05 | 0:02 |
| 15 | Tractor arrival | 0.07 | 0:05 | 0:02 |
| 16 | Cargo Doors closing | 0:04 | 0:02 | 0:02 |
| 17 | Passenger Doors Closing | 0:02 | 0:01 | 0:01 |
| 18 | 1 st ramp driving away | 0:02 | 0:01 | 0:02 |
| 19 | 2 nd ramp driving away | 0:02 | 0:01 | 0:02 |
| 20 | Cutters remove | 0:01 | 0:00 | 0:01 |
| 21 | Aircraft towing | 0:00 | -0:03 | 0:03 |

✓ наземное обслуживание воздушного судна (водители спецтранспорта и средств наземного обслуживания, тягачи аэродромные, буксировочные устройства, топливозаправщики, машины для доставки бортового питания, машины для проведения противообледенительной обработки ВС и т.д.),

✓ обслуживание пассажиров (стойки регистрации, выходы на посадку, персонал — агенты регистрации, посадки и обслуживания транзитных пассажиров, пассажирские и экипажные автобусы, амбулифты и персонал для обслуживания пассажиров с ограниченными возможностями здоровья и т.п.);

✓ обработка багажа (персонал, погрузчики контейнерные, комплектовка багажа, загрузка/выгрузка, транспортеры ленточные, тягачи багажных тележек и контейнеров и т.п.);

✓ обработка груза/почты (персонал, погрузчики контейнерные, комплектовка грузов и почты, загрузка/выгрузка, транспортеры ленточные, тягачи багажных тележек и контейнеров);

✓ прочие производственные операции и управление аэродромной территорией, перроном, зданиями и сооружениями аэропорта.

2. Поэтапное исследование потоков

Исследование потоков проводилось в одном из крупнейших аэропортов Российской Федерации в два этапа, которые совпали с реализацией проекта по модернизации существующей системы радиосвязи. На первом этапе исследования при проведении проектного обследования инфраструктуры аэропорта в целях модернизации существующей системы радиосвязи были изучены доступные ресурсы для ее функционирования. Модернизируемая система радиосвязи эксплуатируется при выполнении операций наземного обслуживания воздушных судов, пассажиров, обработки багажа, груза и почты, а также для обеспечения авиационной и транспортной безопасности, поискового и аварийно-спасательного обеспечения полетов. В результате проектного обследования с учетом существующих радиочастотных разрешений и конструкции имеющихся антенно-фидерных устройств определена целевая архитектура система радиосвязи, в которой за основу принят стандарт DMR Tier III. Расчеты радиосети сделаны по методикам компаний-производителей оборудования и программного обеспечения.

На втором этапе исследования, проводимом на модернизированной системе, при помощи программного обеспечения CMSS Data Converter [8], разработанного одним из авторов, были проанализированы радиообмены между центром управления производством (диспетчером) и исполнителями (абонентами радиосети) в различных разговорных группах, их количество, средняя продолжительность и качество. Данное программное обеспечение преобразует сырые данные, полученные с контроллеров транкинговой радиосети, в базу данных, а затем их анализирует по заданным критериям. В частности, в базу данных записывается следующая информация: дата и время события, относительное время в миллисекундах, источник вызова (абонент), назначение вызова (группа), уникальный номер сессии, тип вызова, действие, сайт-инициатор, уровень сигнала при вызове, идентификатор сайта, на котором зарегистрирован абонент, идентификатор ретранслятора, номер тайм-слота, номер логического канала, дополнительная информация. Программное обеспечение анализирует события и строит отчеты в различных аналитических разрезах: регистрация и разрегистрация абонентов, групповые и индивидуальные вызовы для передачи голоса или данных, прерывания групповых вызовов и др. Таким образом были проанализированы массивы данных в части количества сеансов связи, качества сигнала, скорости предоставления канала связи, участников радиообмена. С помощью подобных отчетов можно установить, например, что емкость сайта N (или базовой станции) недостаточна, а сайта M — избыточна. Это позволяет выработать рекомендации по их реконфигурации, а также оценить такие параметры, как качество связи и доступность каналов (детектирование наличия очередей).

