

УДК 621.396

Научная статья

<https://doi.org/10.32603/2071-8985-2024-17-7-35-43>

Разработка сети передачи данных для удаленного диспетчерского обслуживания полетов в аэропорту Магаданской области

И. С. Скварник, Е. И. Галайда✉

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

✉ galaida.ei@dvfu.ru

Аннотация. Реализация метода «Дистанционное обслуживание башни» или RTS – Remote Tower Service, в организации воздушного движения (ОрВД) в малых аэропортах является современной задачей. Основная идея данного метода заключается в увеличении эффективности воздушного движения в аэропортах малого и среднего масштаба с точки зрения экономики. Функционирование аэропортов с низкой интенсивностью полетов – важный элемент работы аэронавигационной системы нашей страны. В России наибольшая часть аэропортов характеризуется показателем интенсивности движения, не превышающим десяти посадочно-взлетных операций в течение суток, в связи с чем возникает необходимость использования радиотехнического обеспечения полетов в таких аэропортах.

Рассматриваются особенности внедрения технологии Remote Tower Service (RTS) в небольших аэропортах и представляются результаты использования беспроводного широкополосного доступа (БШД) для построения сетей передачи данных (СПД), анализируется и обосновывается выбор модели СПД в аэропортах с низкой интенсивностью полетов.

Ключевые слова: дистанционное диспетчерское обслуживание воздушного движения, сеть передачи данных, беспроводной широкополосный доступ, аэропорт с низкой интенсивностью полетов

Для цитирования: Скварник И. С., Галайда Е. И. Разработка сети передачи данных для удаленного диспетчерского обслуживания полетов в аэропорту Магаданской области // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2024. Т. 17, № 7. С. 35–43. doi: 10.32603/2071-8985-2024-17-7-35-43.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России по проекту FZNS-2023-0008.

Original article

Development of a Data Transmission Network for Remote Flight Control at the Magadan Oblast Airport

I. S. Skvarnik, E. I. Galaida✉

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

✉ galaida.ei@dvfu.ru

Abstract. Implementation of the method of Remote and Virtual Tower, or Remote Tower Service (RTS), for air traffic management at small-size airports is a modern task. This method ensures an increased efficiency of air traffic at small- and medium-sized airports from an economic point of view. The operation of airports with a low flight intensity is an important element of the air navigation system in Russia. Here, the largest part of airports is characterized by the traffic intensity not exceeding 10 landing and take-off operations during the day. In this

regard, there is a need to use radio engineering support for flights at such airports. This article addresses the specifics of implementation of RTS technology in small-sized airports. The results of using wireless broadband access (WBA) to build data transmission networks (DTN) are presented. Grounds for selecting a DTN model in airports with a low flight intensity are analyzed and justified.

Keywords: remote air traffic control, data transmission network, wireless broadband access, low-flight intensity airports

For citation: Skvarnik I. S., Galaida E. I. Development of a Data Transmission Network for Remote Flight Control at the Magadan Oblast Airport // LETI Transactions on Electrical Engineering & Computer Science. 2024. Vol. 17, no. 7. P. 35–43. doi: 10.32603/2071-8985-2024-17-7-35-43.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Funding: The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the project FZNS-2023-0008.

Введение. Для обеспечения безопасности полетов в Российской Федерации используются средства радиотехнического обеспечения воздушного движения, которые должны сочетать в себе безопасность и экономическую целесообразность. Федеральные авиационные правила определяют набор средств радиотехнического обеспечения для контроля воздушной обстановки, однако в аэропортах с низкой активностью их использование часто не оправдывает свою стоимость. Возникает проблема несоответствия между затратами на средства радиотехнического обеспечения, их эксплуатационными издержками и реальной экономической эффективностью с точки зрения результатов и стоимости. Поэтому для таких аэропортов внедрение новых технологий управления воздушным движением (УВД) – задача приоритетная [1].

