



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2022-20-3-90-97>

Оригинальная статья  
Original paper

УДК 621.37

## СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫЙ РАДИОПРИЕМНИК ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СВЧ ДИАПАЗОНА

Д.Г. БУЛАВКО, А.В. ГУСИНСКИЙ, А.П. БЕЛОШИЦКИЙ, П.И. БАЛТРУКОВИЧ,  
Д.А. ЛИСОВ, А.Н. КУЗЮКОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

*Поступила в редакцию 29 ноября 2021*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

**Аннотация.** Целью статьи является обоснование способа и схмотехнического варианта построения сверхширокополосного радиоприемника измерительной системы, проведение математического моделирования основных параметров приемного тракта. Показаны структурная схема и общие характеристики приемника, в том числе динамический диапазон принимаемых сигналов, составляющий 111 дБ, рабочий диапазон частот от 1 до 18 ГГц. В статье рассмотрены составные блоки приемника, такие как блок автоматического регулирования мощности с динамическим диапазоном 50 дБ и шагом перестройки 1 дБ, преселектор с шестью полосами пропускания 1–2,5; 2,5–4; 4–6; 6–11; 11–15; 15–18 ГГц и блок преобразования частот с тремя ступенями преобразования. Обоснована структура и приведены параметры каждого из блоков. Подробно рассмотрена схема преобразования частот с конечной промежуточной частотой 0,75 ГГц и полосой пропускания 500 МГц. Представлены результаты моделирования коэффициента шума, распределения уровня сигнала по тракту приемника в зависимости от уровня входного сигнала и выходного сигнала ПЧ-приемника.

**Ключевые слова:** сверхширокополосный радиоприемник, динамический диапазон, частотные преобразования, коэффициент шума.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования.** Булавко Д.Г., Гусинский А.В., Белошицкий А.П., Балтрукович П.И., Лисов Д.А., Кузюков А.Н. Сверхширокополосный радиоприемник измерительной системы СВЧ диапазона. Доклады БГУИР. 2022; 20(3): 90-97.

## ULTRA-WIDEBAND RADIO RECEIVER OF THE MEASURING SYSTEM OF THE MICROWAVE RANGE

DMITRY G. BULAVKO, ALEKSANDER V. GUSINSKY, ANATOLY P. BELOSHITSKY,  
PETR I. BALTRUKOVICH, DMITRY A. LISOV, ANTON N. KUZUYUKOV

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)*

*Submitted 29 November 2021*

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

**Abstract.** The purpose of the article is to substantiate the method and circuit design option for constructing an ultra-wideband radio receiver of the measuring system, mathematical modeling of the main parameters of the receiving path. It is shown the block diagram and general characteristics of the receiver. Including the dynamic range of received signals 111 dB, operating frequency range from 1 to 18 GHz. The article discusses the components of the receiver, such as: an automatic power control unit with a dynamic range of 50 dB and a tuning step of 1 dB, a preselector with six bandwidths 1–2,5; 2,5–4; 4–6; 6–11; 11–15; 15–18 GHz and a frequency conversion unit with three conversion steps. The structure is substantiated and the parameters of each of the blocks are given. A frequency conversion scheme with a final intermediate frequency of 0.75 GHz and a bandwidth of 500 MHz is considered in detail. Modeling of the noise figure, the distribution of the signal level along the receiver path from the input signal level and the results of modeling the output signal of the IF receiver.

**Keywords:** ultra-wideband radio receiver, dynamic range, frequency conversion, noise figure.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

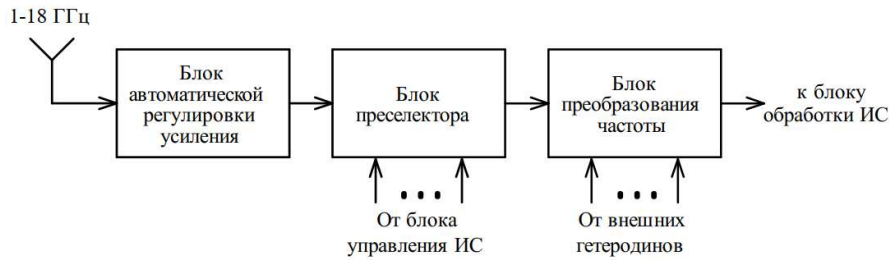
**For citation.** Bulavko D.G., Gusinsky A.V., Beloshitsky A.P., Baltrukovich P.I., Lisov D.A., Kuzyukov A.N. Ultra-wideband Radio Receiver of the Measuring System of the Microwave Range. Doklady BGUIR. 2022; 20(3): 90-97.