Приведем пример одной сессии, в рамках которой производится радиообмен между диспетчером и местом стоянки ВС внутри одной разговорной группы. Количество включений внутри сессии — 4: «Стоянка 1, ответьте» — «я 1, отвечаю» — «примите задание» — «принял». В более сложных случаях требуются дополнительные разъяснения или уточнения как со стороны диспетчера, так и со стороны агента. Минимальное время занятия радиоканала (группы) составляет 1 минуту, среднее 3 минуты, максимальное 10 минут.

Путем анализа накопленной статистики по всем группам выявлены как недостатки отсутствия стандартизации коммуникаций, так и недостатки системы радиосвязи, спроектированной только по расчетам ЭМС:

✓ несоблюдение персоналом фразеологии радиообмена, затягивание переговоров, обсуждение не относящихся к выполняемой операции вопросов;

✓ чрезмерное количество участников в группе — по данным статистического анализа определено, что для обеспечения эффективного радиообмена количество абонентов в разговорной группе не должно превышать 100–120, а превышение этого количества потенциально может привести к нарушениям времени выполнения операций ТГО и, соответственно, к задержке отправления рейса в связи с недоступностью одного из участников процесса;

✓ выявлены абоненты и группы абонентов, которые не соответствуют своим функциям и генерируют дополнительную нагрузку на радиосеть;

✓ недостаточность количества каналов, доступных на базовых станциях, когда при превышении количества разговорных групп выше определенного проектом предела вызовы помещаются в очередь, что негативно сказывается на соблюдении параметров операций в рамках производственных процессов аэропорта.

Среднее время сессии для каждой функциональной группы абонентов, взаимодействующих при выполнении операций в рамках ТГО (в нормальном режиме вне периодов пиковой нагрузки, без аварийных и/или сбойных ситуаций) приведено в табл. 2.

Авторами также экспериментальным путем установлено, что время удержания логического канала не должно превышать 4 секунды — при меньшем времени текущая сессия завершится, будет открыта новая, что при значительном количестве абонентов и групп приведет к повышению общей нагрузки на систему, а при большем — повышается вероятность отказа в обслуживании для других абонентов в силу недостаточности количества каналов, упомянутой выше.

Таблица 2

Среднее время сессии при ТГО

| № п/п | Функциональная группа | Количество групп, шт. | Среднее время сессии, мин |
|-------|---|-----------------------|---------------------------|
| 1 | Инженер по обслуживанию ВС | 1 | 2 |
| 2 | Авиамеханики | 1 | 2 |
| 3 | Обработка багажа | 1 | 4 |
| 4 | Самоходный трап | 1 | 1 |
| 5 | Пассажиры и пассажиры ОВЗ | 2 | 2 |
| 6 | Вода/Химия/Ассенизация | 2 | 1 |
| 7 | Пассажирские автобусы | 2 | 2 |
| 8 | Топливозаправщики | 1 | 1 |
| 9 | Аэродромные тягачи / Буксировка ВС | 2 | 2 |
| 10 | Доставка средств наземного обслуживания | 1 | 2 |
| 11 | Противообледенительная обработка ВС | 1 | 4 |

Table 2

Average session time with the technological maintenance schedule

| No. п/п | Functional group | Number of groups, pcs | Average session time, min |
|---------|---|-----------------------|---------------------------|
| 1 | Aircraft Maintenance Engineer | 1 | 2 |
| 2 | Aircraft mechanics | 1 | 2 |
| 3 | Handling luggage | 1 | 4 |
| 4 | Self-propelled ramp | 1 | 1 |
| 5 | Passengers and passengers with disabilities | 2 | 2 |
| 6 | Water/Chemistry/Sewage disposal | 2 | 1 |
| 7 | Passenger buses | 2 | 2 |
| 8 | Tankers | 1 | 1 |
| 9 | Airfield tractors / Aircraft towing | 2 | 2 |
| 10 | Delivery of ground-handling | 1 | 2 |
| 11 | Aircraft Anti-Icing treatment | 1 | 4 |

Таким образом, для обеспечения коммуникаций при проведении наземного обслуживания в аэропорту необходимо не менее 15 разговорных групп, не считая аварийного канала (ПАСОП), каналов служб авиационной и транспортной безопасности.

Заключение

На основе проведенного исследования можно заключить, что потоки информации в операциях наземного обслуживания воздушных судов представляют собой разветвленный граф с применением всех имеющихся средств коммуникаций: радиосвязи, проводной телефонной связи, мобильной связи, локальной вычислительной сети, мобильного интернета, мессенджеров, электронной почты, систем оперативной связи (интеркомов) и т.д. Однако радиосвязь считается наиболее удобным способом оперативной коммуникации. Приведен типовой радиообмен центра управления со стоянкой воздушного судна, который характеризуется высокой требовательностью к доступности радиоканала.