Инновационный способ RTS. В аэропортах с небольшим количеством взлетно-посадочных операций (ВПО) основным методом контроля служит визуальный метод определения местоположения воздушного судна (ВС), но в условиях ограниченной видимости это затруднительно. Поэтому важно внедрение системы УВД, например как Remote Tower System, которая позволит эффективно управлять аэродромами через единый центр УВД. Международная организация гражданской авиации (ИКАО) поддерживает такие инициативы, реализуемые в концепции удаленного диспетчерского обслуживания аэродромов. Некоторые страны уже показывают результаты внедрения данной технологии. Программы NextGen и SESAR, направленные на запуск в работу дистанционных командно-диспетчерских пунктов (КДП), реализуются в Европе и Соединенных Штатах Америки. Осенью 2014 г. впервые в мире был запущен сертифицированный

аэродром в Орнсколдсвике благодаря сотрудничеству Администрации гражданской авиации Швеции (LFV) и компании «Saab» [2]. Этот проект успешно функционирует и управляется удаленно с контрольно-диспетчерского пункта в городе Сундсваль. В Австралии компания «Saab Sensis Corporation» установила первое интегрированное автоматизированное рабочее место диспетчера в рамках национальной программы модернизации вышек провайдера АНО «Airservices». Для проведения круглосуточных эксплуатационных испытаний был выбран небольшой аэродром в Алис Спрингс и удаленный контрольно-диспетчерский пункт в Аделаиде, находящийся на расстоянии 1 500 км. При этом правила воздушного движения не подверглись изменениям.

Использование IP-камер для передачи обработанных координат в реальном времени методом «вид из окна» может быть эффективным решением для системы управления и контроля. В Российской Федерации особенно актуально внедрение этой технологии на Севере, Дальнем Востоке и в Восточной Сибири, где авиация играет ключевую роль. Применение данной системы позволит сэкономить на строительстве КДП, сократить расходы на зарплату диспетчеров и оптимизировать эксплуатационные расходы за счет использования средств радиотехнического обеспечения полетов. Преимущество такой системы состоит в повышении безопасности полетов в условиях низкой видимости благодаря возможности наблюдения за воздушными судами на экране монитора без непосредственного зрительного контакта.

Более того, перспективы системы удаленного контроля движения воздушных судов не ограничиваются только небольшими аэродромами с низким трафиком, но также применимы в аэропортах с высокой активностью, где не все участки взлетно-посадочной полосы (ВПП) видны с воздушно-

го контрольного пункта. Высокая стоимость оборудования для внедрения данной технологии может замедлить ее развитие, возможно, превысив потенциальную прибыль от авиационных операций. Тем не менее, первоначальные затраты не должны быть единственным критерием эффективности, поскольку этап разработки новых решений требует времени и усилий для достижения передовых позиций в авиационной технологии. Опыт показывает, что разработка оптимальных технологических решений приведет к снижению стоимости технологии RTS, а ее широкое внедрение снизит общие расходы. Важно не отставать от стран Западной Европы и США на этапе внедрения технологий RTS для совершенствования системы управления воздушным движением в Российской Федерации [3].

В данном контексте реализация в настоящее время филиалом «Аэронавигация Северо-Восточной Сибири» ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» пилотного проекта по созданию дистанционного диспетчерского пункта для обслуживания аэропорта Маган из Якутского центра ОВД отражает стремление к улучшению качества обслуживания региональных аэродромов при снижении финансовых затрат и без ухудшения безопасности полетов [4].

Цифровая передача на дистанционный КДП. Ключевым аспектом технологии RTS служит организация сети передачи данных между камерами видеонаблюдения на аэродроме и центром управления КДП. Основным требованием к такой сети становится высокая производительность (до 1 Гбит/с), что требует специальных решений. Некоторые эксперты предлагают использовать для этой цели спутниковые средства связи, однако стоимость передачи данных через спутниковые средства связи очень высока, что делает их применение для передачи видеоданных экономически нецелесообразным.

Проводные средства связи (витая пара) могут обеспечить требуемую скорость передачи данных (до 1 Гбит/с) только на короткие расстояния (до 100 м) и используются в основном в офисах. Для объектов на расстоянии нескольких десятков километров и более могут быть использованы волоконно-оптические линии связи и средства беспроводной связи последнего поколения, чтобы обеспечить скорость передачи данных до 1 Гбит/с [5].

Использование оптоволоконных линий связи для построения систем передачи данных обеспечивает необходимую пропускную способность и высокую защищенность от помех. Вместе с тем, у

оптоволоконных линий связи имеются недостатки: высокие затраты на строительство и монтаж; длительное время выполнения работ, особенно в условиях действующих аэропортов; невозможность проведения работ в труднодоступных местах и в условиях постоянной мерзлоты [6].