### Введение

В настоящее время все большее применение находят измерительные системы (ИС) радиотехнической разведки и радиомониторинга СВЧ диапазона [1, 2]. Основное назначение таких систем – обнаружение и измерение следующих параметров и характеристик радиосигналов: несущая частота, энергетический уровень (мощность), ширина спектра, вид модуляции, а также определение направления на источник радиосигнала. Одним из основных блоков аппаратной части рассматриваемых систем является радиоприемник. Основными требованиями, которые следует учитывать при разработке таких приемников, являются очень широкие частотный и динамический диапазоны, приемлемые уровни отношения сигнал/шум и интермодуляционных искажений, а также минимизация массогабаритных параметров. В статье рассматривается разработанная структурная схема сверхширокополосного радиоприемника измерительной системы радиотехнической разведки и радиомониторинга, также приведены результаты моделирования его параметров.

### Структурная схема приемника

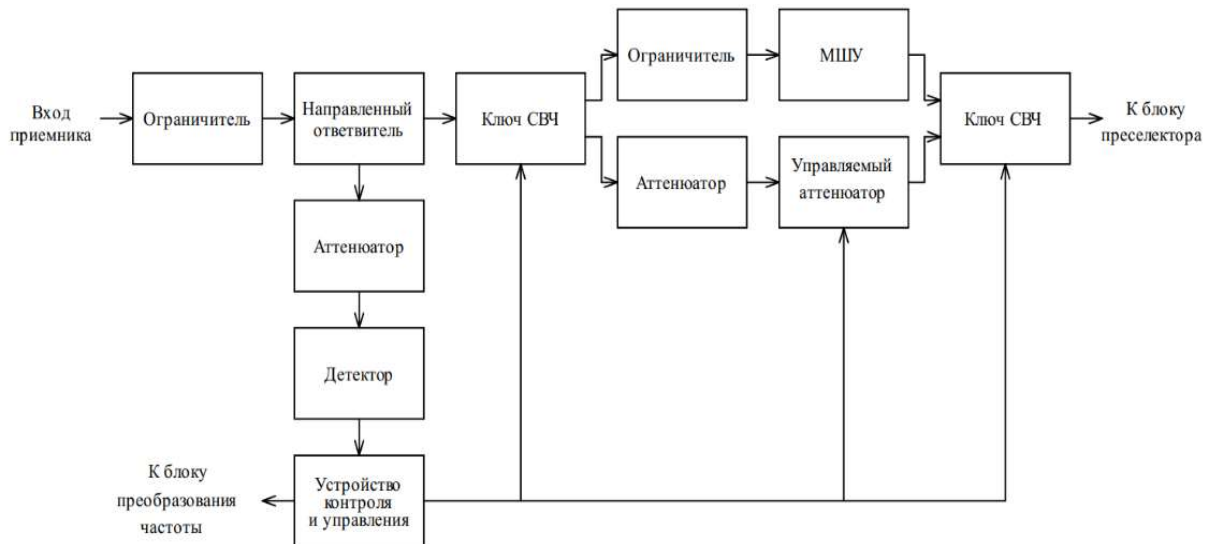
Приемник построен по супергетеродинной схеме приема с тремя преобразованиями частоты. Рабочий диапазон частот принимаемых сигналов составляет от 1 до 18 ГГц и разбит на два поддиапазона: от 1 до 6 ГГц и от 6 до 18 ГГц [3–5]. Обобщенная структурная схема приемника представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Обобщенная структурная схема приемника  
**Fig. 1.** Generalized block diagram of the receiver

Динамический диапазон принимаемых сигналов [6] ИС составляет 111 дБ (от  $-74$  до 37 дБм). Для обеспечения такого большого динамического диапазона и защиты последующих каскадов приемника от перегрузок и выхода из строя, на входе приемника используется блок автоматической регулировки усиления (АРУ). Структурная схема АРУ представлена на рис. 2.