В ходе исследования установлены экспериментально следующие параметры для потоков управления наземным обслуживанием воздушных судов:

- доступность канала связи должна составлять 97 %, что не противоречит заданным параметрам транкингового режима DMR Tier III;
- количество каналов связи (групп) в целях наземного обслуживания воздушных судов — минимум 15, но при наличии более одного терминала это значение может быть увеличено вдвое. Однако при эксплуатации базовых станций (сайтов) различной канальности необходимо предусмотреть компенсационные механизмы;
- анализ переговоров показал необходимость строгого соблюдения регламента переговоров;
- удержание вызова в канале связи не должно превышать более 4 секунд;
- существующие системы могут обеспечить доступность каналов и бесперебойное функционирование всех групп абонентов при достаточном частотном ресурсе и планировании радиосети.

Список литературы

1. *Tabassum A., He B.* Dynamic control allocation between onboard and delayed remote control for unmanned aircraft system detect-and-avoid // *Aerospace Science and*

Technology. 2022. Vol. 121. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2021.107323>

2. *Palacios R., Hansman J.* Shortterm consequences of radio communications blackout on the U.S. National Airspace System // *Aerospace Science and Technology*. 2013. Vol. 29. Issue 1. P. 426–433. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2013.04.012>

3. *Васильев В.Н., Григорьев В.А., Хворов И.А., Раснаев Ю.А.* Системы связи на транспорте: тенденции развития и задачи регулирования // *Электросвязь*. 2016. № 2. С. 18–23. EDN: VOCABB

4. *Демичев М.С., Гаипов К.Э., Демичева А.А., Нарожный А.И.* Радиочастотное планирование радиосети с исключением интерференции радиоволн // *Кибернетика и программирование*. 2017. № 4. С. 1–23. EDN: ZFIDJJ

5. *Ильченко А.В., Бутакова М.А., Лабунько О.С.* Метод управления оперативной радиосвязью при проведении Гран-при России «Формулы 1» // *Электросвязь*. 2018. № 6. С. 49–52. EDN: XQLDJJ

6. *Бедило М.В., Олейников В.Т., Петренко А.Н., Страховис А.А.* Технология построения полевой мультисервисной сети передачи данных на местах тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ // *Технологии гражданской безопасности*. 2022. № 2 (72). С. 31–36. EDN: BSDXGY

7. Перспективы внедрения широкополосных сервисов в сетях профессиональной мобильной радиосвязи на основе LTE. URL: <http://www.nnit.ru/analytics/a157764/> (дата обращения: 24.03.2023).

8. *Ahmad A., Cheema A.A., Finlay D.* A survey of radio propagation channel modelling for low altitude flying base stations // *Computer Networks*. 2020. Vol. 171. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107122>

9. *Tuna G., Nefzi B., Conte G.* Unmanned aerial vehicleaided communications system for disaster recovery // *Journal of Network and Computer Applications*. 2014. Vol. 41. P. 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2013.10.002>

10. *Gulfam S.M., Nawaz S.J., Ahmed A., Patwary M.N.* Angle and time of arrival characteristics of 3D air-to-ground radio propagation environments // *Computer Communications*. 2017. № 112. P. 22–37. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2017.08.011>

11. *Ларкович М.А., Дороничев А.В.* Цифровое управление технологическими процессами наземного обслуживания воздушных судов // *Научно-техническому и социально-экономическому развитию Дальнего востока России — инновации молодых: тезисы докладов 80-й Межвузовской студенческой научно-практической конференции: в 2 т. Т. 1 / под ред. А.З. Ткаченко. Хабаровск, 2022. С. 135. EDN: LKZGXP*

12. *Tabares D.A., Mora-Camino F., Drouin A.* A multi-time scale management structure for airport ground handling automation // *Journal of Air Transport Management*. 2021. Vol. 90. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101959>