Для небольших аэропортов с низкой активностью полетов использование оптоволоконных линий связи для создания таких систем может оказаться экономически невыгодным, поэтому рассмотрение беспроводных технологий представляется более целесообразным.

К беспроводным средствам связи относятся тропосферные, радио- и радиорелейные линии связи. При этом, с учетом технических характеристик и условий применения беспроводных линий связи, для построения систем передачи данных по технологии RTS подходят исключительно радиорелейные линии связи, которые отличаются возможностью организации каналов связи в труднодоступных местах и снижением капитальных затрат на строительство кабельных линий.

Радиорелейные станции (PPC) не обладают едиными протоколами обмена, их аппаратура и интерфейсы имеют низкий уровень стандартизации. Они подвержены помехам и интерференции из-за отражений от рельефа и застройки. PPC с плезиохронной цифровой иерархией (PDH) имеют ограниченную производительность (до 140 Мбит/с), а PPC с синхронной цифровой иерархией (SDH) дороги и не поддерживают полносвязную топологию сети. Поэтому PPC эффективно применяются в линейных сетях «точка–точка».

В 2000-х гг. радиорелейная связь была расширена за счет внедрения технологии беспроводного широкополосного доступа, которая использует избыточную полосу частот для эффективного распределения энергии сигнала по спектральной ширине и одновременного снижения амплитуды данного сигнала.

Эта технология использует сигналы низкой мощности с широким спектром для передачи информации, что делает их более устойчивыми к помехам и скрытыми за счет собственных шумов. Широкая полоса сигнала обеспечивает высокую скорость передачи данных, а использование цифровой модуляции (OFDM) защищает от эффекта многолучевости. Применение технологии БШД позволяет создать полносвязную топологию СПД, что делает ее более эффективной, чем линейные радиорелейные интервалы. Одно из важных преимуществ технологии БШД – возможность реа-

лизации функции Quality of Service (QoS) – обеспечение качества обслуживания, что позволяет обрабатывать более важный трафик быстрее и минимизировать задержки в сети. Реализация функции QoS позволяет объединить различные каналы связи и передачи данных в одной сети, что делает СПД БШД более эффективной и интегрированной [7].

Для небольших аэропортов возможно создание СПД, основанной на БШД, в варианте сосредоточенной или распределенной инфраструктуры. Сосредоточенное развертывание сети передачи данных представлено на рис. 1, где *a* – система MLAT; *b* – информация о погодных условиях; *c* – системы распознавания и слежения; *d* – системы отображения; *e* – панель управления камерой; *f* – датчик наблюдения MLAT для 8 каналов; *g* – сеть (оптическое волокно 100 Мбит/с); *h* – позиция воздушного судна; *i* – информация о целевом позиционировании; *j* – панорама PTZ, дополненная информация; *k* – камера PTZ с увеличением 360°; *l* – фиксированная сетевая камера [8]. В центре управления находится дисплей с панорамным отображением информации, панель управления, сенсорные панели типа НМІ. Было проведено моделирование построения СПД для аэропорта в одном из сел Магаданской области в двух вариантах. В первом варианте для обеспечения наилучшей видимости ВС при выполнении взлетно-посадочных операций все средства видеонаблюдения помещаются на одной мачте на территории аэродрома. Организация СПД осуществляется по схеме «точка–точка».

Расчеты выполняются с использованием программной среды DRRL 8.0 для планирования радиорелейных линий и сетей радиодоступа. Данная программа предназначена для проведения

планирования и расчета качественных характеристик радиорелейных линий связи (Point-to-Point), а также сетей радиодоступа (Point-to-Multipoint). Разработанная опытными инженерами с многолетним опытом в области проектирования радиорелейных линий связи различного масштаба – от небольших однопролетных линий доступа до мощных протяженных магистральных радиорелейных линий, программа успешно прошла испытания на множестве спроектированных и в настоящее время действующих линий. Испытания проводились в различных климатических зонах и на маршрутах различной сложности – от равнинных и болотистых до высокогорных [9].

