

DOI <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.4.11>  
УДК 338.36

## О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

В. М. Антонова<sup>1,2</sup>, Д. С. Клыгин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,  
105005, Москва, 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1

<sup>2</sup> Институт радиотехники и электроники (ИРЭ) им. В.А. Котельникова РАН,  
125009, Москва, ул. Моховая, 11-7

Статья поступила в редакцию 29 января 2021 г., после доработки – 20 апреля 2021 г.

**Аннотация.** Статья посвящена вопросам построения сетей пятого поколения мобильной связи для гражданской авиации. В статье подробно рассмотрены проблемы построения данной сети, исходя из существующих стандартов и используемых радиочастот. Основной вывод состоит в том, что для реализации работы сетей при взлете/посадке требуется построение неоднородной (гетерогенной) сети, включая различные типы сетей доступа, работающих в различных диапазонах частот.

**Ключевые слова:** авиация, гетерогенные сети, 5G, хендовер.

**Abstract.** The article is devoted to the construction of 5G communication networks for aviation during landing/take-off. We describe the problem of building this network based on existing standards and the radio frequencies used. The main decision is that the implementation of this task requires the construction of a heterogeneous network, including various types of access networks operating in different frequency ranges, as well as implementing different requirements for the coverage of the mobile network.

**Key words:** aviation, heterogeneous, 5G, Handover.

### Введение

Авиация – одна из ведущих мировых отраслей. Ежегодно перевозится более 4,3 миллиардов пассажиров. Среди других транспортных средств авиация является наиболее безопасной, быстрой и устойчивой. Ежегодно через страны

перевозится около 1,4 миллиарда туристов. Международная организация гражданской авиации (ИКАО) предложила информационные услуги для пассажиров, включая развлекательные, которые должны предоставляться на высокой скорости и с надежным подключением к Интернету. Однако, применение современных сетей авиационной связи, в которых используются спутники, сталкиваются с эксплуатационными трудностями, основной из которых является довольно узкая полоса пропускания, ограничивающая высокоскоростное подключение к Интернету. С другой стороны, наземное высокоскоростное широкополосное подключение к Интернету в настоящее время доступно через беспроводные сотовые сети пятого поколения (5G), [1], скорость передачи данных которых составляет несколько Гбит/с за счет использования массивных технологий с множеством входов и выходов (MIMO). Однако, они требуют специального исследования для применения в авиационных системах.

Необходимо рассмотреть возможности использовать сети пятого поколения (5G) для самолетов гражданской авиации с целью улучшения глобальной связи, управления и безопасности полетов. Поскольку сети 5G используют также полосы частот миллиметрового диапазона, характеристики их распространения, включая поглощение газов, дождя, и тумана/облаков должны быть учтены для исследования практической осуществимости системы на частотах 5G в диапазоне от 3,5 до 66 ГГц с помощью модели полета, включающей два отдельных этапа: взлет и посадка.

### **1. Проблема использования сетей 5G в гражданской авиации**

Согласно недавним публикациям FCC и RTCA [2-10] существует глобальная проблема предоставления услуг сетей 5G для гражданской авиации, что ставит под сомнение такие проекты, как 5G Gogo (предоставление услуг сетей 5-го поколения на протяжении всего полета на территории США и Канады), Cisco (построение полноценной национальной сети 5-го поколения для авиации) и других. Суть проблемы заключается в том, что часть критически важной инфраструктуры, как например MLS, AGL и другие, обеспечивающие

безопасность полета, приземления/посадки, используют также С-диапазон.

## **2. Использование сетей 5G для координации посадки/взлета самолета**

Во время обычной процедуры захода на посадку по GPS требуют, чтобы пилоты взяли на себя управление на высоте не менее 60 метров и посадили самолет вручную, поэтому на данный момент в большинстве самолетов используется курсо-глиссадная система. Существуют два основных типа данных систем: ILS (*instrument landing system*) метрового диапазона и сантиметрового диапазона (MLS (*microwave landing system* — микроволновая система посадки)). Система MLS работает в полосе частот 5031,0 - 5090,7 МГц.

Радарный высотомер – важная функция безопасности, которая слушает отражение сигнала от земли для определения высоты. Работает это устройство в диапазоне 4,2–4,4 ГГц.

