

# Многофункциональная волоконно-оптическая система для передачи СВЧ сигналов в диапазоне частот от 0.135 до 40 ГГц

Г.А. Пчелкин<sup>1</sup>, В.Ю. Рудь<sup>2</sup>, В.В. Давыдов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, институт Физики, Нанотехнологий и Телекоммуникаций, Высшая Школа Прикладной Физики и Космических Технологий, Политехническая 29, Санкт-Петербург, Россия, 195251

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, Институт 5, Большие Вяземы, Россия, 143050

**Аннотация.** В работе представлена разработанная конструкция волоконно-оптической системы для передачи СВЧ сигналов в радиолокационных станциях. Использование разработанной конструкции волоконно-оптической системы передачи СВЧ сигнала позволяет увеличить диапазон рабочих частот РЛС минимум в два раза и увеличить её функциональные возможности. Предложен новый метод построения конструкции волоконно-оптической системы передачи СВЧ сигнала. Его использование позволило сократить в волоконно-оптической системе число функциональных блоков по сравнению с ранее используемыми конструкциями для обеспечения работы РЛС в данном частотном диапазоне. Представлены результаты экспериментальных исследований.

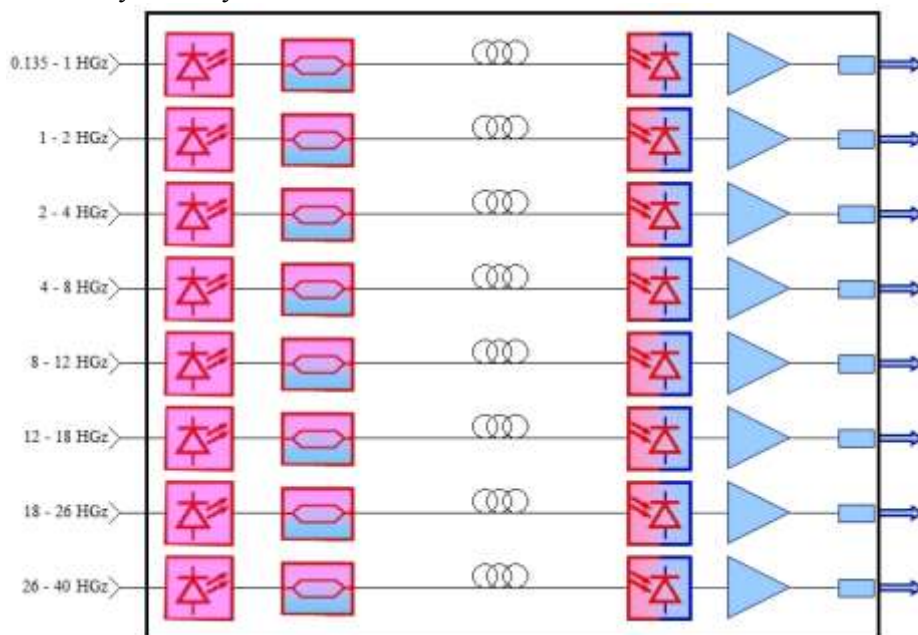
## 1. Введение

В настоящее время волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) являются одним из важнейших элементов в передаче различной информации [1-7]. В зависимости от места и способа эксплуатации, как пример, высокоскоростные ВОЛС или передача информации по ВОЛС на предприятиях сельскохозяйственного сегмента промышленности [6-10], структура и технические характеристики ВОЛС различаются, несмотря на это принципы построения ВОЛС остаются одинаковыми [4-16]. Основными элементами в конструкции ВОЛС являются передающий лазерный модуль, электрооптический модулятор, приемный модуль и оптические изоляторы [11-16]. Оптические усилители могут быть использованы в зависимости от расстояния, на которое передается информация. При рассмотрении передачи СВЧ сигналов и сигналов в радиолокационных станциях имеют много особенностей [11-20].