В табл. 1 представлены результаты расчетов в программном обеспечении, которые показывают, что при большой скорости передачи данных сеть становится общедоступной, что свидетельствует о высоких показателях характеристик качества и надежности. На рис. 2 представлен профиль радиоинтервала, где ось *x* – длина радиоинтервала КДП–видеобашня, расстояние от начала до конца интервала, км; по оси *y* – высотные отметки земли, м. Обозначения на рисунке: *a* – радиорелейная линия прямой видимости; *b* – зона Френеля; *c* – препятствие в виде зданий; *d* – рельеф местности. Значение «годовой доступности» интервала (annual availability) при разных характеристиках канала связи одинаковое, не превышает 99.99 % суммарно для двух направлений.

Работа программы по определению качественных показателей на радиоинтервале осуществляется с учетом рекомендаций Международного союза электросвязи (МСЭ), – используются методы расчета дифракционного ослабления, ослабления в атмосферных газах, ослабления осадками, рекомендованные МСЭ.

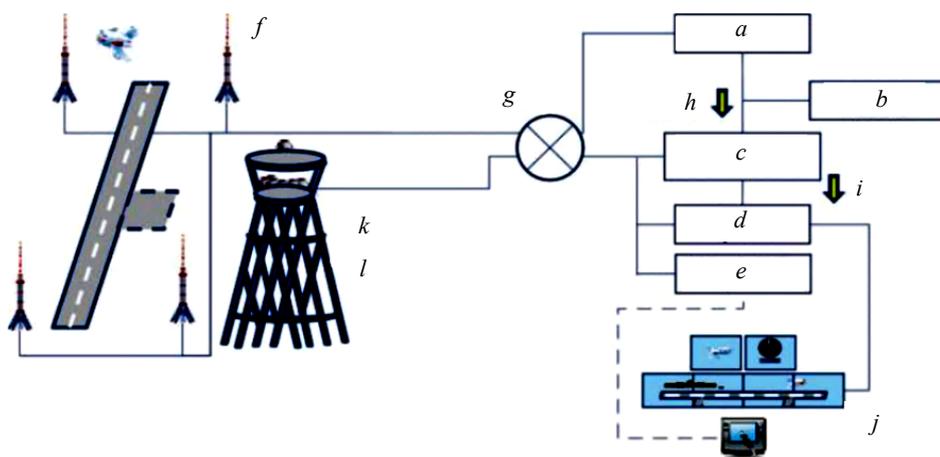


Рис. 1. Сосредоточенный вариант реализации сети передачи данных
Fig. 1. Concentrated implementation of the data transmission network

Табл. 1. Результаты расчетов качественных показателей на радиоинтервале
 Tab. 1. Results of calculations of quality indicators on the radio interval

Характеристики	КПД	Видеобашня
Координаты	N62°06'27.82" E129°32'12.73"	N62°06'27.00" E129°33'14.00"
Наименование радиооборудования	Infinet Wireless PtP InfiLINK XG 1000	
Продукт	Xm/5X.1000.4x300.2x23	
Частота	5700 МГц	
Полоса пропускания	80 МГц	
Конфигурация	1+0	
Схема объединения стволов	MIMO 2x2	
Использование разнесения	Нет	
Поляризация	Вертикальная	
Длина интервала	0.887 км	
Ослабление в свободном пространстве	106.5 дБ	
Отметка рельефа	194 м	184 м
Азимут	91.6°	271,6°
Тип антенны	Integrated	Integrated
Угол наклона антенны	-0.13°	0.13°
Коэффициент усиления антенны	23 дБи	23 дБи
Ширина ДН* в вертикальной плоскости	10°	10°
Высота подвеса антенны	17 м	25 м
Потери на объединение стволов	0 дБ	0 дБ
Ослабление в свободном пространстве	0 дБ	0 дБ
Суммарные потери в антенном тракте	0 дБ	0 дБ
Дифракционное ослабление	0 дБ	
Ослабление в атмосферных газах	0.01 дБ	
Точечный градиент рефракции, не превышаемый в течение 1 % среднего года dN1	-357.1	
Стандартное отклонение высот местности Sa	61 м	
Геоклиматический фактор для среднего наихудшего месяца K	0.0000515931	
Абсолютное значение угла наклона трассы Ер	2.2548 мрад	
Коэффициент появления многолучевости Po	0.00002841 %	
Интенсивность дождя, превышаемая в течение 0.01 % времени	15.54 мм/ч	
Затухания на трассе, превышаемые в течение 0.01 % времени	0.05 дБ	