Модуль автоматической регулировки служит для предварительного регулирования по мощности входных сигналов, защиты внутренних цепей от выгорания [7]. Верхняя граница мощности рассчитана на 5 Вт. Для защиты приемника используются ограничительные диоды. Входной сигнал проходит ограничительный диод и поступает на ответвитель по мощности, с которого часть мощности измеряется на логарифмическом детекторе, и решающее устройство переключает СВЧ ключи между малошумящим усилителем (МШУ) и управляемым аттенуатором и выдает команду на управляемые аттенуаторы (АРУ и цифровой аттенуатор ПЧ2, обеспечивающий компенсирование мощности сигнала при переключении АРУ с МШУ на управляемом аттенуаторе). Общий диапазон регулирования составляет 50 дБ, шаг перестройки цифрового аттенуатора – 1 дБ. МШУ используется широкополосный с коэффициентом усиления 17,5 дБ во всем принимаемом диапазоне. Коэффициент шума 3 дБ наблюдается в худших частотных точках диапазона. Структурная схема АРУ представлена на рис. 2.



**Рис. 2.** Структурная схема блока АРУ  
**Fig. 2.** Block diagram of the AGC block

Ограничительные диоды используются для предотвращения выхода приемника из строя при принимаемом сигнале более 5 Вт. В зависимости от уровня входного сигнала устройство контроля и управления вырабатывает управляющие сигналы на СВЧ ключи и цифровой управляемый аттенуатор для его усиления с помощью МШУ либо ослабления. Цифровой управляемый аттенуатор имеет диапазон ослабления от 0 до 30 дБ. Шаг перестройки – 1 дБ. Выходной сигнал блока АРУ поступает на вход преселектора, структурная схема которого представлена на рис. 3.