В результате эксплуатации и исследований РЛС выяснили, что наилучшими характеристиками для передачи СВЧ сигнала имеет одномодовое волокно. Вместе с тем, у каждого канала есть своя система передачи сигналов с ВОЛС, что имеет свои преимущества и недостатки [11, 12, 16, 21, 22]. Разработанные в настоящее время различные системы передачи СВЧ сигналов с ВОЛС работают устойчиво в определенном частотном диапазоне, например, X-диапазон, что является недостатком данной конструкции. В основе данного факта лежат конструкционные особенности модуляции оптического сигнала СВЧ сигналов в модуляторе и

быстродействие фотоприемных элементов, а также чувствительность слабых сигналов при передаче через ВОЛС. Кроме того, на основе новых технологий, исследований и материалов, разработаны приемно-передающие антенны, работающие в широком диапазоне СВЧ частот. В частности, это перестраиваемые по СВЧ частоте устройства. Для таких РЛС возникла необходимость в создании универсальной системы, для передачи СВЧ сигналы в диапазоне частот от 0.135 до 40 ГГц с помощью ВОЛС.

На рис. 1 представлена модульная конструкция системы, состоящая из 8 отдельных каналов. В отличие от ВОЛС в X-диапазоне, изменены только диапазоны частот, что и позволяет использовать данную схему.



**Рисунок 1.** Схема волоконно-оптической линии передачи СВЧ сигналов в РЛС частотный диапазон от 0,135 до 40 ГГц.

В проведенных нами исследованиях данная конструкция системы передачи СВЧ сигналов нерациональна по нескольким причинам:

Дорогостоящие оптические элементы при обеспечении работы системы в узком частотном интервале, например, 1-2 ГГц;

Для каждого оптического элемента или блока (конструкция, представляющая в себе все оптические элементы) необходимо обеспечить температурную стабилизацию в различных местах эксплуатации [4, 11, 12, 15];

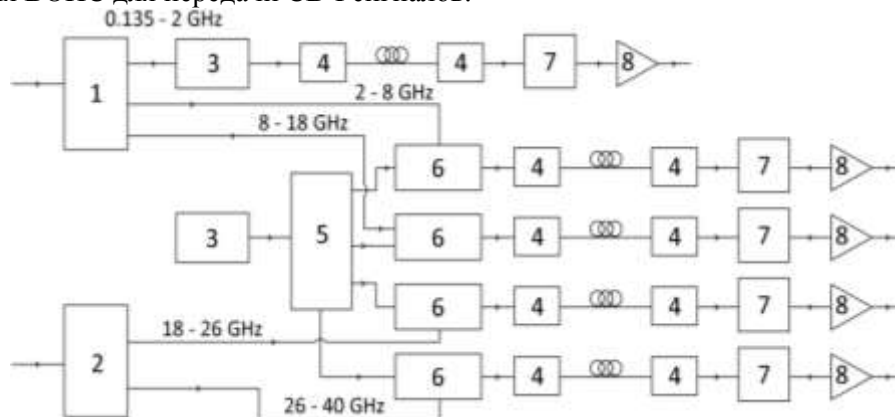
В случае использования в АФАР этой конструкции, подвижные объекты (где есть ограничения на объем и вес блоков и необходима температурная стабилизация) возникают осложнения.

Что приводит к необходимости модернизации универсальной системы передачи сигналов СВЧ, с целью уменьшения её габаритов и стоимости. Одно из решений будет рассмотрено в нашей работе.

## 2. Новая конструкция волоконно-оптической системы передачи СВЧ сигналов в РЛС и особенности её работы

Проведенные исследования показали, что использование прямой и внешней модуляции не влияет на амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) ВОЛС в диапазоне частот от 0.135 до 2.0 ГГц не при передаче СВЧ сигнала. Отсутствие в канале ВОЛС электрооптического модулятора уменьшает на 20 – 25 % коэффициент передачи  $K_c$ . В следствии чего более эффективной конструкции ВОСП можно учесть новую модель передающего модуля с прямой

модуляцией и объединить два канала в один (от 0.135 до 2.0 ГГц). На рис.2 представлена новая конструкция ВОПС для передачи СВЧ сигналов.