* Диаграмма направленности

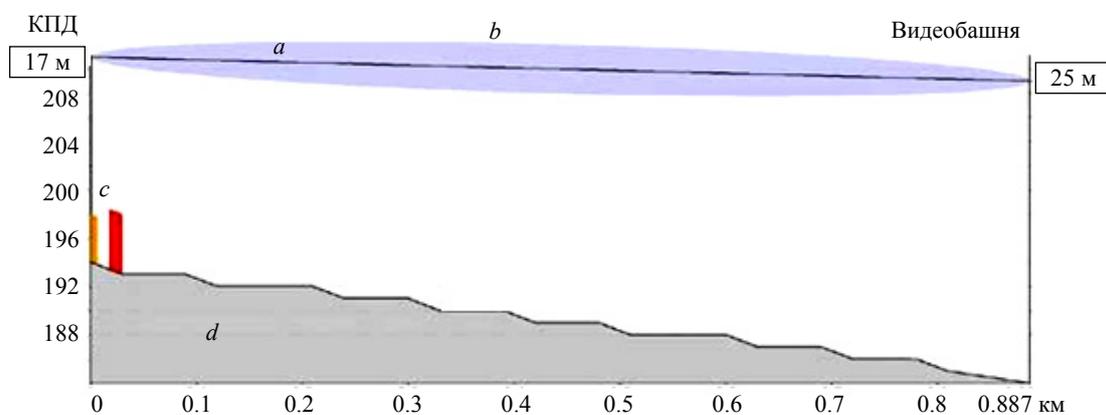


Рис. 2. Профиль радиоинтервала
 Fig. 2. Radio interval profile

Программное обеспечение предоставляет выбор моделей распространения радиоволн, применив и проанализировав которые, было принято решение в случае дифракционного ослабления использовать метод изолированных цилиндров (модель Rec. ITU-R P.526-15).

Данный метод рекомендуется для дифракции на неровной местности, которая образует одно или несколько препятствий для распространения, где каждое препятствие может быть представлено цилиндром с радиусом, равным радиусу кривизны в верхней части препятствия, что рекомендуется при наличии подробного вертикального профиля через гребень. Высотный профиль местности должен быть доступен в виде набора выборок высоты поверхности земли над уровнем моря, первая и последняя из которых – высоты передатчика и приемника над уровнем моря. Градиент преломления атмосферы следует учитывать с помощью концепции эффективного радиуса Земли. Значения расстояния и высоты описываются так, как если бы они хранились в массивах, индексированных от 1 до N , где N равно количеству выборок профиля. Каждое препятствие теперь моделируется в виде цилиндра А–С, как показано на рис. 3, где α_1 – α_3 – углы в радианах между вершиной препятствия и одним из концов трассы, если смотреть с другого конца. На рис. 4 изображена геометрия препятствия, описываемого множеством точек w – z , где d_{wx} – d_{yz} – расстояния между вершинами и препятствиями [10].

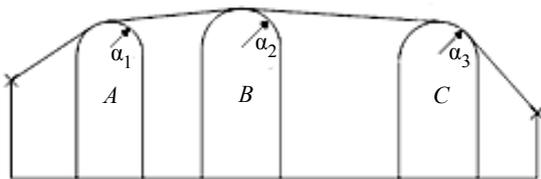


Рис. 3. Модель каскадного цилиндра
Fig. 3. Cascade cylinder model

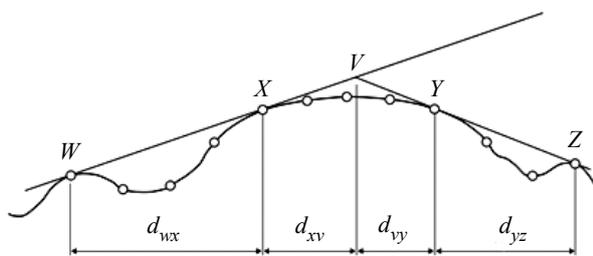


Рис. 4. Геометрия препятствия, описываемого множеством точек
Fig. 4. Geometry of an obstacle described by a set of points

Цилиндры подгоняются к общему профилю местности. Каждое препятствие описывается точками w , x , y и z , определяются соответствующие параметры цилиндра. Получив таким образом модель профиля, можно вычислить дифракционные потери на трассе в виде суммы трех членов:

- суммы потерь за счет дифракции над цилиндрами;
- суммы дифракционных потерь на субтрассе между цилиндрами (а также между цилиндрами и соседними терминалами);
- поправочного члена.