Основная проблема связана с потенциальными помехами от основных или побочных излучений. Основные излучения связаны с потенциальной перегрузкой приемника из-за отсутствия адекватного внеполосного подавления сигналов 5G. Побочные излучения — это потенциальные частоты, излучаемые передатчиками 5G, которые будут находиться в диапазоне 4,2–4,4 ГГц.

Лучший способ для устранения возникшей проблемы – полный переход на сети 5-го поколения. Однако это порождает ряд требований, которые будут рассмотрены далее.

## **3. Обеспечение мобильного соединения сетью 5G в самолете на момент посадки/ взлета**

Исходя из описанной проблематики применения сетей 5-го поколения, надо отметить следующие преимущества построение выделенной инфраструктуры 5G для авиации на момент взлета/посадки:

1. Принятие единых стандартов построения сети с учетом описанных требований позволит построить единую сеть для обеспечения работы не только на момент взлета/посадки, но и для покрытия 5G всего аэропорта.

2. Конечные пользователи могут использовать данный тип связи для получения актуальной информации о пункте назначения (заказать такси,

уточнить изменения погоды) или успеть скачать из сети интернет необходимые данные (в виде фильма или иного контента) до набора высоты, где вскоре будут доступны сети 5G от Gogo или иных компаний.

3. Решение вопроса построения обеспечения безопасности и перехода многих критических систем на сети 5G.

#### 4. Организация работы сети 5G во время посадки или взлета самолета

Существует ряд проблем по организации работы сети 5G поколения во время посадки/взлета самолета. Для этого рассмотрим, в каких условиях находится система во время взлета или посадки самолета и подберем для этого наилучшие параметры, рис.1.

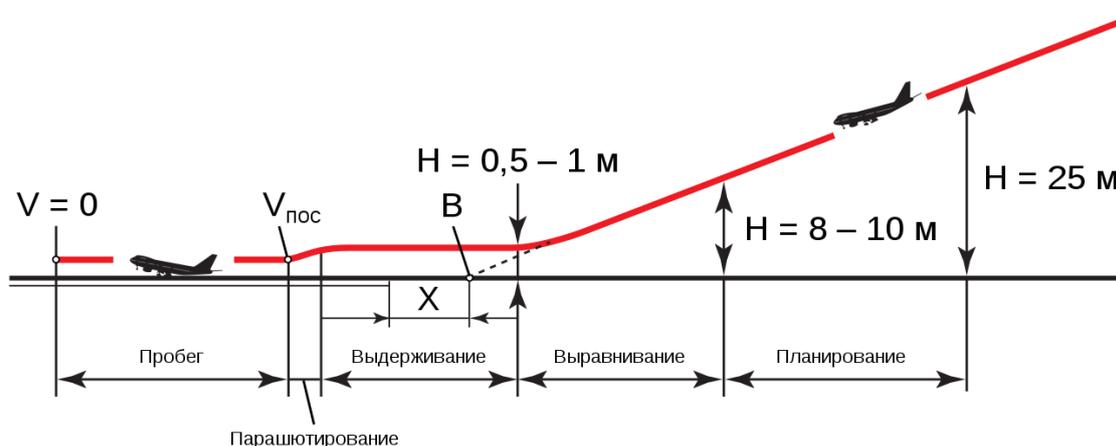


Рис.1. Схема посадки самолета [10].

Посадка самолета происходит на высоте 25 м от посадочной полосы. При этом в зависимости от погодных условий, типа самолета и других факторов скорость самолета во время посадки составляет 250-270 км/ч, а скорость взлета составляет порядка 200-270 км/ч, табл.1.

Таблица1. Типы взлётно-посадочных полос

Тип взлетно-посадочной полосы	Длина
Посадочная: крупные и тяжелые	2500-4000 м
Взлетная: небольшой и средний массы	1000-2500 м
Посадочная: небольшой и средней массы	1000-2500м
Взлетная: крупные и тяжелые	2500-4000м

Исходя из полученных данных, следует вывод, что идеально рассмотреть вариант построения сети для взлетно-посадочной полосы длиной 4 000 м при скорости 270 км/ч.

### 5. Подбор частоты для работы сетей 5G во время посадки/взлета самолета

Основополагающим фактором подбора частоты для поставленной задачи является полноценный учет используемых частот большинства самолетов, табл.2.

