

УДК 72.01+621.396  
DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-1-44-51

## ТЕНДЕНЦИИ В ЭВОЛЮЦИИ АНТЕННОГО ХОЗЯЙСТВА ГОРОДОВ

### TRENDS IN THE EVOLUTION OF AERIAL SERVICES IN CITIES



**В. Ю. Рогов**, Иркутский национальный исследовательский университет, г. Иркутск  
rogovvu@mail.ru

**V. Rogov**, Irkutsk national research University, Irkutsk

**Д**ано определение антенного хозяйства как элемента городской среды. В составе городской среды выделена электромагнитная среда, подлежащая охране и рациональному использованию. Выделены технологические факторы развития антенного хозяйства: technological освоение все более высокочастотных диапазонов на основе создания и применения новых материалов; развитие компьютерных и информационных технологий обработки сигнала и его распределение в сетях связи; конкуренция и дополнение в системах связи со стороны проводных средств.

Показано, что в качестве признаков периодизации развития антенного хозяйства городов приняты: классификация радиочастот в соответствии с рекомендациями Международного союза электросвязи; применяемые способы формирования и обработки сигнала; наличие в составе устройств связи специализированных процессоров, обрабатывающих сигнал. Показано, что эволюция антенного хозяйства как элемента городской среды происходит под воздействием двух содержательных факторов: роста объема информации и роста скорости ее передачи.

Основным методом разрешения такого технического противоречия является увеличение частоты и расширение полосы пропускания радиоканалов. При этом геометрические параметры антенн сокращаются вплоть до элемента микросхемы, а увеличение дальности связи обеспечивается за счет развития ретрансляционных комплексов, включая волоконно-оптические линии связи, спутниковую и квази-спутниковую связь, реализуемую с помощью беспилотных летательных аппаратов, размещенных в стратосфере. Эволюция электромагнитной среды городов происходит в направлении роста излучений в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах

**Ключевые слова:** эволюция; антенное хозяйство городов; городская среда; электромагнитная среда города; цифровая обработка сигнала; космическая связь; стратосфера; беспилотные системы связи; поколения сотовой связи; сверхвысокие частоты; миллиметровые волны; системы обработки данных

**T**he definition of antenna management as an element of the urban environment is given. As part of the urban environment, an electromagnetic environment has been identified that is subject to protection and rational use. The technological factors for the development of antenna economy are highlighted: technological development of increasingly high-frequency ranges based on the creation and use of new materials; development of computer and information technologies for signal processing and its distribution in communication networks; competition and addition in communication systems from wire means.

The following are accepted as signs of periodization of the development of the antenna economy of cities: classification of radio frequencies in accordance with the recommendations of the International Telecommunication Union; applied methods of signal generation and processing; the presence in the composition of communication devices of specialized processors that process the signal. It is shown that the evolution of antenna economy as an element of the urban environment occurs under the influence of two substantial factors: an increase in the amount of information and an increase in the speed of its transmission.

The main method for resolving such a technical contradiction is to increase the frequency and expand the bandwidth of the radio channels. At the same time, the geometric parameters of the antennas are reduced down

to the microcircuit element, and the increase in the communication range is ensured by the development of relay systems, including fiber-optic communication lines, satellite and quasi-satellite communications, implemented using unmanned aerial vehicles located in the stratosphere. The evolution of the electromagnetic environment of cities occurs in the direction of radiation growth in the millimeter and submillimeter ranges

**Key words:** evolution; antenna economy of cities; city environment; electromagnetic environment of a city; digital signal processing; space communication; stratosphere; unmanned communications systems; generations of cellular communications; ultra high frequencies; millimeter waves; data processing systems

**В**едение. Рассматриваемые устройства – антенны – в своем развитии отражают техническую эволюцию различного рода средств связи и массовых коммуникаций как общественного института.

Под антенным хозяйством города понимается совокупность особых функциональных частей приемных и передающих радиотехнических устройств, которые размещаются в городской среде на особых сооружениях, на/в движимых и недвижимых объектах и обеспечивают прием и передачу (распространение) информации, транслируемой и потребляемой жителями и организациями. Форма и размер антенн зависят прежде всего от диапазона частот (длины волны).