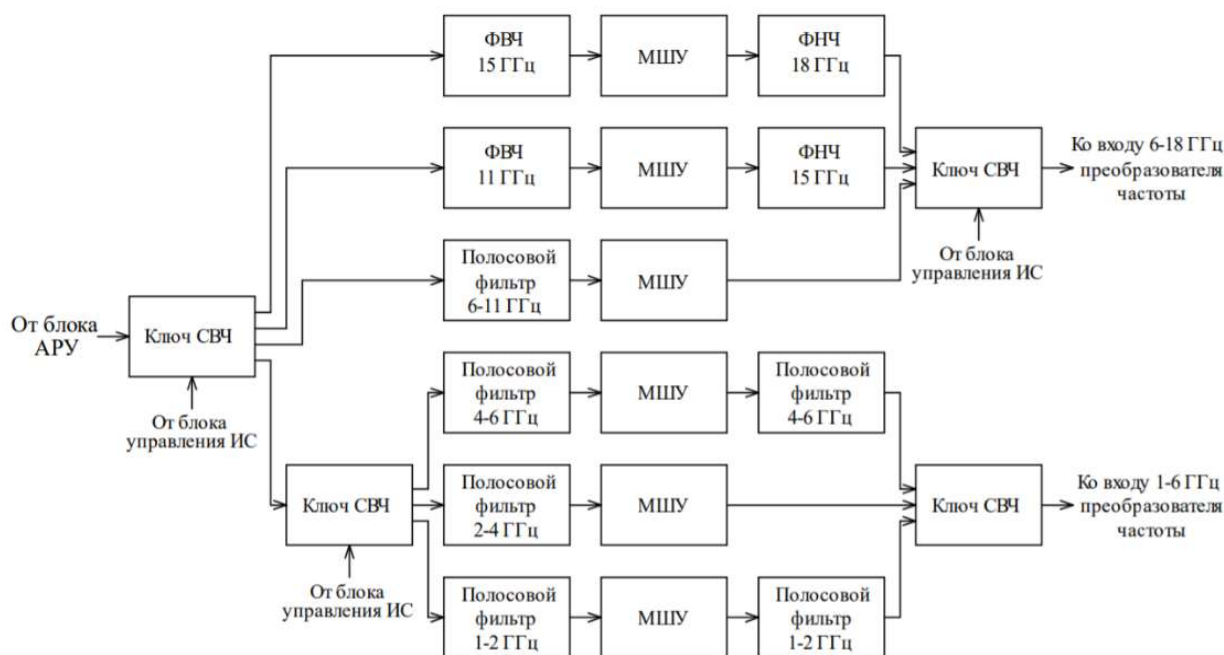


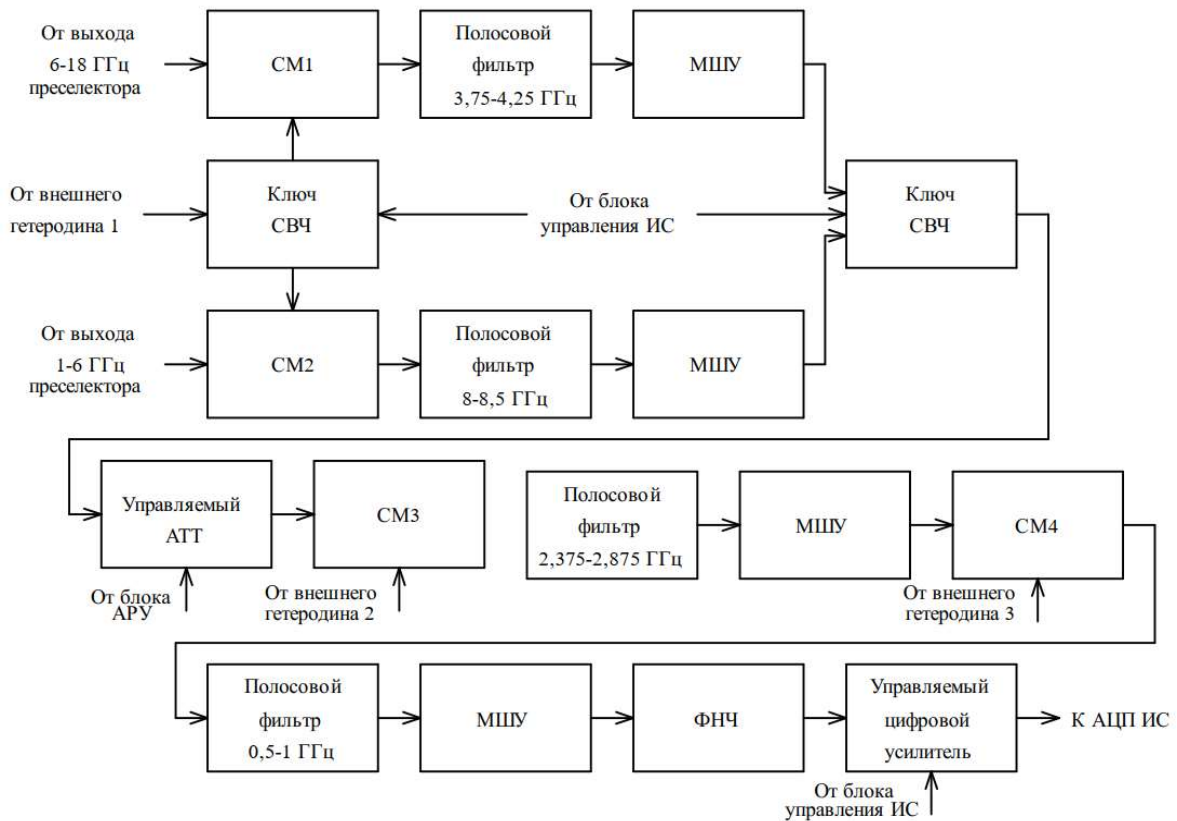
Рис. 3. Структурная схема преселектора  
Fig. 3. Preselector block diagram

Частотный диапазон преселектора разбит на два поддиапазона: 1–6 ГГц и 6–18 ГГц. В свою очередь каждый поддиапазон состоит из трех каналов, содержащих фильтры с полосами пропускания: 1–2,5; 2,5–4; 4–6; 6–11; 11–15; 15–18 ГГц. Основное назначение фильтров – подавление сигналов зеркальных каналов этих частотных участков. Ослабление сигналов зеркальных каналов составляет не менее 50 дБ, а ослабление полезных сигналов вносимое фильтрами – 2,5 дБ. В каждом из каналов преселектора используются МШУ, с помощью которых повышаются энергетические уровни принимаемых сигналов. Выбор одного из шести каналов преселектора осуществляется с помощью ключей СВЧ по сигналам блока управления ИС для выбранной частоты.