Общие дифракционные потери в децибелах по отношению к потерям в свободном пространстве можно представить как

$$L_d = \sum_{i=1}^N L'_i + L''(wx)_1 + \sum_{i=1}^N L''(yz)_i - 20 \log C_N,$$

где L'_i – потери за счет дифракции над i -м цилиндром; $L''(wx)$, $L''(yz)_i$ – дифракционные потери на субтрассе для участка трассы между точками: w , x первого цилиндра, и y , z всех цилиндров; C_N – поправочный коэффициент, учитывающий потери на рассеяние за счет дифракции над последовательно расположенными цилиндрами [10].

Недостаток сосредоточенного варианта построения СПД – невозможность обеспечить детализацию контроля ВПО на ограниченных участках аэродрома или в условиях ограниченной видимости. Кроме того, для данной схемы требуется очень высокая скорость передачи данных (до 1 Гбит/с), так как обеспечение передачи интегрированного потока информации одновременно от всех источников видеонаблюдения обязательно. Однако такой подход требует использования дорогих средств передачи данных и лицензирования частот, что увеличивает стоимость передаваемой информации, задерживает проект и снижает его эффективность. Для устранения данных недостатков предлагается применить схему реализации технологии RTS с распределенной инфраструктурой, представленную во втором варианте построения сети. При моделировании этого варианта размещение средств видеонаблюдения оптимизировано с учетом обеспечения оптимальной видимости на различных участках площади маневрирования, перрона, ВПП, рулежных дорожек и мест стоянок ВС. Такой подход позволяет

