

*Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 6, no. 2, pp. 177–186, 2023.

*Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2023. Т. 6, № 2. С. 177—186.

ISSN: 2587-9936

DOI: 10.29039/2587-9936.2023.06.2.14

УДК 551.508.855

## **Разработка и результаты испытаний радиолокатора параметров ветра диапазона 1680 МГц**

Букрин И. В., Плохих О. В., Иванов В. Э.

*Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина  
ул. Мира, 32, г. Екатеринбург, 620002, Российская Федерация  
i.v.bukrin@urfu.ru*

Получено: 19 мая 2023 г.

Отрецензировано: 31 мая 2023 г.

Принято к публикации: 31 мая 2023 г.

**Аннотация:** *В работе представлены результаты разработки и испытаний разработанного сотрудниками ИРИТ-РТФ УрФУ рабочего образца радиолокатора параметров ветра диапазона 1680 МГц для исследования атмосферы. Приведены некоторые характеристики радиолокатора, в т. ч. спектры отраженных сигналов от метеорологических неоднородностей.*

**Ключевые слова:** *радиолокатор параметров ветра, профайлер, турбулентность атмосферы, пограничный слой.*

**Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008):** Букрин И. В., Плохих О. В., Иванов В. Э. Разработка и результаты испытаний радиолокатора параметров ветра диапазона 1680 МГц // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2023. Т. 6, № 2. С. 177—186.

**Для цитирования (ГОСТ 7.0.100—2018):** Букрин, И. В. Разработка и результаты испытаний радиолокатора параметров ветра диапазона 1680 МГц / И. В. Букрин, О. В. Плохих, В. Э. Иванов // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2023. — Т. 6, № 2. — С. 177—186.

### **1. Введение**

Известно, что наземные методы измерения параметров атмосферы имеют ограничения по высоте, радиозондовые измерения требуют длительного времени для подъема радиозондов до высот порядка 10—30 км и достаточно сильно дискретны по времени (2 раза в сутки) [1, 2]. Однако для построения климатической модели Земли необходимы оперативные данные для оценки метеорологической обстановки. По этой причине в ми-

ре построены глобальные сети радиолокаторов параметров ветра (РПВ), или профайлеров, для получения оперативных данных по состоянию атмосферы. На рисунке 1 изображена карта расположения глобальных сетей профайлеров, созданных к 2005 году [3]. На 9 марта 2005 года по территории всего земного шара (за исключением территории России) было размещено 852 таких профайлеров. В конце 80-х годов работы по разработке РПВ начались одновременно в США и СССР. С развалом Советского Союза эти работы были остановлены и больше не возобновлялись до настоящего времени.

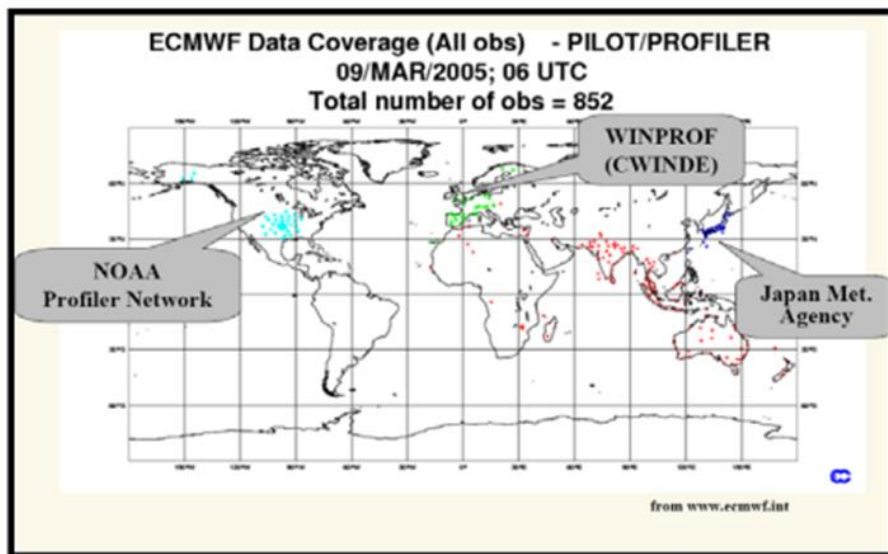


Рис. 1. Расположение глобальных сетей профайлеров в 2005 г.