Блок преобразования частоты, структурная схема которого представлена на рис. 4, содержит три ступени преобразования частоты. Принцип работы блока преобразования частоты заключается в переносе выбранного участка входного диапазона на конечную промежуточную частоту. При выбранной полосе анализа в частотном диапазоне от 1 до 6 ГГц входной сигнал проходит преселектор и поступает на СМ2, где происходит преобразование на частоту 8,25 ГГц с полосой пропускания 500 МГц. Сигнал внешнего гетеродина перестраиваемый и работает в диапазоне 9,25–14,25 ГГц в данном случае. Полученная промежуточная частота проходит фильтрацию и поступает на вход СМ3. С помощью сигнала внешнего гетеродина 10,875 ГГц происходит преобразование в промежуточную частоту 2,625 ГГц. В случае выбора полосы анализа входного диапазона от 6 до 18 ГГц, сигнал подается на вход СМ1. С помощью внешнего гетеродина 1 частотой от 7 до 14 ГГц происходит преобразование на промежуточную частоту 4,25 ГГц. Полученная промежуточная частота проходит фильтрацию и поступает на вход СМ3. С помощью сигнала внешнего гетеродина 6,625 ГГц происходит преобразование в промежуточную частоту 2,625 ГГц. Промежуточная частота 2,625 ГГц поступает на вход СМ4 и при помощи внешнего сигнала гетеродина 3 частотой 3,375 ГГц преобразуется в промежуточную частоту 0,75 ГГц с полосой пропускания 500 МГц.

Полосовые фильтры после смесителей обеспечивают подавление мешающих сигналов на входе приемника, сигналов внешних гетеродинов и нежелательные комбинационные сигналы приемника. Фильтр ФНЧ дополнительно подавляет сигналы гетеродинов.

Полосы пропускания всех полосовых фильтров – не менее 500 МГц, что обеспечивает мгновенный обзор полосы частот в 500 МГц. В качестве гетеродинов 1, 2 и 3 используются синтезаторы частоты, входящие в состав измерительной системы.

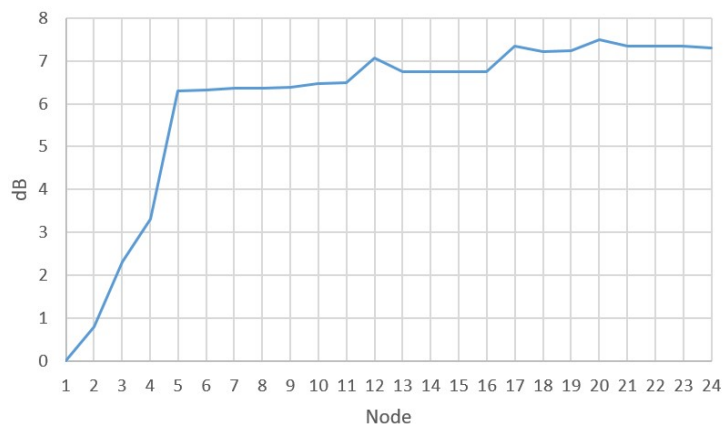


**Рис. 4.** Структурная схема блока преобразования частоты  
**Fig. 4.** Block diagram of the frequency conversion unit

### Результаты моделирования и их обсуждение

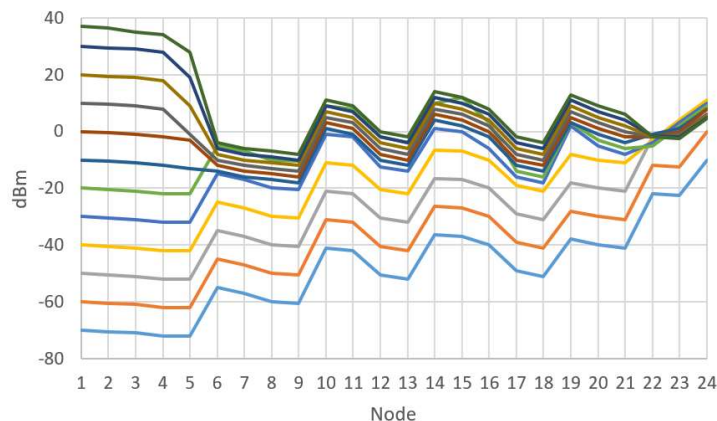
С целью определения необходимых параметров разработанного приемника до его практической реализации было проведено моделирование. Для этого была разработана математическая модель приемника. Исходя из выбранных комплектующих элементов, узлов и блоков приемника, определены их параметры. Эти параметры и графическая модель использовались в качестве исходных данных для моделирования.