**Рисунок 2.** Новая схема волоконно-оптической линии передачи сигналов в диапазон частот от 0,135 до 40 ГГц; 1 и 2 переключатели каналов СВЧ; 3 – передающие лазерные модули; 4 – оптический изолятор; 5 – передающий лазерный модуль; 6 – электрооптический модулятор; 7 – фотоприемный модуль; 8 – усилитель.

Таким же образом в один канал с частотным диапазоном от 2 до 8 ГГц и от 8 – 18 ГГц были преобразованы другие каналы. За счет использования оптического делителя в новой конструкции на 4 было сокращено число лазерных передающих модулей до двух. Проведенные исследования показали, что использование одного передающего модуля с прямой модуляцией одновременно на все 5 каналов при использовании устройств переключения СВЧ каналов, создает дополнительный шум, который уменьшает динамический диапазон ВОПС. Что создает проблемы при передаче слабых сигналов.

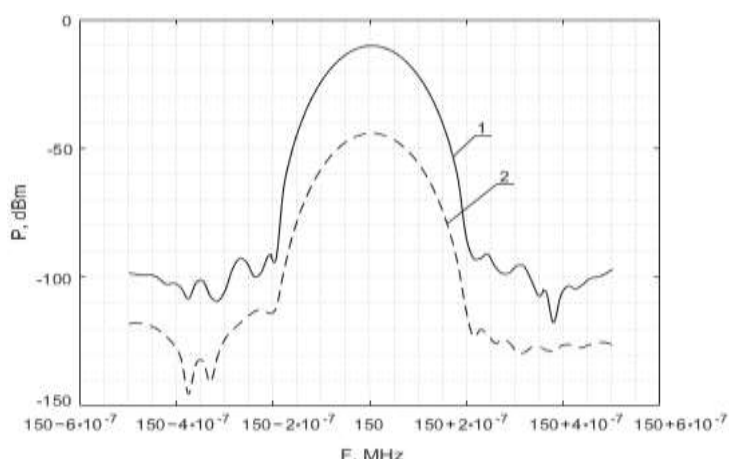
В новой конструкции ВОПС число электрооптических модуляторов (ЭОМ) уменьшилось до 5 с восьми, однако эти устройства наиболее чувствительны к изменению температуры. Для стабильной эксплуатации в широком диапазоне температур необходима схема термостабилизации с подстройкой рабочей точки [12, 16, 21, 22]. Такую схему можно реализовать для нескольких ЭОМ, однако она будет занимать много места. Рабочая точка у каждого модулятора разная. Сокращение числа ЭОМ уменьшает габариты и вес системы термостабилизации, а также её стоимость. Также необходимо реализовать термостабилизацию в фотоприемных модулях [23-31].

Так как расстояние передачи сигнала не превышает 300м, такое построение конструкции ВОПС оправдано. Потери в оптическом волокне незначительны на таких расстояниях. Различные типы дисперсии не успевают образоваться на изгибах оптического волокна в силу малого времени распространения. Важными характеристиками в этом случае остаются чистота спектра передаваемого сигнала и величина температурного ухода фазы модуляции при распространении оптического сигнала в волокне. Так как по ВОПС могут также передавать сигналы от гетеродина и управления.

### 3. Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

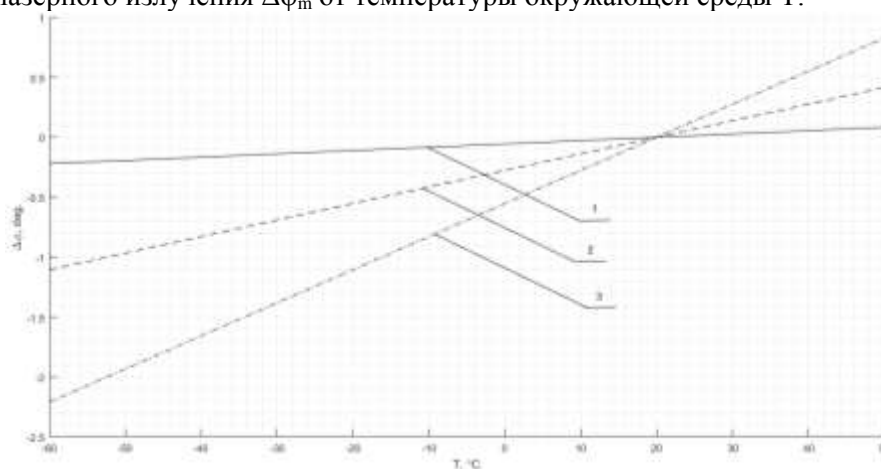
Опыт эксплуатации РЛС с ВОПС показал, что искажения в спектре в ряде случаев [18-20, 32-36] передаваемого сигнала могут привести к потере управления или к ошибкам в определении положения координат объекта. В результате исследований на макете ВОПС были рассмотрены искажения в спектре при передаче гетеродинного сигнала по ВОПС на рабочей частоте 150 МГц. На рис. 3 в качестве примера представлен один из результатов исследований для канала передачи СВЧ сигналов в диапазоне частот от 0.135 до 2.0 ГГц.