Fig. 1. Location of global profiler networks in 2005

Большим достоинством РПВ является то, что они могут выдавать данные о ветре практически непрерывно, с разрешением в 10 мин. Обычно информация выдается с дискретностью 1 час. Другим достоинством радиолокационных средств зондирования является возможность практически автономной работы этих систем с автоматической передачей данных в центры сбора метеорологической информации [4—6].

За рубежом в основном используются РПВ двух диапазонов: 400—500 МГц для высот от 300 до 16000 м, и профайлеры пограничного слоя, работающие на частотах 900—1300 МГц. В работе [7] обсуждается возможность создания радиолокатора параметров ветра пограничного слоя, работающего на частоте 1680 МГц.

## 2. Состав и характеристики РПВ диапазона 1680 МГц

Одним из важнейших направлений исследований и разработок специалистов ИРИТ-РТФ УрФУ является создание опытных и промышленных образцов технических средств радиозондирования атмосферы. С 2018 года по контракту с Роскосмосом разрабатывался РПВ диапазона 500 МГц, в 2021 году разработался Аэрологический радиолокационный вычислительный комплекс (АРВК) «Вихрь».

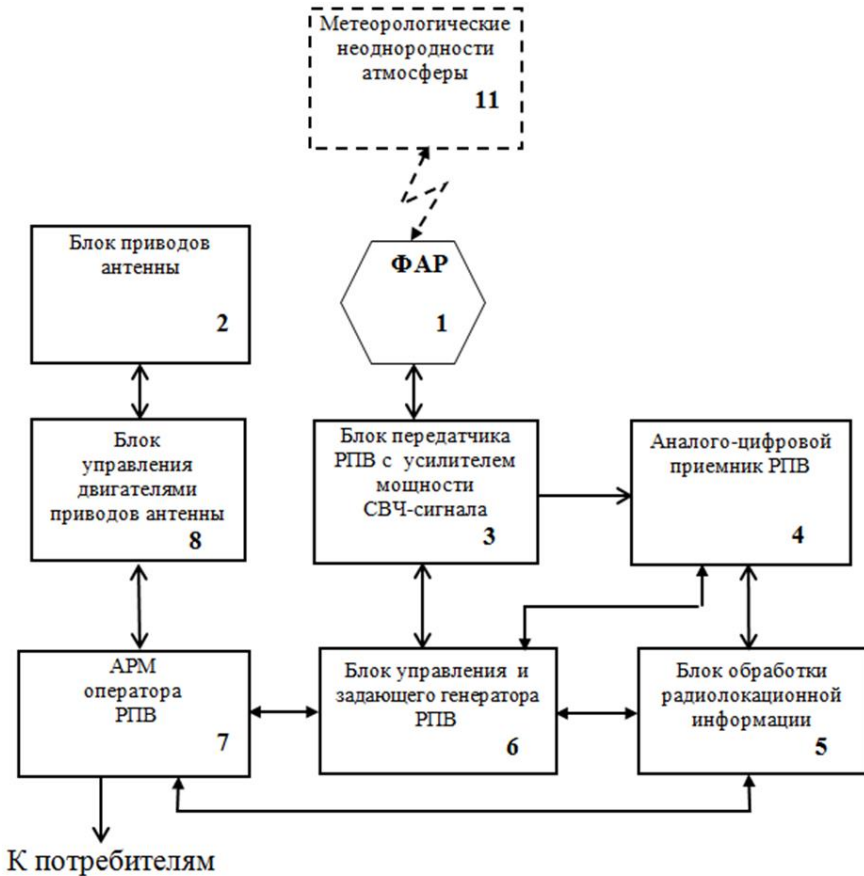


Рис. 2. Упрощенная структурная схема РПВ диапазона 1680 МГц.

Fig. 2. Simplified block diagram of the 1680 MHz wind radar

С учетом опыта разработки РПВ диапазона 500 МГц и АРВК «Вихрь» к 2023 году в инициативном порядке специалистами ИРИТ-РТФ был создан рабочий образец РПВ диапазона 1680 МГц.

Упрощенная структурная схема РПВ изображена на рисунке 2.