Результаты моделирования коэффициента шума, распределения уровня сигнала по тракту приемника в зависимости от уровня входного сигнала и сигнала ПЧ на выходе приемника представлены соответственно на рис. 5, 6 и 7.

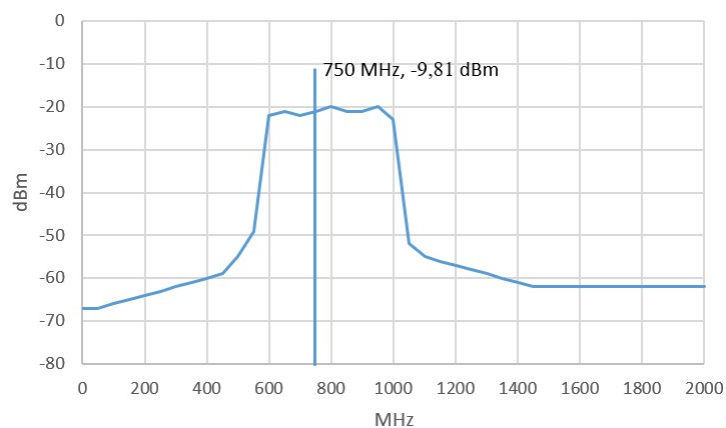


**Рис. 5.** Результаты моделирования коэффициента шума по тракту приемника  
**Fig. 5.** Noise figure simulation results along the receiver path

Результаты моделирования коэффициента шума (рис. 5) показывают, что его максимальное значение равно 7,5 дБ при уровне входного сигнала, равном  $-70$  дБм. Такой уровень обусловлен наличием большого количества пассивных элементов на входе приемника.



**Рис. 6.** Результаты моделирования уровня сигнала по тракту приемника  
**Fig. 6.** Results of modeling the signal level along the receiver path



**Рис. 7.** Результаты моделирования выходного сигнала ПЧ приемника  
**Fig. 7.** Results of simulation of the output signal of the IF receiver

На рис. 6 представлены результаты моделирования уровня сигнала по тракту приемника для возможных значений входного сигнала от  $-70$  до  $37$  дБм. При таких значениях на входе значения выходного сигнала приемника изменяются в диапазоне от  $-10$  до  $5$  дБм.

На рис. 7 представлены результаты моделирования выходного сигнала промежуточной частоты при входном уровне сигнала, равном  $-70$  дБм. Уровень промежуточной частоты на  $10$  дБ выше уровня шума.

### Заключение

В статье приведены разработанная схема приемника и ее описание для измерительных систем радиотехнической разведки и радиомониторинга. Наиболее важными особенностями таких систем являются очень широкие частотный и динамический диапазоны принимаемых сигналов. Результаты моделирования параметров разработанного приемника показали, что полученные значения (рабочий диапазон частот  $1-18$  ГГц; динамический диапазон от  $-70$  до  $37$  дБм; отношение сигнал/шум  $10$  дБ) удовлетворяют необходимым требованиям, а разработанная схема пригодна для практической реализации.

### Список литературы

1. Подстригаев А.С., Лихачев В.П., Смоляков А.В. Проектирование широкополосного приемника матрично-параллельного типа для радиотехнического мониторинга и радиотехнической разведки. *Доклады ТУСУРа*. 2017;20(3).
2. Архипенков Д.В. Сверхширокодиапазонное радиоприемное устройство для комплексов радиомониторинга. *Информационные радиосистемы и радиотехнологии*. Минск; 2020.
3. Богданович Б.М., Воронов А.И., Забеньков И.И., Позняк С.С. Инфрадинный прием. *Радиотехника*. 1982;37(9):3-13.
4. Фомин Н.Н., Буга Н.Н., Головин О.В. *Радиоприемные устройства*. Москва: Горячая линия – Телеком; 2007.
5. Румянцев К. Е. *Радиоприемные устройства*. Москва: Академия; 2006.
6. Цыпленков Ю.А., Овчинников В.Д., Баранов В.Г. Методология разработки радиолокационного приемника с большим динамическим диапазоном и низким коэффициентом шума. *Современная электроника*. 2019;3:44-51.
7. Alegre Perez J.P., Celma S., Lopez B.C. *Automatic gain control – Techniques and architectures for RF receivers*. Springer: New York; 2011.