Таблица.2. Распределение (типичное) сигналов аэронавигации по частотному спектру

	100 кГц	1 МГц	10 МГц	100 МГц	1 ГГц	5 ГГц	10 ГГц	Диапазон частот (Гц)
ВЧ-связь			■					3-30 МГц
ОВЧ-связь					■			118-156 МГц
УВЧ-связь					■			225-400 МГц
МВ				■				75 МГц
ILS-GS					■			329-335 МГц
ILS-LLZ					■			108-112 МГц
VOR					■			108-118 МГц
DME						■		1025-1150 МГц; 962-1213 МГц
GPS(L1/L2)						■		1575.42 МГц (L1) 1227.6 (L2)

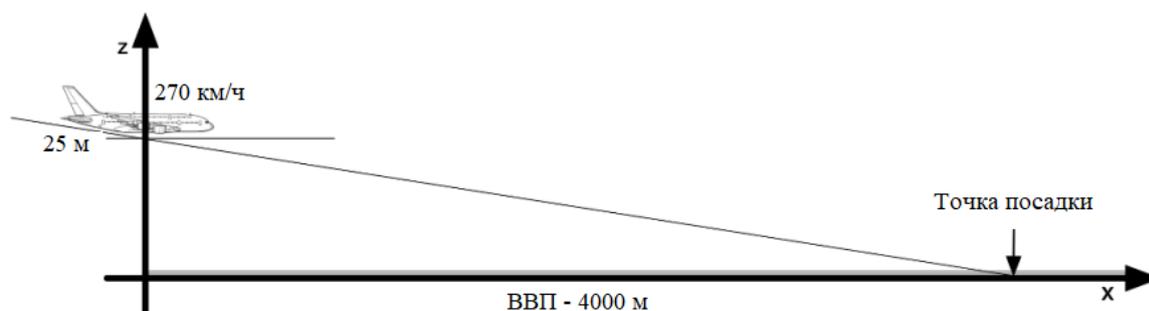


Рис.2. Схема решаемой задачи.

Спецификация 3GPP TS 38.211 V1.2.0 (2017-11) определила новые полосы радиочастот для 5G и разделила их на два блока: FR1 (частоты до 6 ГГц или sub6G) и FR2 (частоты выше 6 ГГц или mmWave). Работа на более высокочастотных диапазонах позволяет устранить различные помехи в сети, которые искажают передачу данных. Кроме того, выше частота – выше ширина полосы, а от нее напрямую зависит пропускная способность канала

Таблица.3. Частотные диапазоны 5G

Блок радиочастот	Радиочастотный диапазон
FR1	450-6000 МГц
FR2	24250-52600 МГц

Спецификация также определяет всего три сценария применения 5G:

- eMBB (enhanced Mobile Broadband — сверхширокополосная мобильная связь);
- URLLC (Ultra-Reliable Low Latency Communication — сверхнадежная связь с низкими задержками);
- mMTC (massive Machine-Type Communications — массовая межмашинная связь).



Рис.3. Сценарии оказания услуг 5G [1].

Из сценариев развертывания сетей 5G и применяемых частотных полос следует логика распределения частотных полос под разные сценарии, как показано в таблице 4.

Таблица 4. Сценарии применения в различных диапазонах 5G

Частоты	Ширина полосы	Сценарии	Характеристика
Выше 7 ГГц (FR2)	800 МГц	eMBB	Сверхвысокая скорость, маленькое покрытие, только на улицах
2–7 ГГц (FR1)	100 МГц	eMBB, URLLC, mMTC	Высокая скорость, широкое покрытие на улицах, удовлетворительное покрытие в помещениях
< 2 ГГц (FR1)	20 МГц	eMBB, URLLC, mMTC	Средняя скорость, покрытие на улицах и в помещениях

С учетом всех факторов можно сделать вывод, что наилучшим вариантом было бы использование 5G в диапазоне 3,5 - 4,5 ГГц на протяжении всей взлетно-посадочной полосы, с последующим переходом на средние частоты вблизи здания аэропорта. Так согласно испытаниям NTT DoCoMo и Huawei: неподвижный терминал принимал сигнал на дистанции от 0,8 до 1 км, доставка пакетов с надёжностью 99,999% и задержкой (over-the-air latency) менее 1 мс, рис.4.