Коллективным субъектом хозяйствования в данном случае выступают собственники объектов недвижимого и движимого имущества, в которых размещаются стационарные и перемещаемые средства радиосвязи. Различного рода средства связи, используемые жителями и организациями городов, являются таким же элементом коммунальной инфраструктуры, как дорожное хозяйство, общественный транспорт, системы водоснабжения и канализации, теплоснабжения, электрические сети и др. Такие технические системы создаются для коллективного (общинного) использования.

Атрибутом современной городской среды в расширенном смысле слова являются не только приемники и передатчики электромагнитных излучений, но и сами электромагнитные излучения различного происхождения. Следовательно, составной частью современной городской среды является множество электромагнитных полей, формирующих общее электромагнитное поле города, создаваемое различными генераторами, при этом, только часть из них относится к устройствам электросвязи, включая беспроводную.

Известно, что в электромагнитном спектре различаются видимая (оптическая) и не-

видимая (радиочастотная) составляющие. Световая часть излучений формируется разнообразными источниками света естественного (солнце, природные пожары, свет вулканов и др.) и искусственного происхождения. Помимо множества освещаемых объектов, источники света в своей совокупности образуют световую среду города как часть городской среды.

Таким образом, выделяется особый компонент городской среды, называемый электромагнитной средой. ГОСТ Р 41.1-99 (Единые предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении электромагнитной совместимости) в п. 2.4 определяет электромагнитную среду как совокупность электромагнитных явлений, присутствующих в данном месте. Как элемент городской среды электромагнитная среда представляет собой совокупность электромагнитных явлений, происходящих в видимом (оптическом) и невидимом (радиочастотном) спектрах, обусловленных действием природных, техногенных, информационных и социальных условий, сложившихся на территории города.

**Методология и методика исследования.** В содержательном аспекте основным фактором развития средств связи и их атрибутов – антенн, является рост объемов передаваемой и принимаемой информации.

Анализируя процессы эволюции антенного хозяйства городов, следует выделить определенные технологические факторы развития этого процесса:

- 1) технологическое освоение все более высокочастотных диапазонов на основе создания и применения новых материалов (полупроводников с различной структурой, кварцевых, сапфировых и иных твердотельных резонаторов, ферритов, различных пленочных, керамических материалов и др.);

- 2) развитие компьютерных и информационных технологий, позволяющих перейти

от аналоговых к цифровым методам обработки (кодирования), передачи и декодирования сигнала;

3) конкуренция и дополнение в системах связи со стороны проводных средств (включая волоконно-оптические линии связи), создаваемых также на основе новых материалов и информационных технологий.

В качестве признаков периодизации развития антенного хозяйства городов в данной работе приняты:

- классификация радиочастот, используемая в соответствии с рекомендациями Международного союза электросвязи;

- применяемые способы формирования и обработки (детектирования, декодирования) сигнала: аналоговые и цифровые;

- наличие в составе устройств связи специализированных процессоров, обрабатывающих сигнал.

*Результаты исследования и область их применения.* Вопросы размещения радиотехнических устройств в городской среде рассматриваются научно-практическим направлением «Частотно-территориальное планирование». Однако вопросы архитектурно-планировочных решений по размещению антенн в городской среде до настоящего времени освещены недостаточно. Наблюдается явный диссонанс между техносферным и архитектурным градостроительными компонентами в облике современных поселений. В частности, многочисленные и разнообразные антенные комплексы сотовой связи размещаются на крышах домов, которые проектировались как архитектурные решения без этих радиотехнических сооружений.

Проблема указанного диссонанса в перспективе усугубляется неизбежным ростом количества антенн сантиметрового и миллиметрового диапазонов, поскольку радиоволны на этих частотах поглощаются атмосферными компонентами (газами, осадками) и распространяются на расстояние лишь сотен метров.

Особое значение в радиотехнике, электронике и связанных с ними отраслях в последние годы имеет так называемый миллиметровый (сверхвысокочастотный (СВЧ) диапазон с длинами волн от 30 см до 1 мм. Дальнейшее экстенсивное развитие антенного хозяйства городов в миллиметровом диапазоне чревато «обрастанием» такими антеннами крыш и фасадов зданий, осве-

тительных опор и др. Требуется проследить эволюцию антенного хозяйства, выявить существенные факторы развития этого процесса, противоречия и пути их разрешения.