Блоки системы имеют следующие функции. Блок управления и задающего генератора передает СВЧ-сигнал на усилитель мощности блока передатчика, который усиливает его до необходимой мощности и передает его на ФАР, так же через ФАР принимается отраженный сигнал и через блок передатчика передается в аналого-цифровой приемник РПВ. Аналого-цифровой приемник РПВ получает принимаемый ответный сигнал от блока передатчика РПВ, усиливает, преобразует его и передает в блок обработки радиолокационной информации. Блок обработки радиолокационной информации принимает сигнал от аналого-цифрового приемника РПВ, производит необходимую обработку и результаты обработки передает в АРМ оператора РПВ. АРМ оператора РПВ через блок управления и задающего генератора управляет всей работой РПВ, положением антенны, а также получает обработанную информацию от блока обработки радиолокационной информации, преобразует ее в необходимый вид для дальнейшего использования, учета и хранения.

Технические характеристики приводятся в таблице 1. Внешний вид радиолокатора показан на рисунке 3.

Табл. 1. Технические параметры профайлера диапазона 1680 МГц.

Table 1. 1680 MHz Band Profiler Specifications

№ п/п	Технический параметр	Значение параметра	Примечание
1.	Несущая частота передатчика, МГц	1680 ±0,1 $\lambda = 17-18$ см	
2.	Импульсная мощность передающего модуля, не менее, кВт	0,4	
3.	Длительность когерентных радиоимпульсов, мкс (модуляция АИМ)	0,6	Скважность радиоимпульсов не менее 200
4.	Ширина полосы излучения главного лепестка спектра излучения, МГц	0,7-4,0	Определяется длительностью радиоимпульса
5.	Класс излучения по таблице № 4 (тип модуляции) Класс излучения по таблице № 1 Главы III (НШПИ)	4М30РОН CASK M=16 NPN	Последовательность когерентных радиоимпульсов
6.	Период следования радиоимпульсов, мкс	120	
7.	Минимальная скважность излучаемых радиоимпульсов	200	Определяется средней мощностью передатчика
8.	Ширина диаграммы направленности ФАР, °	6	

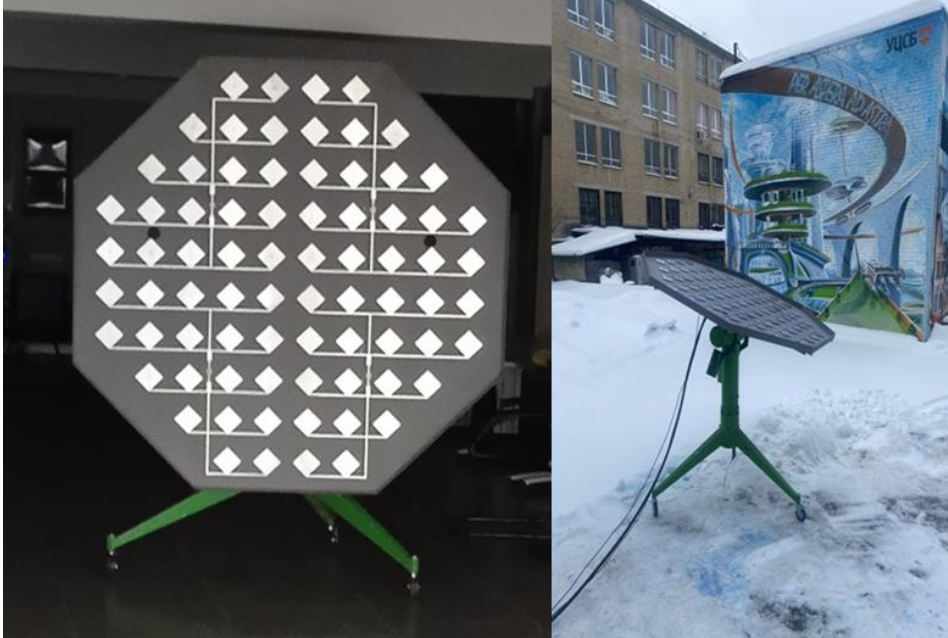


Рис. 3. Рабочий образец РПВ диапазона 1680 МГц.