При сравнении полученных спектров (рис. 3) можно отметить высокую эффективность передачи гетеродинного сигнала на несущей частоте. Искажения в спектре присутствуют только на боковых составляющих, которые не влияют на точность определения расстояния.



**Рисунок 3.** Спектры входного (сплошная) и выходного (штрих) сигнала ВОСП.

Так как волоконно–оптическая система передачи предназначена для АФАР будет находиться в различных температурных условиях. В результате изменение температуры окружающей среды происходит изменение коэффициента преломления волокна, и удлинение волокна в результате теплового расширения или сжатия. Что приводит к изменению фазы модуляции прошедшего через волокно излучения. Из-за этого была проведена экспериментальная оценка температурного изменения фазы модуляции при распространении в оптическом волокне. На рис. 4 представлена экспериментальная зависимость сдвига фазы модуляции лазерного излучения  $\Delta\varphi_m$  от температуры окружающей среды  $T$ .



**Рисунок 4.** Сдвиг фазы модуляции  $\Delta\varphi_m$  от температуры  $T$ . Графики 1, 2 и 3 соответствуют частоте гетеродинного сигнала в МГц: 50; 100; 150.

Результаты исследований показали температурную зависимость фазы модуляции в волокне G.657 составляющую не более 3.0 градусов в выбранном диапазоне температур от 213,1 до 323,3 К, для различных частот передачи сигналов. Влияние на амплитудные и частотные характеристики передаваемого сигнала будет незначительным, при длине оптического волокна менее 120 м.

#### 4. Заключение

Полученные результаты смогли показать, что разработанная нами конструкция ВОСП может успешно эксплуатироваться в составе РЛС с АФАР. Установлена обоснованность реализации в изготовлении ВОСП конструкторские решения, полученных на основе проведенных исследований.

Также, было установлено, что в разработанной новой конструкции ВОСП технические характеристики (динамический диапазон, коэффициент передачи и т.д.) не ухудшились, и в некоторых случаях стали лучше. Что позволило расширить число задач, решаемых при эксплуатации РЛС с по сравнению с ранее используемыми конструкциями ВОСП.

## 5. Благодарности

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 19-29-06036).