Рассмотрим основные этапы эволюции антенного хозяйства городов в наиболее типичных проявлениях для выявления базовых противоречий и нахождения направлений в их разрешении.

Первые два из рассмотренных далее четырех этапов выделяются аналоговой формой обработки сигнала, то есть отсутствием автоматического стандартизированного цифрового преобразования исходного сигнала для передачи и последующего цифрового декодирования его в приемном устройстве.

*Первый этап* развития антенного хозяйства городов отличается использованием низких (3...30 кГц (1...10 км), средних (30...300 кГц (100...1000 м), а с начала 1930-х гг. и высоких (коротких) частот (3...30 МГц (10...100 м). Передающие антенны для таких диапазонов весьма громоздкие и в большинстве случаев размещаются на так называемых радиополях, вне территории городов. Мощность вещательных радиопередатчиков значительна и измеряется десятками киловатт.

Особенностью распространения радиоволн низких частот является хорошая огибаемость вдоль земной поверхности, поэтому такой сигнал при большой мощности может устойчиво распространяться на большие расстояния, вне зависимости от времени суток (для длинных волн). Например, Третья (по счету) радиостанция имени Коминтерна, сооруженная в СССР в 1933 г., имела самую большую на тот период мощность – 500 кВт. Ее вещание покрывало территорию Европы (на 37 языках) и Европейской части СССР.

В довоенный период радиовещание велось на длинных и средних волнах. Индивидуальные антенны устанавливались на шестах на крышах домов либо во дворах. Антенны коротковолновых передатчиков имели меньшие размеры, а сами передатчики – относительно меньшую мощность. Однако устойчивой радиосвязь явллась только в ночной и вечерний период. Первыми коротковолновый диапазон «открыли» радиолюбители. В России первые любительские радиостанции появились после 1926 г. К середине 1970-х гг. число любительских коротковолновых радиостанций в СССР превысило 50 тыс. Радиолюбители, работавшие преимущественно в

коротковолновом, реже – в ультракоротковолновом диапазоне, размещали свои антенны также на крышах домов. В последние годы радиолюбители осваивают миллиметровый диапазон на выделенных частотах.

Промышленные предприятия, имеющие территориально рассредоточенную структуру (горная, лесная промышленность, водный транспорт, воздушные сообщения, геологоразведка и др.), с 1930-х гг. начали оснащаться собственными узлами связи, работающими на коротких волнах. По мере развития системы государственных узлов связи крупные предприятия становились их абонентами.

*Второй этап* связан с технологическим освоением метровой части (10...1 м, соответственно 30...300 МГц) ультракоротковолнового (УКВ) диапазона и дальнейшей радиофикацией страны на частотах длинных и средних волн. Активное использование УКВ-частот в народном хозяйстве СССР началось после окончания Второй мировой войны. На крышах жилых и общественных зданий появились антенны УКВ диапазона (главным образом штыревые) разнообразных городских служб, а также телевизионные антенны метрового, а затем и дециметрового диапазонов.

В первые послевоенные годы практически в каждом областном центре появились вещательные радиостанции, ведущие передачи на длинных или средних волнах. Эти радиостанции обеспечивали радиовещанием, а также выполняли функции оповещения населения в чрезвычайных ситуациях.

Наружные приемные антенны длинноволнового и средневолнового диапазонов перестали размещаться на крышах домов в городах с начала 1960-х гг. в связи с оснащением вещательных радиоприемников внутренними магнитными (ферритовыми) антennами. Однако в сельской местности, где сила сигнала слабее, чем в городе, наружные антенны оставались весьма распространены.

Развитие радиосвязи на ультракоротковолновом диапазоне в послевоенный период вызвало рост числа УКВ-радиостанций, используемых в самых разнообразных службах городов (общественная безопасность, скорая медицинская помощь, аварийные службы, пожарная служба, гражданская оборона и др.). На зданиях соответствующих служб и предприятий появились разнообразные антенны УКВ-диапазона, преимущественно штыревые.

Регулярное телевизионное вещание в СССР возобновилось в Москве (1945) и Ленинграде (1947). К 1961 г. в СССР запущено 100 мощных и около 170 маломощных телевизионных передатчиков, в крупных городах страны, что обеспечивало охват телевизионным вещанием примерно 35 % населения.