13. Chen S.-T., Ermiş G., Sharpanskykh A. Multi-agent planning and coordination for automated aircraft ground handling. *Robotics and Autonomous Systems* // *Robotics and Autonomous Systems*. 2023. Vol. 167. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2023.104480>
14. Adler N., Brudner A., Gallotti R., Privitera F., Ramasco J.J. Does big data help answer big questions? The case of airport catchment areas & competition // *Transportation Research Part B: Methodological*. 2022. Vol. 166. P. 444–467. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2022.10.013>
15. Andreatta G., De Giovanni L., Michele Monaci M. A Fast Heuristic for Airport Ground-Service Equipment-and-Staff Allocation // *Procedia — Social and Behavioral Sciences*. 2014. Vol. 108. P. 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.817>
16. Fitouri-Trabelsi S., Cosenza C.A.N., Mora-Cami F. Ground Handling Management at Airports with Fuzzy Information // *IFAC Proceedings Volumes*. 2013. Vol. 46. P. 373–378. <https://doi.org/10.3182/20130911-3-BR-3021.00016>
17. Liu X., Wang Q., Zou C., Yu M., Liao D. Edge Intelligence for Smart Airport Runway: Architectures and Enabling Technologies // *Computer Communications*. 2022. Vol. 195. P. 323–333. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2022.09.003>
18. Ma J., Chen X., Xing Z., Zhang Y., Yu L. Improving the performance of airport shuttle through demand-responsive service with dynamic fare strategy considering mixed demand // *Journal of Air Transport Management*. 2023. Vol. 112. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102459>
19. Kalakou S., Psaraki-Kalouptsidi V., Moura F. Future airport terminals: New technologies promise capacity gains // *Journal of Air Transport Management*. 2015. Vol. 42. P. 203–212. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2014.10.005>
20. Malik H., Tahir S., Tahir H., Ihtasham M., Khan F. A homomorphic approach for security and privacy preservation of Smart Airports // *Future Generation Computer Systems*. 2023. Vol. 141. P. 500–513. <https://doi.org/10.1016/j.future.2022.12.005>
21. Kovacicova K., Novak A., Kovacicova M., Sedlackova A.N. Smart parking as a part of Smart airport concept // *Transportation Research Procedia*. 2022. Vol. 65. P. 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.11.009>
22. Rubio-Andrada L., Celetin-Pedroche M.S., Escat-Cortes M.-D., Jimenez-Crisostomo A. Passengers Satisfaction with The Technologies Used in Smart Airports: An Empirical Study from A Gender Perspective // *Journal of Air Transport Management*. 2023. Vol. 107. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2022.102347>
23. Ильченко А.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020662503 Российская Федерация. CMSS Data Converter. Конвертер данных CMSS: № 2020661140: заявл. 28.09.2020; опубл. 14.10.2020.

References

1. Tabassum A, He B. Dynamic control allocation between onboard and delayed remote control for unmanned aircraft system detect-and-avoid. *Aerospace Science and Technology*. 2022;121:107323. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2021.107323>
2. Palacios R, Hansman J, Short-term consequences of radio communications blackout on the U.S. National Airspace System. *Aerospace Science and Technology*. 2013;29:426–433. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2013.04.012>
3. Vasilev VN, Grigoriev VA, Khvorov IA, Raspaev YuA. Communication systems in transport: development trends and regulation tasks. *Elektrosvyaz*. 2016; 2:18–23. (In Russ.) EDN: VOCABB
4. Demichev MS, Gaipov KE, Demicheva AA, Narozhny AI. Radio frequency planning of a radio network with the exclusion of radio wave interference. *Cybernetics and Programming*. 2017;4:1–23. (In Russ.) EDN: ZFIDJJ
5. Ilchenko AV, Butakova MA, Labunko OS. Operational radio communication control method during the Formula 1 Russian Grand Prix. *Elektrosvyaz*. 2018;6:49–52. (In Russ.) EDN: XQLDJJ
6. Bedilo MV, Oleinikov VT, Petrenko AN, Strakhov AA. Technology for constructing a field multi-service data transmission network at fire extinguishing and emergency rescue operations. *Civil Security Technologies*. 2022;2(72):31–36. (In Russ.) <https://elibrary.ru/item.asp?id=48679004>
7. Prospects for the introduction of broadband services in professional mobile radio networks based on LTE. (In Russ.) Available from: <http://www.nnit.ru/analytics/a157764/> (accessed: 24.03.2023).
8. Ahmad A, Cheema AA, Finlay D. A survey of radio propagation channel modelling for low altitude flying base stations. *Computer Networks*. 2020;171:107122. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107122>
9. Tuna G, Nefzi B, Conte G. Unmanned aerial vehicle-aided communications system for disaster. *Journal of Network and Computer Applications*. 2014;41:27–36. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2013.10.002>
10. Gulfam S.M., Nawaz S.J., Ahmed A., Patwary M.N. Angle and time of arrival characteristics of 3D air-to-ground radio propagation environments. *Computer Communications*. 2017;112:22–37. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2017.08.011>
11. Larkovich MA, Doronichev AV. Digital control of technological processes of ground handling of aircraft. *Innovations of the young for scientific, technical and socio-economic development of the Russian Far East: materials of the 80th Interuniversity student scientific and practical conference*. Khabarovsk, 2022. (In Russ.) EDN: LKZGXP
12. Tabares DA, Mora-Camino F, Drouin A. A multitime scale management structure for airport ground handling automation. *Journal of Air Transport Manage-*