### References

1. Podstrigaev A.S., Lihachev V.P., Smolyakov A.V. [Design of a broadband receiver of a matrix-parallel type for radio monitoring and radio intelligence]. *Doklady TUSUR = TUSUR reports*. 2017;20(3). (In Russ.)
2. Arhipenkov D.V. [Ultra-wide-range radio receiver for radio monitoring complexes]. *Information radio systems and radio technologies*. Minsk; 2020. (In Russ.)
3. Bogdanovich B.M., Voronov A.I., Zabenkov I.I., Poznyak S.S. [Infradyne receiving]. *Radiotekhnika = Radiotechnics*. 1982;37(9):3-13. (In Russ.)
4. Fomin N.N., Buga N.N., Golovin O.V. [*Radio receiver devices*]. Moscow: Hot line – Telecom; 2007. (In Russ.)
5. Rumyantsev K.E. [*Radio receiver devices*]. Moscow: Academy; 2006. (In Russ.)
6. Ciplenkov U.A., Ovchinnikov V.D., Baranov V.G. [Methodology for developing a radar receiver with a large dynamic range and low noise coefficient]. *Sovremennaya electronica = Modern electronics*. 2019;3:44-51. (In Russ.)
7. Alegre Perez J.P., Celma S., Lopez B.C. *Automatic gain control = Techniques and architectures for RF receivers*. Springer, New York; 2011.

### Вклад авторов

Булавко Д.Г. разработал структурную схему приемника.  
Гусинский А.В. осуществил научное руководство и постановку задачи.  
Белошицкий А.П. разработал структурную схему АРУ, подобрал элементную базу АРУ.  
Балтрукович П.И. осуществил научное руководство.  
Лисов Д.А. провел моделирование СВЧ тракта приемника.  
Кузюков А.Н. произвел оптимизацию тракта, подобрал элементную базу.

### Authors' contribution

Bulavko D.G. developed a block diagram of the receiver.  
Gusinsky A.V. carried out scientific guidance and formulation of the problem.  
Beloshitsky A.P. developed a block diagram of the AGC, selected the element base of the AGC.  
Baltrukovich P.I. carried out scientific guidance.  
Lisov D.A. conducted modeling of the receiving path.  
Kuzyukov A.N. optimized the path, selected the element base.

### Сведения об авторах

Булавко Д.Г., младший научный сотрудник Центра 1.9 НИЧ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.  
Гусинский А.В., к.т.н., начальник Центра 1.9 НИЧ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

### Information about the authors

Bulavko D.G., Junior Researcher at the Center 1.9 of R&S Department of the Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics.  
Gusinsky A.V., Cand. of Sci., Head of the Center 1.9 of R&S Department of the Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics.

Белошицкий А.П., к.т.н., доцент, доцент кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Балтрукович П.И., заместитель начальника Центра 1.9 НИЧ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Лисов Д.А., младший научный сотрудник Центра 1.9 НИЧ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Кузюков А.Н., младший научный сотрудник Центра 1.9 НИЧ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

**Адрес для корреспонденции**

220013, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники;  
тел. +375-29-539-31-38;  
e-mail: dmitrybylavko@gmail.com  
Булавко Дмитрий Геннадьевич

Beloshitsky A.P., Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor at the Department of Information Security of the Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics.

Baltrukovich P.I., Deputy Head of the Center 1.9 of R&S Department of the Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics

Lisov D.A., Junior Researcher at the Center 1.9 of R&S Department of the Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics.

Kuzyukov A.N., Junior Researcher at the Center 1.9 of R&S Department of the Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics.

**Address for correspondence**

220013, Republic of Belarus,  
Minsk, P. Brovka St., 6,  
Belarusian State University  
of Informatics and Radioelectronics;  
tel. +375-29-539-31-38;  
e-mail: dmitrybylavko@gmail.com  
Bulavko Dmitry Gennadyevich