Радикальные изменения в распространении телевизионного вещания начались с использованием с 1967 г. систем космической связи на основе спутника связи «Молния-1» и последующими спутниками системами: «Молния-2», «Экран», «Горизонт», «Орбита-2», «Москва». Спутниковые ретрансляторы передавали сигнал от одного телевизионного центра, главным образом Останкинского (с 1967 г.), на другие, где принимались на спутниковые антенны и передавались в эфир на телевизионные приемники.

Первые вещательные УКВ-радиостанции появились в Москве (1946) и Ленинграде (1948).

По утверждению В. В. Миркина, во второй половине 1950-х гг. начался заметный рост числа УКВ-радиостанций в крупных городах одновременно со строительством телевизионных станций [7]. Однако первые радиовещательные УКВ-передатчики «Дождь-2» начали изготавливаться позднее – с 1961 г. на Красноярском радиотехническом заводе № 1 [5].

Вещательные УКВ-передатчики размещались в зданиях телецентров, а их антенны – на телевизионных вышках (башнях), ставших атрибутами крупных городов.

С открытием телевизионного вещания на дециметровом диапазоне (с 1968 г. в Москве) на крышах домов начали устанавливаться соответствующие приемные телевизионные антенны, чаще всего на общих мачтах с антеннами метрового диапазона, поскольку имели меньшие размеры.

В большинстве случаев на крышах жилых домов сооружались коллективные телевизионные приемные антенны, к которым через гнезда-отводы подключались абоненты-жители домов. Такие приемные антенны находились в ведении домоуправлений (жилищно-эксплуатационных контор и подобных учреждений).

*Третий этап* в развитии антенного хозяйства городов связан с применением цифровых технологий в обработке сигнала для устройств, работающих в цифровом фор-

мате дециметровых (1...0,1 м, с частотами 0,3...3 ГГц), сантиметровых (10...1 см, с частотами 3...30 ГГц).

Организационно-технологически этот этап характеризуется появлением систем сотовой связи, проводного и беспроводного интернета, волоконно-оптических линий связи, спутникового телевидения и соответствующих наружных и внутренних (стационарных и мобильных) антенных устройств в городском пространстве.

Основным фактором, определяющим размеры и формы антенн, здесь является рабочая частота. Использование цифровых технологий позволило на одной частоте организовать работу нескольких каналов связи.

Первый оператор сотовой связи в России появился в сентябре 1991 г. на базе технологии NMT-450 – ЗАО «Дельта Телеком». Первым 2G-оператором в стране, работающим по стандарту GSM, стала компания Билайн (комерческий запуск сети произошел 07.07.1994 г.). Передача интернет-данных в мобильной сети в России стала осуществляться с 1999 г. Условно с 2000 г. использование сотовой связи в России становится массовым, с появление в городах базовых станций, включающих антенные комплексы (базовые станции сотовой связи).

Цифровое спутниковое телевидение в России впервые организовано в 1999 г. компанией НТВ-Плюс. Крупнейшим российским оператором спутникового телевидения является компания «Триколор ТВ».

С начала 2019 г. в России осуществляется переход с аналогового на цифровой формат эфирного вещания (DVB-T2) в дециметровом диапазоне. В этой связи актуальным является вопрос о приведении в надлежащий порядок антенного хозяйства городов в части демонтажа антенн метрового диапазона.

В отношении мобильной связи, на наш взгляд, происходит та же эволюция с контентом сигналов, что и кабельной связи. Если первоначально оптоволоконные кабели, например, межконтинентальные, использовались как телефонные линии, то уже в 2017 г. цифровой контент и облачные вычисления заняли 77 % трафика данных, передаваемых через Атлантический океан, и 60 % – через Тихий океан [9].

За короткий период (десятилетие) осуществлен переход от второй (2G) к третьей (3G) генерации систем сотовой связи, т. е.

использование высокочастотных диапазонов последующих ступеней. В настоящее время осваивается четвертое поколение (4G), использующее диапазоны 800, 900, 1800, 2100 и 2600 МГц (стандарт 3G использует частоты 900 и 2100 МГц). В 2018 г. охват стандартом 4G LTE составил 50 % населения России, что соответствует достигнутому уровню развитых стран.

С 2014 г. в России, в отличие от многих стран, практически повсеместно прекращено радиовещание на длинных и средних волнах. Однако в стране имеются производственные и технические возможности возобновления вещания в новых (цифровых) форматах [12].