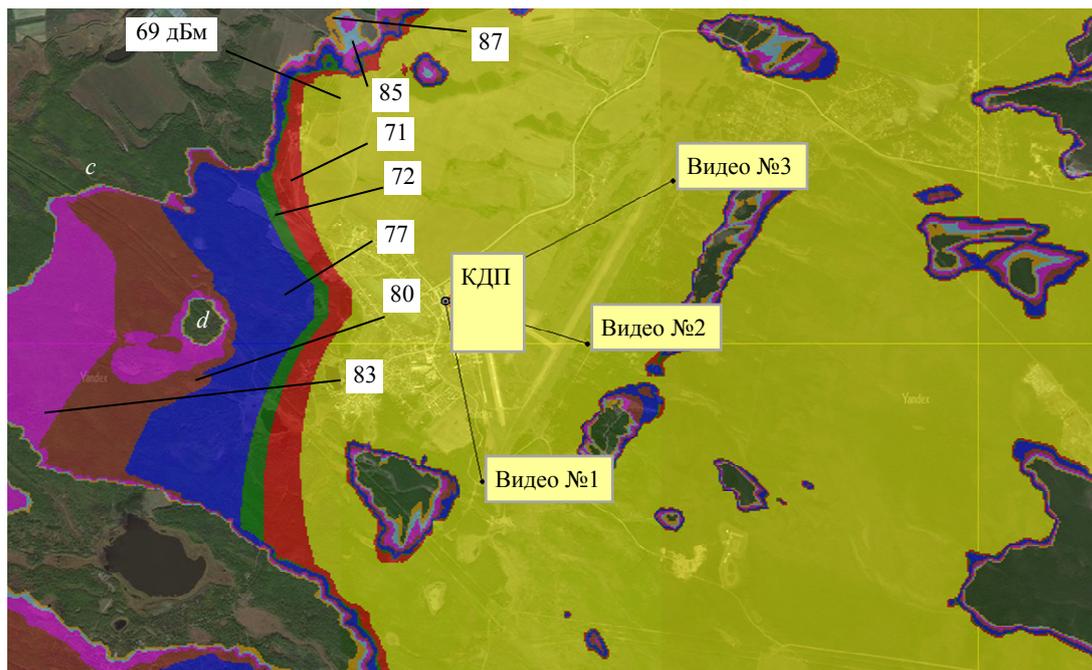


Рис. 5. Покрытие сети передачи данных
Fig. 5. Data network coverage

улучшить ситуационную осведомленность органов управления путем детализации наблюдения на конкретных участках. В результате построения сети по данной схеме возможно разделение общего интегрированного потока информации на несколько менее скоростных потоков, что сделает возможным применение V-диапазона (до 75 ГГц), не требующего лицензии, и более доступных средств передачи данных. Это значительно снижает стоимость передачи информации, упрощает процесс лицензирования частот, сокращает время реализации проекта и повышает его эффективность. Архитектура СПД основана на топологии «точка–многоточка». Расчеты, выполненные в программном обеспечении DRRL 8.0, показывают, что зона покрытия СПД с полносвязной топологией полностью охватывает район аэродрома с максимальной пропускной способностью канала, что удовлетворяет требованиям (рис. 5).

Исходя из проведенного анализа можно заключить, что оптимальным вариантом для применения в технологии RTS служит построение СПД с распределенной инфраструктурой, поскольку это способствует повышению информированности руководства полетами и увеличению гибкости использования средств наблюдения. Одно из важных преимуществ СПД на основе технологии БШД – это высокий уровень информационной безопасности,

который обеспечивается комплексом организационных и технических мер, прошедших проверку в Федеральной службе по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК) России.

Вследствие этого при выборе варианта построения СПД для внедрения технологии RTS важно учитывать особенности аэропортов с небольшим количеством ВПО и низкой интенсивностью движения на рабочей площади аэродрома. Экономическая обоснованность выбранного варианта играет ключевую роль в этом процессе. Критерием экономической эффективности может служить соотношение между затратами (на оборудование, работы и эксплуатацию) и скоростью передачи данных в организованных каналах СПД, которое отражает стоимость передаваемой информации (критерий «результат/стоимость»). Расчеты показывают, что стоимость информации, передаваемой с использованием технологии БШД, значительно ниже, чем стоимость информации, передаваемой через СПД как беспроводной, так и проводной связью. Следовательно, для построения экономически обоснованной сети передачи данных для систем дистанционного управления воздушным движением целесообразно выбрать технологию беспроводного широкополосного доступа, которая активно применяется при модернизации сетей связи для организации воздушного движения.

Список литературы

1. Korniienko A., Vagner J., Korba P. Remote tower: Assessment of implementation options in Slovak Civil Airports // 2022 New Trends in Civil Aviation (NTCA). Prague, Czech Republic: IEEE, 2022. P. 185–190. doi: 10.23919/NTCA55899.2022.9934698.
2. Kearney P., Li W. C. Multiple remote tower for Single European Sky: The evolution from initial operational concept to regulatory approved implementation // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2018. T. 116. P. 15–30. doi: 10.1016/j.tra.2018.06.005.
3. Saab Digital Air Traffic Solutions. URL: <https://www.saab.com/sites/saab-digitalair-traffic-solutions> (дата обращения: 02.03.2024).
4. Филиал «Аэронавигация Северо-Восточной Сибири». г. Якутск. URL: <https://gkovd.ru/branches/north-eastern-siberia-air-navigation/> (дата обращения: 25.02.2024).
5. Портнов Э. Л. Принципы построения первичных сетей и оптические кабельные линии. М.: Горячая линия – Телеком, 2009. 544 с.
6. Игнат Н. И. Анализ современных разработок в области волоконно-оптических систем связи // Вестн. науки. 2024. Т. 1, № 3(72). С. 487–492.
7. Бакытов А. Б., Ратахин Я. А., Ташенова Ж. К. Технология широкополосного беспроводного доступа // Сб. мат. III Междунар. науч. конф. «Актуальные вопросы технических наук». Пермь: изд-во «Зебра», 2015. С. 41–43.
8. Inoue S., Brown M., Kakubari Y. Integration of (Surveillance) multilateration sensor data into a remote tower system // Virtual and Remote Control Tower: Research, Design, Development, Validation, and Implementation. Cham: Springer International Publishing, 2022. P. 167–196. doi: 10.1007/978-3-030-93650-1_8.
9. DRRL 8.0 Проектирование радиорелейных линий и сетей радиодоступа. URL: <https://www.ctt-group.ru/drll> (дата обращения: 01.03.2024).
10. Рекомендация МСЭ-R P.526-15. Распространение волн за счет дифракции. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-15-201910-!!!PDF-R.pdf (дата обращения: 02.03.2024).