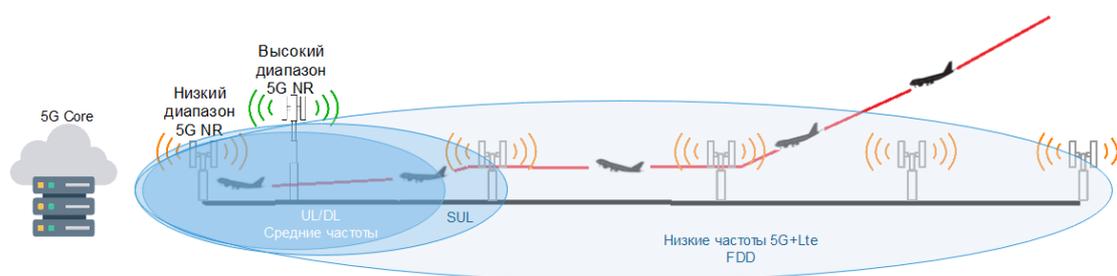


Рис.4. Схема 5G для авиации с учетом частотных характеристик.

## 6. Решение проблемы handover сетей 5G во время посадки/взлета самолета

Предложенная ранее схема не учитывает того фактора, что самолет передвигается со скоростью 270 км/ч во время посадки и при этом должно произойти переключение между всеми четырьмя вышками. Даже в испытаниях NTT DoCoMo и Huawei автомобиль передвигался со скоростью 20 км/ч. В связи с этим необходимо отдельно решить вопрос Handover при посадке/взлете самолета.

В 2017 году компаниям KDDI и Samsung Electronics удалось достичь скорости передачи в 1.7 Гбит/с, передвигаясь на поезде со скоростью 100 км/ч. В этом же году им удалось достичь уверенного соединения в 0.8 Гбит/с вовремя handover на скорости 200км/ч, рис.5.

### 7. Построение Multi-RAT сетей

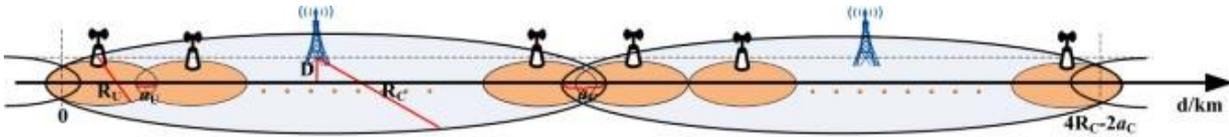


Рис.5. Простейшая схема Multi-Rat сети [5].

Данная технология основывается на гибридной схеме передачи 5G с несколькими технологиями радиодоступа (multi-RAT). Она одновременно использует вертикальные и горизонтальные передачи обслуживания в гетерогенной сети с несколькими RAT. При этом интегрируется двухканальная схема с использованием двух антенн, установленных на передней и задней сторонах приемника. Эта технология представляется наиболее простой для организации соединения с пропускной способностью несколько Гбит/с для сотен пользовательских устройств UE на борту самолета.