Четвертый этап, на наш взгляд, связан с дальнейшим развитием цифровых технологий и включением микропроцессоров с операционными системами в состав устройств связи. Происходит дальнейшее освоение сантиметрового диапазона (10...1 см, с частотами 3...30 ГГц) и переход к миллиметровому (крайне-высокочастотному) участку (10...1 мм, с частотами 30...300 ГГц).

В содержательном аспекте речь идет о начале создания сетей связи пятого (5G) поколения, для которого характерно применение различного рода смарт-устройств и центров обработки данных в процессах обработки, организации и управления информационных потоков. Базовыми в этих информационно-логистических системах, по нашему мнению, становятся уже не столько приемо-передающие устройства, сколько компьютерные сети, соединяющие по оптимизированным траfficами своих абонентов: субъектов (людей) и смарт-объектов.

Развитие систем связи в миллиметровом диапазоне приводит, с одной стороны, к увеличению объемов передачи по беспроводным каналам внутри больших зданий, оснащаемых узлами связи типа пико- и микросотов, Wi-Fi и т. п., а с другой – переносом межузловой связи на объекты, размещаемые в стрatosфере и космосе. Так, программа «Сфера» Роскосмоса предусматривает вывод на орбиту в период 2022–2028 гг. 640 спутников, с одной из задач обеспечить 10 млн российских жителей высокоскоростным мобильным интернетом. Основные предварительные характеристики проекта: 10 млн абонентов, 10 тыс. точек доступа с предварительными затратами 5 млрд долл. (299 млрд р.) [11].

Исследованию возможностей создания информационно-коммуникационных платформ на основе беспилотных летательных аппаратов в последние годы посвящен ряд исследований [1; 2; 4; 6; 8; 13]. Такие многослойные, иерархические системы взаимодействуют между собой в горизонтальных и вертикальных направлениях, формируя высотные каналы связи с изменяемой пропускной способностью.

Развитие интернет-вещания, в том числе через системы сотовой связи и Wi-Fi, приводит к сокращению абонентов спутникового телевидения, поскольку, например, на смартфоне можно просматривать любой нужный контент, если доступен безлимитный интернет.

Возникает возможность переноса части операций дата-центров на стратосферные платформы связи. Особую активность в экспериментах по использованию стратосферных беспилотных летательных аппаратов в качестве носителей средств связи, включая сотовую, проявляют компании Google и Facebook [4]. Считается, что концепция программно-конфигурируемых беспроводных сетей, размещаемых на группировках стратосферных платформ, может стать реальной альтернативой наземным оптоволоконным сетям связи при создании систем управления критически важными территориально-распределенными процессами и позволит существенно повысить устойчивость систем управления [3].

Поскольку перспектива «обрастания» элементов городской среды антennами, связывающими малые соты и передающи-

ми данные на другие соты, не является бесспорной, в настоящее время обсуждается возможность технологического скачка с этапа 5G (десятки и первые сотни гигагерц) на еще более короткий диапазон 6G, близкий к терагерцевому. Преимуществами такого диапазона является малая скорость задержки и большая скорость передачи данных (Гб/с). В настоящее время ведутся работы по созданию антенных фазовых решеток на больших интегральных схемах в короткой части миллиметрового и в терагерцевом диапазонах. Внутрисотовая связь обеспечивается с использованием активных фазовых антенных решеток миллиметрового диапазона с цифровым диаграммоформированием, выполненных на одной кремниевой пластине [14].

**Заключение.** Эволюция антенного хозяйства городов происходит под воздействием следующих основных технических факторов: рост частоты и полосы пропускания радиочастотного тракта, использование цифровых технологий формирования и декодирования сигнала; управление трафиком сигнала посредством сетей вычислительных центров; рост количества ретрансляционных станций, также управляемых микропроцессорами; перенос значительной части мощности ретрансляционных станций на стратосферные и космические аппараты связи; управление направленностью фазированных антенных решеток на миллиметровом диапазоне с помощью микропроцессоров. Эволюция электромагнитной среды городов происходит в направлении роста высокочастотной и сверхвысокочастотной составляющих.