Fig. 3. Working sample of the RPV of the 1680 MHz band

### 3. Некоторые результаты испытаний РПВ диапазона 1680 МГц

РПВ предназначены для получения сигнала от метеорологических неоднородностей в условиях отражения от абсолютно ясного неба. Интенсивность сигнала, особенно в таких условиях, как правило, очень мала. Она превышает предел чувствительности приемника РПВ и составляет приблизительно минус 180—190 дБ/Вт [8]. Поэтому в РПВ используется когерентное накопление ответного сигнала для получения доплеровского спектра, характеризующего параметры ветра.

Обработка и запись полученного сигнала осуществлялась средствами высокочастотного когерентного программно-аппаратного измерительного комплекса. Разрядность модуля оцифровки равна 16, частота дискретизации 20 МГц, период зондирующих импульсов 120 мкс, длительность зондирующих импульсов 0,6 мкс. Временная развертка (0—899 отсчетов) соответствует дальности зондирования от 0 до 6750.

На рисунке 4 представлены спектры ответного сигнала на высотах 394 и 1127 м по одному из направлений, из которых видно, что с увеличением высоты ветер меняет направление на противоположное.

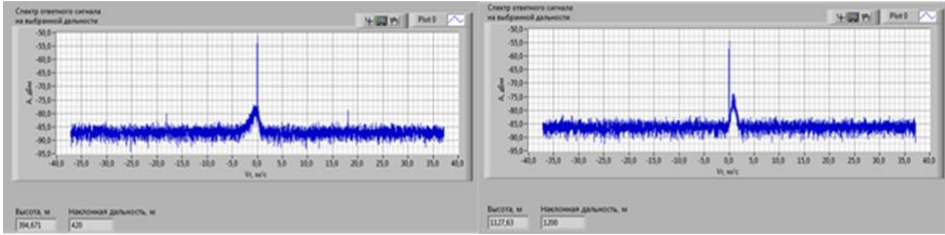


Рис. 4. Спектры ответного сигнала на высотах 394 и 1127 м.

Fig. 4. Spectra of the response signal at altitudes of 394 and 1127 m

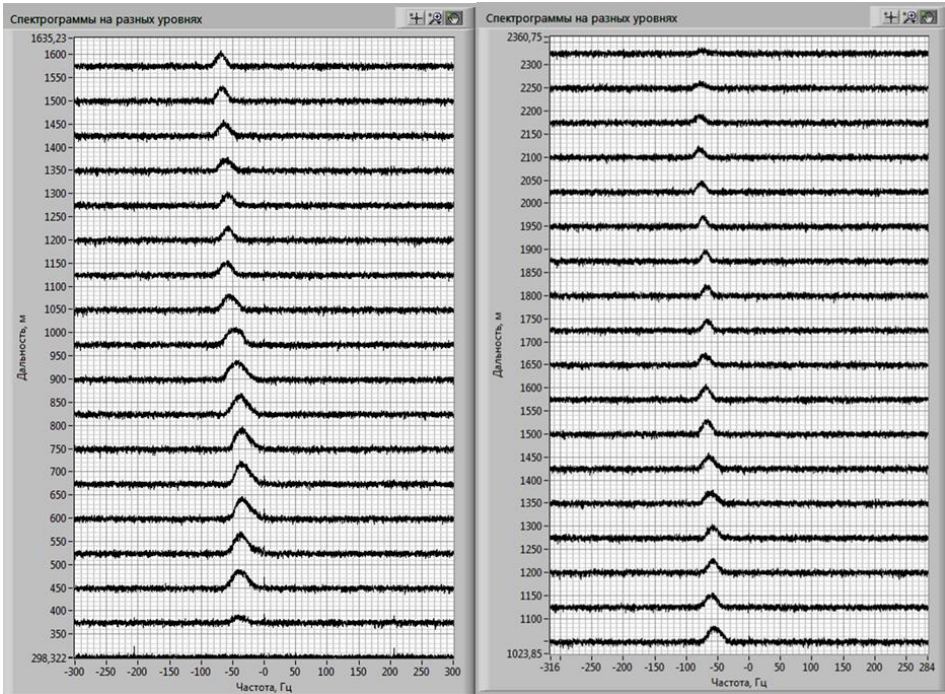


Рис. 5. Спектрограммы ответных сигналов на высотах от 300 до 1600 м и от 1050 до 2350 м.