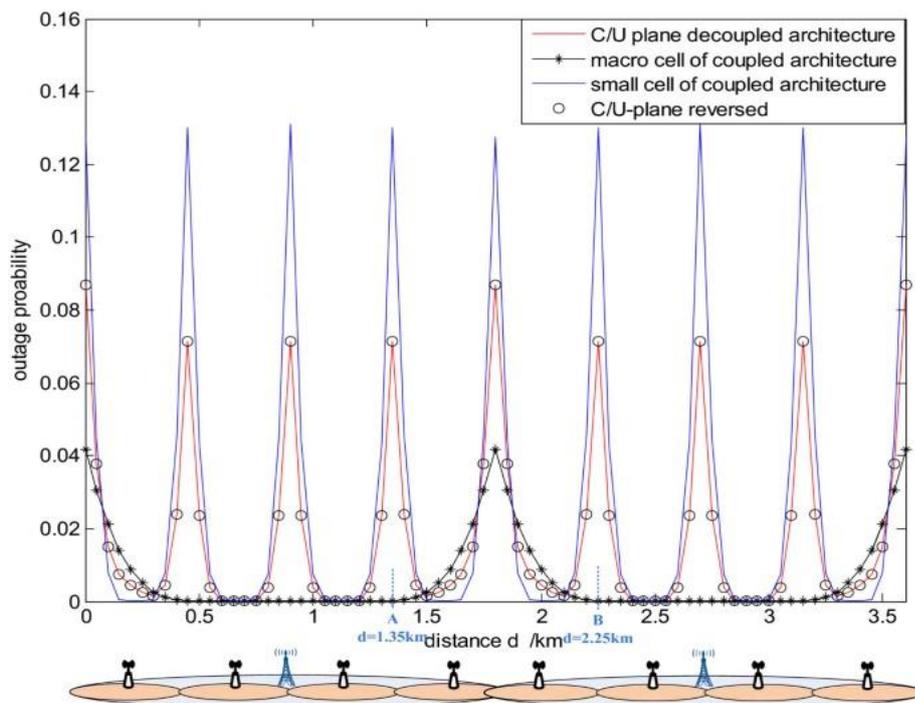


Рис.6. Результат тестирования Multi-Rat.

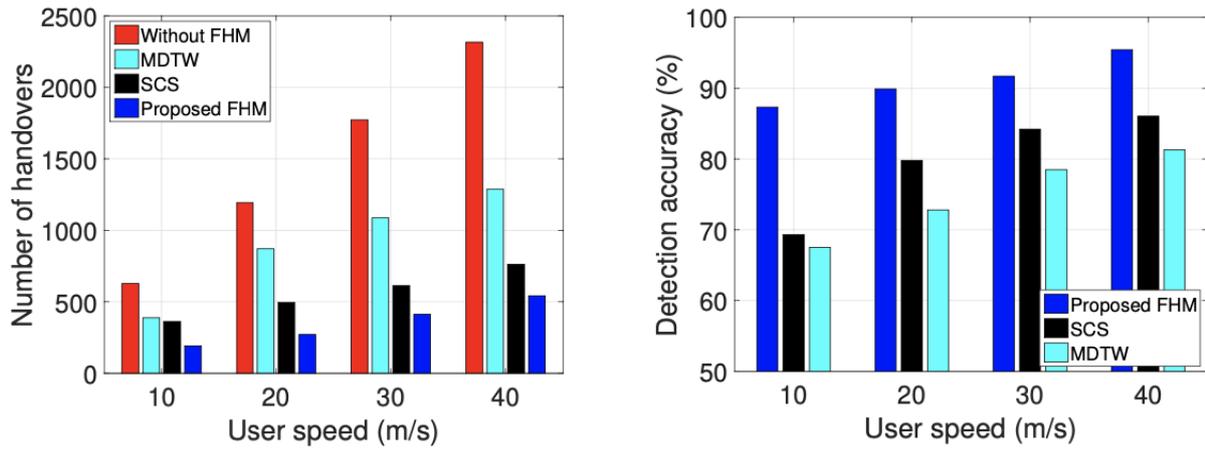


Рис.7. Количественные характеристики Handover [5].

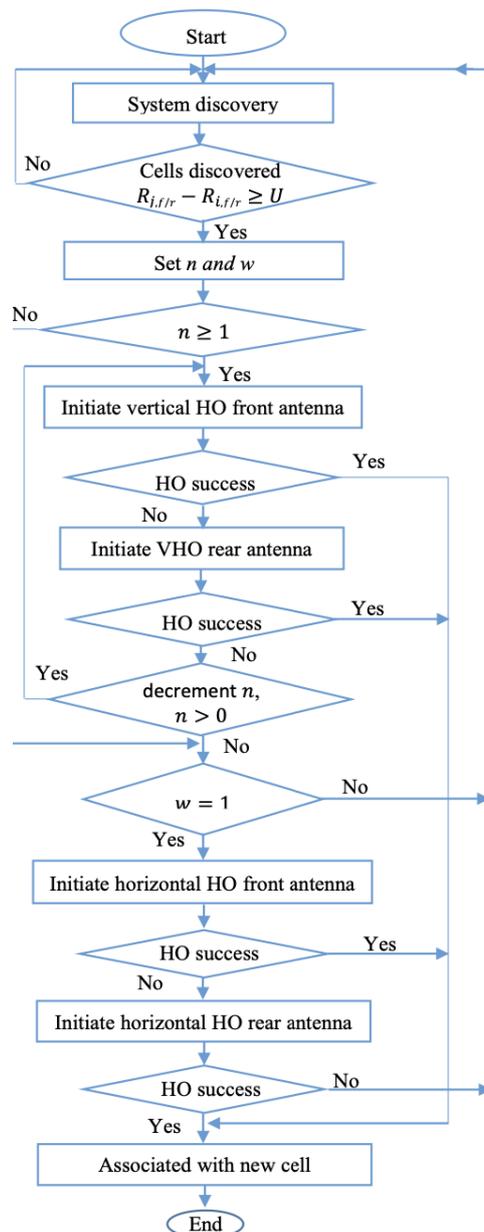


Рис.8. Алгоритм Handover в Multi-Rat 5G [5].