---

#### Список литературы

---

1. Агаджанов М. Искусственный интеллект помогает удерживать воздушные шары Google Project Loon неделями на одном месте. URL: <https://www.habr.com/ru/post/397921> (дата обращения: 12.11.2019). Текст: электронный.
2. Балдынов О. А., Рогов В. Ю. Оценка эффективности аэростатных энергоинформационных комплексов // Научная жизнь. 2018. № 1. С. 12–18.
3. Герасимов А. В., Герасимов В. Б., Кудж С. А., Соловьев И. В. Долговременные стратосферные платформы связи и наблюдения. Новый этап развития // Вестник МГТУ МИРЭА. 2014. № 2. С. 13–35.
4. Дубинина М. Г., Дубинин В. В. Направления развития космических и стратосферных БПЛА. URL: <https://www.russiandrone.ru/publications/napravleniya-razvitiya-kosmicheskikh-i-stratosfernykh-bpla> (дата обращения: 12.11.2019). Текст: электронный.
5. История мощных передатчиков, работавших в СССР. Про серийное производство радиопередатчиков «Дождь-2». URL: <http://www.forums.frocs.biz/index.php?showtopic=4882&mode=threaded&id=87288> (дата обращения: 11.11.2019). Текст: электронный.
6. Кравчук С. А. Исследование возможности совместного использования частот телекоммуникационными системами на основе высотных аэроплатформ и традиционными системами фиксированной

спутниковой и радиоастрономической службами. URL: <http://www.nauchebe.net/2013/01/issledovanie-vozmozhnosti-sovmestnogo-ispolzovaniya-chastot-telekommunikacionnymi-sistemami-na-osnove-vysotnyx-aeroplatform-i-tradicionnymi-sistemami-fiksirovannoj-fiksirovannoj-sputnikovoj-i-radioas> (дата обращения: 10.11.2019). Текст: электронный.

7. Миркин В. В. К истории советской радиосвязи и радиовещания в 1945–1965 гг. // Вестник Томского государственного университета. История. 2013. № 1. С. 200–207.

8. Полтавский А. В., Юрков Н. К., Нгуен Зуи Фыонг. Телекоммуникация сетевых систем на основе высотных платформ // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 1. С. 46–55.

9. Разбор стратегии Google: ставка на искусственный интеллект, облака, беспилотные автомобили и медицину. URL: <https://www.dev.by/news/google-ai-strategy> (дата обращения: 13.11.2019). Текст: электронный.

10. Российская глобальная спутниковая система связи «Эфир»/«Сфера». Досье. URL: <https://www.tass.ru/info/5273277> (дата обращения: 13.11.2019). Текст: электронный.

11. Сафонов И. «Сфера» получила «Эфир» и бюджет. Новую спутниковую систему предстоит запустить в 2022 году. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3689790> (дата обращения: 12.11.2019). Текст: электронный.

12. Цифровое радио. URL: <http://www.srzudm.ru/index.php/production/tsifrovoe-radio> (дата обращения: 13.11.2019). Текст: электронный.

13. Vishnevsky V. M., Tereshchenko B. N. Research and development of new generation of telecommunication tethered high altitude platforms // T-Comm. 2013. No. 7. P. 20–24.

14. Zahir S., Gurbus O. D., Kar-Roy A., Raman S., Rebeiz G. M. 60-GHz 64- and 256- Elements wafer-scale phased-array transmitters using full-reticle and subreticle stitching techniques // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2016. Vol. 64, No. 12. P. 4701–4719.