ment. 2021;90:101959. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101959>

13. Chen S-T, Ermiş G, Sharpanskykh A. Multi-agent planning and coordination for automated aircraft ground handling. *Robotics and Autonomous Systems*. 2023;167:104480. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2023.104480>

14. Adler N, Brudner A, Gallotti R, Privitera F, Ramasco JJ. Does big data help answer big questions? The case of airport catchment areas & competition. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2022;166:444–467. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2022.10.013>

15. Andreatta G, De Giovanni L, Michele Monaci M. A Fast Heuristic for Airport Ground-Service Equipment-and-Staff Allocation. *Procedia — Social and Behavioral Sciences*. 2014;108:26–36. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.817>

16. Fitouri-Trabelsi S, Cosenza CAN, Mora-Cami F. Ground Handling Management at Airports with Fuzzy Information. *IFAC Proceedings Volumes*. 2013;46:373–378. <https://doi.org/10.3182/2013.0911-3-BR-3021.00016>

17. Liu X, Wang Q, Zou C, Yu M, Liao D. Edge Intelligence For Smart Airport Runway: Architectures And Enabling Technologies. *Computer Communications*. 2022;195:323–333. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2022.09.003>

18. Ma J, Chen X, Xing Z, Zhang Y, Yu L. Improving the performance of airport shuttle through demand-

responsive service with dynamic fare strategy considering mixed demand. *Journal of Air Transport Management*. 2023;112:102459. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102459>

19. Kalakou S, Psaraki-Kalouptsi V, Moura F. Future airport terminals: New technologies promise capacity gains. *Journal of Air Transport Management*. 2015;42:203–212. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2014.10.005>

20. Malik H, Tahir S, Tahir H, Ihtasham M, Khan F. A Homomorphic approach for security and privacy Preservation of smart airports. *Future Generation Computer Systems*. 2023;141:500–513. <https://doi.org/10.1016/j.future.2022.12.005>

21. Kovacicova K, Novak A, Kovacicova M, Sedlackova AN. Smart parking as a part of Smart airport concept. *Transportation Research Procedia*. 2022;65:70–77. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.11.009>

22. Rubio-Andrada L, Celemin-Pedroche MS, Escat-Cortes M-D, Jimenez-Crisostomo A. Passengers satisfaction with the technologies used in smart airports: An empirical study from a gender perspective. *Journal of Air Transport Management*. 2023;107:102347. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2022.102347>

23. Ilchenko AV. Certificate of state registration of the computer program 2020662503 Russian Federation. CMSS data converter: 2020661140: App. 09.28.2020: publ. 10.14.2020. (In Russ.)

Сведения об авторах

Ильченко Андрей Викторович, ассистент, кафедра 307, факультет систем управления, информатики и электроэнергетики, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Российская Федерация; ORCID: 0009-0004-0745-2285; E-mail: ilchenkoav@mai.ru

Ильченко Татьяна Евгеньевна, руководитель направления, ООО «АФЛТ-Системс», Москва, Российская Федерация; ORCID: 0009-0005-9440-5299; E-mail: t.ilchenko@me.com

About the authors

Andrey V. Ilchenko, assistant, chair 307, faculty of Control Systems, Informatics and power engineering, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russian Federation; ORCID: 0009-0004-0745-2285; E-mail: ilchenkoav@mai.ru

Tatyana E. Ilchenko, Head of Department, AFLT-Systems LLC, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0009-0005-9440-5299; E-mail: t.ilchenko@me.com