Информация об авторах

Скварник Игорь Святославович – канд. техн. наук, доцент Департамента электроники, телекоммуникации и приборостроения Политехнического института Дальневосточного федерального университета, п. Аякс, 10, о. Русский, Владивосток, Приморский край, 690922, Россия.
E-mail: skvarnik.is@dvfu.ru

Галайда Екатерина Игоревна – магистрант Департамента электроники, телекоммуникации и приборостроения Политехнического института Дальневосточного федерального университета, п. Аякс, 10, о. Русский, Владивосток, Приморский край, 690922, Россия.
E-mail: galaida.ei@dvfu.ru

References

1. Korniienko A., Vagner J., Korba P. Remote tower: Assessment of implementation options in Slovak Civil Airports // 2022 New Trends in Civil Aviation (NTCA). Prague, Czech Republic: IEEE, 2022. P. 185–190. doi: 10.23919/NTCA55899.2022.9934698.
2. Kearney P., Li W. C. Multiple remote tower for Single European Sky: The evolution from initial operational concept to regulatory approved implementation // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2018. T. 116. P. 15–30. doi: 10.1016/j.tra.2018.06.005.
3. Saab Digital Air Traffic Solutions. URL: <https://www.saab.com/sites/saab-digitalair-traffic-solutions> (data obrashhenija: 02.03.2024).
4. Filial «Ajeronavigacija Severo-Vostochnoj Sibiri». g. Jakutsk. URL: <https://gkovd.ru/branches/north-eastern-siberia-air-navigation/> (data obrashhenija: 25.02.2024). (In Russ.).
5. Portnov Je. L. Principy postroenija pervichnyh setej i opticheskie kabel'nye linii. M.: Gorjachaja linija – Telekom, 2009. 544 s. (In Russ.).
6. Ignat N. I. Analiz sovremennyh razrabotok v oblasti volokonno-opticheskikh sistem svjazi // Vestn. nauki. 2024. T. 1, № 3(72). S. 487–492. (In Russ.).
7. Bakytov A. B., Ratahin Ja. A., Tashenova Zh. K. Tehnologija širokopolosnogo besprovodnogo dostupa // Sb. mat. III Mezhdunar. nauch. konf. «Aktual'nye voprosy tehnicheskikh nauk». Perm': izd-vo «Zebra», 2015. S. 41–43. (In Russ.).
8. Inoue S., Brown M., Kakubari Y. Integration of (Surveillance) multilateration sensor data into a remote tower system // Virtual and Remote Control Tower: Research, Design, Development, Validation, and Implementation. Cham: Springer International Publishing, 2022. P. 167–196. doi: 10.1007/978-3-030-93650-1_8.
9. DRRL 8.0 Proektirovanie radiorelejnyh linij i setej radiodostupa. URL: <https://www.ctt-group.ru/drll> (data obrashhenija: 01.03.2024). (In Russ.).
10. Rekomendacija MSJe-R P.526-15. Rasprostranenie voln za schet difrakcii. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-15-201910-!!!PDF-R.pdf (data obrashhenija: 02.03.2024). (In Russ.).

Information about the authors

Igor S. Skvarnik – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Electronics, Telecommunications and Instrumentation of the Polytechnic Institute of the Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, Primorsky Krai, 690922, Russia.
E-mail: skvarnik.is@dvfu.ru

Ekaterina I. Galaida – master's student of the Department of Electronics, Telecommunications and Instrumentation of the Polytechnic Institute of the Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, Primorsky Krai, 690922, Russia.
E-mail: galaida.ei@dvfu.ru

Статья поступила в редакцию 03.04.2024; принята к публикации после рецензирования 13.05.2024; опубликована онлайн 30.09.2024.

Submitted 03.04.2024; accepted 13.05.2024; published online 30.09.2024.