## References

---

1. Agadzhanyan M. *Iskusstvennyy intellekt pomogayet uderzhivat vozdushnyye shary Google Project Loon nedelyami na odnom meste* (Artificial intelligence helps keep Google Project Loon balloons for weeks in one place). URL: <https://www.habr.com/ru/post/397921> (Date of access: 12.11.2019). Text: electronic.
2. Baldynov O. A., Rogov V. Yu. *Nauchnaya zhizn* (Scientific Life), 2018, no. 1, pp. 12–18.
3. Gerasimov A. V., Gerasimov V. B., Kudzh S. A., Soloviev I. V. *Vestnik MG TU MIREA* (Bulletin of MSTU MIREA), 2014, no. 2, pp. 13–35.
4. Dubinina M. G., Dubinin V. V. *Napravleniya razvitiya kosmicheskikh i stratosfernykh BPLA* (Directions for the development of space and stratospheric UAVs). URL: <https://www.russiandrone.ru/publications/napravleniya-razvitiya-kosmicheskikh-i-stratosfernykh-bpla> (Date of access: 12.11.2019). Text: electronic..
5. *Istoriya moschnykh peredatchikov, rabotavshikh v SSSR. Pro seriynoye proizvodstvo radioperedatchikov "Dozhd'-2"* (The history of powerful transmitters working in the USSR. About serial production of “Dozhd-2” radio transmitters). URL: <http://www.forums.focus.biz/index.php?showtopic=4882&mode=threaded&pid=87288> (Date of access: 11.11.2019). Text: electronic.
6. Kravchuk S. A. *Issledovaniye vozmozhnosti sovmestnogo ispolzovaniya chastot telekommunikacionnymi sistemami na osnove vysotnyx aeroplatform i tradicionnymi sistemami fiksirovannoy sputnikovoy i radioastronomicheskoy sluzhbami* (Study of the possibility of sharing frequencies between telecommunication systems based on high-altitude aircraft platforms and traditional systems of fixed satellite and radio astronomy services). URL: <http://www.nauchebe.net/2013/01/issledovanie-vozmozhnosti-sovmestnogo-ispolzovaniya-chastot-telekommunikacionnymi-sistemami-na-osnove-vysotnyx-aeroplatform-i-tradicionnymi-sistemami-fiksirovannoy-fiksirovannoj-sputnikovoj-i-radioas> (Date of access: 10.11.2019). Text: electronic.
7. Mirkin V. V. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Istoriya* (Bulletin of the Tomsk State University. History), 2013, no. 1, pp. 200–207.
8. Poltavsky A. V., Yurkov N. K., Nguyen Zui Fyong. *Nadezhnost i kachestvo slozhnyh sistem* (Reliability and quality of complex systems), 2018, no. 1, pp. 46–55.
9. *Razbor strategii Google: stavka na iskusstvennyy intellekt, oblaka, bespilotnyye avtomobili i meditsinu* (Analysis of the Google strategy: bet on artificial intelligence, clouds, unmanned vehicles and medicine). URL: <https://www.dev.by/news/google-ai-strategy> (Date of access: 13.11.2019). Text: electronic.
10. *Rossiyskaya globalnaya sputnikovaya sistema svyazi "Efir"/"Sfera". Dosie* (The Russian global satellite communications system “Ether”/“Sphere”. Profile). URL: <https://www.tass.ru/info/5273277> (Date of access: 13.11.2019). Text: electronic.
11. Safronov I. “Sfera” poluchila “Efir” i byudzhet. Novyyu sputnikovye sistemu predstoit zapustit v 2022 godu (“Sphere” received “Ether” and the budget. The new satellite system will be launched in 2022). URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3689790> (Date of access: 12.11.2019). Text: electronic

12. *Tsifrovoe radio* (Digital radio). URL: <http://www.srzudm.ru/index.php/production/tsifrovoe-radio> (Date of access: 13.11.2019). Text: electronic.
13. Vishnevsky V. M., Tereschenko B. N. *T-Comm* (T-Comm), 2013, no. 7, pp. 20–24.
14. Zihir S., Gurbus O. D., Kar-Roy A., Raman S., Rebeiz G. M. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* (IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques), 2016, vol. 64, no. 12, pp. 4701–4719.

**Коротко об авторе****Briefly about the author**

Рогов Виктор Юрьевич, д-р экон. наук, профессор кафедры автоматизации и управления, Иркутский национальный исследовательский университет, г. Иркутск, Россия. Область научных интересов: рациональное ресурсопользование, геоэкономика  
rogovvu@mail.ru

Rogov Victor, doctor of economic sciences, professor, Automation and Control department, Irkutsk National Research University, Irkutsk, Russia. Sphere of scientific interests: rational resource use, geo-economics

**Образец цитирования**

Рогов В. Ю. Тенденции в эволюции антенного хозяйства городов // Вестник Забайкальского государственного университета. 2020. Т. 26, № 1. С. 44–51. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-1-44-51.

Rogov V. Trends in the evolution of aerial services in cities // Transbaikal State University Journal, 2020, vol. 26, no. 1, pp. 44–51. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-1-44-51.

Статья поступила в редакцию: 25.12.2019 г.

Статья принята к публикации: 14.01.2020 г.