Fig. 5. Spectrograms of response signals at altitudes from 300 to 1600 m and from 1050 to 2350 m

На рис. 5 изображены спектрограммы ответных сигналов, полученных и обработанных в ходе испытаний по одному из направлений. По результатам эксперимента можно утверждать следующее: ответный сигнал уверенно принимается на дальностях свыше 2 км, на рисунке 5 верхняя спектрограмма на наклонной дальности 2360 м соответствует высоте 2218 м, при этом полезный сигнал уверенно различим. По мере увеличения высоты частота доплеровского сигнала плавно увеличивается с 40 до

70 Гц, что соответствует горизонтальной составляющей скорости ветра в этом направлении от 10 до 19 м/с. Разрешение по высоте составляет 75 м. Нижняя граница полезного сигнала ограничена отражением от местных предметов. Искажение формы спектра ответного сигнала от гауссовского распределения говорит о том, что время накопления ответного сигнала превышает время стационарности атмосферы и несет дополнительную информацию об изменениях параметров ветра, которую при необходимости можно определять и использовать [9].

#### 4. Заключение

Представлены результаты разработки, изготовления рабочего образца и испытаний радиолокатора параметров ветра диапазона 1680 МГц. Показаны результаты испытаний созданного рабочего образца радиолокатора параметров ветра диапазона 1680 МГц. В ходе эксперимента получены спектры ответных сигналов и построены спектрограммы ответного сигнала для высот от 300 м до 2218 м. Кроме того, представленный РПВ имеет достаточно большой задел для увеличения энергии зондирующего импульса, что позволит увеличить высоту измерения параметров ветра до 4—5 км. Полученные результаты показывают возможность применения частоты 1680 МГц для работы радиолокаторов параметров ветра пограничного слоя атмосферы (до высот 4—5 км).

#### Список литературы

1. Дистанционные методы и средства исследования процессов в атмосфере земли / Под ред. Б. Л. Кашеева, Е. Г. Прошкина, М. Ф. Лагутина. Харьков : Харьк. нац. ун-т радиоэлектроники ; Бизнес Информ, 2002. 426 с.
2. Иванов В. Э., Фридзон М. Б., Ессяк С. П. Радиозондирование атмосферы. Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2004. 596 с.
3. White A. B., Ralph F. M., Jordan J. R., King C. W., Gattas D. J., Neiman P. J., Bianco L., White D. E. Expanding the NOAA Profiler Network: Technology evaluation and new applications for the coastal environment. In : Proc., 7<sup>th</sup> Conf. on Coastal Atmos. and Oceanic Prediction and Processes. Sep. 10–13, 2007. San Diego, California, AMS Boston, 26 pp.
4. Довиак Р., Зрнич Д. Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения / Пер. с англ. А. А. Черникова. Ленинград : Гидрометеиздат, 1988. 512 с.
5. Горелик А. Г., Коломиец С. Ф., Щукин Г. Г. Информационные возможности ветровых профайлеров при зондировании атмосферы // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. № 18. С. 70—89.
6. Стерлядкин В. В., Кононов М. А. Расчет потенциала и оценка возможностей ветровой метеорологической РЛС миллиметрового диапазона длин волн // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2010. № 158. С. 52—59.
7. Букрин И. В., Гусев А. В., Кудинов С. И., Иванов В. Э., Плохих О. В., Шабунин С. Н. Применение аэрологического радиолокатора для определения профиля ветра в приземной атмосфере // Ural Radio Engineering Journal. 2021. Т. 5, № 1. С. 32—48.

8. Радиолокационные отражения от ясного неба в диапазоне 35 ГГц / В. В. Стерлядкин, К. В. Куликовский, В. М. Калмыков, Д. В. Ермилов // Радиотехника и электроника. 2021. Т. 66, № 9. С. 863—871.
9. Литвин-Попович А. И., Олейников В. Н.. Повышение эффективности цифровой обработки сигналов РЛС вертикального зондирования атмосферы // Прикладная радиоэлектроника. 2008. Том 7, № 4. С. 400—403.

### **Информация об авторах**

**Букрин Илья Владимирович**, аспирант, инженер Института радиоэлектроники и телекоммуникаций — РТФ Уральского федерального университета, Екатеринбург, Российская Федерация

**Плохих Олег Васильевич**, старший преподаватель Института радиоэлектроники и телекоммуникаций — РТФ Уральского федерального университета, Екатеринбург, Российская Федерация.