Однако использование данного метода значительно увеличивает стоимость построения сети для авиации.

## Вывод

На основании проанализированных источников предложен вариант построения сети 5G для обеспечения высокоскоростного соединения на борту на этапе посадки или взлета самолета.

Предложенная схема, рис. 9, может применяться не только в авиации, но и в других областях: движение скоростных поездов, автомобилей по автомагистрали и других.

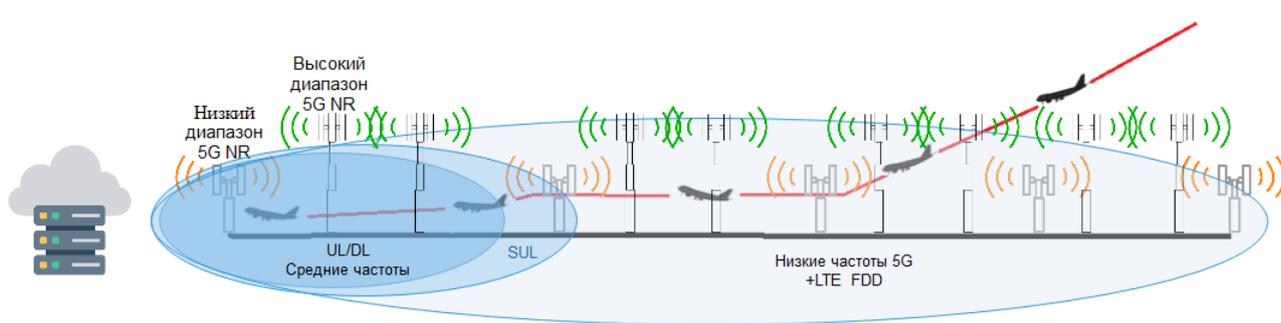


Рис.9. Схема для построения 5G сети в авиации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 19-07-00525 А.

## Литература

1. Батуев. Б.Б. *Технологии 5G: поэтапное внедрение и элементарная база для абонентского оборудования*. Москва, Simcom Limited. 2019.
2. Батуев Б.Б. SIM7000E/SIM7000E-N: применение энергосберегающих режимов PSM и eDRX в сети NB-IoT. *Беспроводные технологии*. 2017. №3(48). С.17-21.
3. Mehedi M., Sungoh H., Sangchul K. *Frequent-Handover Mitigation in Ultra-Dense Heterogeneous Networks*. 2018.
4. Li Yan, Xuming Fang. Reliability evaluation of 5G C/U-plane decoupled architecture for high-speed railway. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. 2014.

5. Banna R.E. , Elattar H.M., Aboul-Dahab M. *Handover Scheme for 5G Communications on High Speed Trains* . Electronics and Communications Eng. Dept. Arab Academy for Science, Technology and Maritime Transport. Cairo, Egypt. 2020.
6. RTCA, Inc. *Assessment of C-Band Mobile Telecommunications Interference Impact on Low Range Radar Altimeter Operations*. 2020.
7. *Federal communications commission comments of the boeing company*. 2020.
8. Система автоматической посадки самолетов. «Глаза» для автопилота. *Наука и техника* [электронный журнал]. Оpubл. 08.07.2019.  
<https://www.aviaport.ru/digest/2019/07/08/595519.html>.
9. Airport Systems. 5G in Aviation Market [электронный ресурс]. 2019.  
<https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/5g-in-aviation-market-101778>. Дата обращения 28.01.2021.
10. Посадка (авиация) [электронный ресурс].  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/Посадка\\_\(авиация\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Посадка_(авиация)). Дата обращения 28.01.2021.

**Для цитирования:**

Антонова В.М., Клыгин Д.С. О некоторых особенностях построения сетей пятого поколения для гражданской авиации. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2021. №4.  
<https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.4.11>