**Иванов Вячеслав Элизбарович**, доктор технических наук, профессор кафедры радиоэлектроники и телекоммуникаций Уральского федерального университета, Екатеринбург, Российская Федерация.



# Development and Test Results of the 1680 MHz Wind Parameters Radar

I. V. Bukrin, O. V. Plokhikh, and V. E. Ivanov

*Ural Federal University n. a. the first President of Russia B. N. Yeltsin  
Mira str., 32, Ekaterinburg, 620002, Russian Federation  
i.v.bukrin@urfu.ru*

Received: May 19, 2023

Peer-reviewed: May 31, 2023

Accepted: May 31, 2023

**Abstract:** *The paper presents the results of the development and testing of a working sample of the 1680 MHz band wind parameters radar developed by the staff of IRIT-RTF UrFU for atmospheric research. Some characteristics of the radar, spectra of reflected signals from meteorological inhomogeneities are given.*

**Keywords:** *wind parameters radar, profiler, atmospheric turbulence, boundary layer.*

**For citation (IEEE):** I. V. Bukrin, O. V. Plokhikh, and V. E. Ivanov, "Development and Test Results of the 1680 MHz Wind Parameters Radar," *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 6, no. 2, pp. 177–186, 2023, doi: 10.29039/2587-9936.2023.06.2.14. (In Russ.).

## References

- [1] *Remote methods and means of studying processes in the earth's atmosphere* / Ed. by B. L. Kashcheeva, E. G. Proshkina, and M. F. Lagutina, Kharkov : Kharkov nat. university of radio electronics ; Business Inform, 2002. (In Russ.).
- [2] V. E. Ivanov, M. B. Fridzon, and S. P. Essyak, *Radio sounding of the atmosphere*, Ekaterinburg : UrFU-UPI, 2004. (In Russ.).
- [3] White, A. B., F. M. Ralph, J. R. Jordan, C. W. King, D. J. Gottas, P. J. Neiman, L. Bianco, and D. E. White, 2007: Expanding the NOAA Profiler Network: Technology evaluation and new applications for the coastal environment. *Proc., 7<sup>th</sup> Conf. on Coastal Atmos. and Oceanic Prediction and Processes*, 10-13 Sep., 2007, San Diego, California, AMS Boston, 26 pp.
- [4] R. J. Doviak and D. S. Zrnic, *Doppler Radar and Weather Observation*, Orlando et al. : Academic Press, 1984.
- [5] A. G. Gorelik, S. F. Kolomiets, and G. G. Shchukin, "Information capabilities of wind profilers in atmospheric sounding," *Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University*, no. 18. pp. 70–89, 2011. (In Russ.).
- [6] V. V. Sterlyadkin and M. A. Kononov, "Calculation of the potential and assessment of the capabilities of a wind meteorological radar in the millimeter wave range," *Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation*, no. 158, pp. 52–59, 2010. (In Russ.).
- [7] I. V. Bukrin, A. V. Gusev, S. I. Kudinov, V. E. Ivanov, O. V. Plokhikh, and S. N. Shabunin, "Application of aerological radar to determine the wind profile in the lower troposphere," *Ural Radio Engineering Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 32–48, 2021. (In Russ.). doi: 10.15826/urej.2021.5.1.003.

- [8] V. V. Sterlyadkin, K. V. Kulikovskii, V. M. Kalmykov, et al. “Radar Reflections from a Clear Sky in the 35 GHz Range,” *J. Commun. Technol. Electron.*, vol. 66, pp. 1020–1027, 2021. <https://doi.org/10.1134/S1064226921090163>.
- [9] A. I. Litvin-Popovich and V. N. Oleinikov, “Improving the efficiency of digital signal processing for vertical atmospheric sounding radar,” *Applied Radio Electronics*, vol. 7, no. 4, pp. 400–403, 2008. (In Russ.).

### Information about the authors

**Иля В. Букрин**, Post-graduate student, Engineer, Institute of Radio Electronics and Telecommunications – RTF, Ural Federal University, Russian Federation.

**Oleg V. Plokhikh**, Senior Lecturer, Institute of Radio Electronics and Telecommunications – RTF, Ural Federal University, Russian Federation.

**Vyacheslav E. Ivanov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Radioelectronics and Telecommunications, Institute of Radio Electronics and Telecommunications – RTF, Ural Federal University, Russian Federation.