## 6. Литература

- [1] Векшин, Ю.В. Методика и результаты исследований амплитудной и фазовой стабильности супергетеродинного радиоастрономического приемника / Ю.В. Векшин, А.П. Лавров, Ю.В. Хвостов // Радиотехника. – 2018. – № 1. – С. 24-30.
- [2] Podstrigaev, A.S. Features of the Development of Transceivers for Information and Communication Systems Considering the Distribution of Radar Operating Frequencies in the Frequency Range / A.S. Podstrigaev, A.V. Smolyakov, V.V. Davydov, N.S. Myazin, M.G. Slobodyan // Lecture Notes in Computer Science. – 2018. – Vol. 11118 LNCS. – P. 509-515.
- [3] Mashkov, G. Positioning accuracy experimental evaluation in SDR-based MLAT with joint processing of range measurements / G. Mashkov, E. Borisov, G.A. Fokin // Proceedings International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications – ICRAMET. – 2016. – Vol. 7849572. – P. 7-12.
- [4] Mashkov, G. Experimental validation of multipoint joint processing of range measurements via software-defined radio testbed / G. Mashkov, E. Borisov, G.A. Fokin // Proceedings 19th International Conference on Advanced Communications Technology, ICACT. – 2017 – Vol. 7890254. – P. 979-984.
- [5] Lenets, V.A. New method for testing of antenna phased array in X frequency range / V.A. Lenets, M.Yu. Tarasenko, V.V. Davydov, N.S. Rodugina, A.V. Moroz // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 1038(1). – P. 012037.
- [6] Lavrov, A.P. A Method for Measurement of the Pulse Arrival Time of the Radio Emission of Pulsars in a Wideband Optoelectronic Processor / A.P. Lavrov, S.A. Molodyakov // Measurement Techniques. – 2017. – Vol. 59. – P. 1025-1033.
- [7] Ermolaev, A.N. A Method for Measurement of the Pulse Arrival Time of the Radio Emission of Pulsars in a Wideband Optoelectronic Processor / A.N. Ermolaev, G.P. Krishpents, V.V. Davydov, M.G. Vysoczkiy // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – Vol. 741(1). – P. 012171.
- [8] Davydov, R.V. Fiber-optic transmission system for the testing of active phased antenna arrays in an anechoic chamber / R.V. Davydov, I.V. Saveliev, V.A. Lenets, M.Yu. Tarasenko, T.R. Yalunina, V.V. Davydov, V.Yu. Rud // Lecture Notes in Computer Science. – 2017. – Vol. 10531 LNCS. – P. 177-183.
- [9] Moroz, A.V. Photoluminescence of plant leaves during high-temperature treatment / A.V. Moroz, V.V. Davydov, V.Yu. Rud, Yu.V. Rud, V.Ch. Shpunt, A.P. Glinushkin // Journal Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 1135(1). – P. 012060.
- [10] Podstrigaev, A.S. Features of Transmission of Intermediate Frequency Signals over Fiber-Optical Communication System in Radar Station / A.S. Podstrigaev, R.V. Davydov, V.Yu. Rud, V.V. Davydov // Lecture Notes in Computer Science. – 2018. – Vol. 11118 LNCS. – P. 624-630.
- [11] Filatov, D.L. Features of transmission at analog intermediate frequency signals on fiber - Optical communication lines in radar station / D.L. Filatov, A.A. Galichina, M.G. Vysoczky, T.R. Yalunina, V.V. Davydov, V.Yu. Rud // Journal Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 917(8). – P. 082005.
- [12] Davydov, V.V. Fiber-optics system for the radar station work control / V.V. Davydov, N.V. Sharova, E.N. Fedorova, E.P. Gilshteyn, K.Y. Malanin, I.V. Fedotov, V.A. Vologdin, A.Yu. Karseev // Lecture Notes in Computer Science. – 2015. – Vol. 9247. – P. 712-721.

- [13] Tarasenko, M.Yu., Features of use direct and external modulation in fiber optical simulators of a false target for testing radar station / M.Yu. Tarasenko, V.V. Davydov, N.V. Sharova, V.A. Lenets, T.R. Yalunina // *Lecture Notes in Computer Science*. – 2017. – Vol. 10531 LNCS. – P. 227-232.
- [14] Podstrigaev, A.S. Technique for Tuning Microwave Strip Devices / A.S. Podstrigaev, L.B. Ryazantsev, V.P. Lukashev // *Measurement Techniques*. – 2016. – Vol. 59(5). – P. 547-550.
- [15] Petrov, A.A. Rubidium atomic clock with improved metrological characteristics for satellite communication system / A.A. Petrov, V.V. Davydov, N.S. Myazin // *Lecture Notes in Computer Science*. – 2017. – Vol. 10531 LNCS – P. 561-568.
- [16] Ivanov, S.I. Model of photonic beamformer for microwave phased array antenna / S.I.I vanov, A.P. Lavrov, I.I. Saenko // *Lecture Notes in Computer Science*. – 2017. – Vol. 10531 LNCS. – P. 482-489.
- [17] Ivanov,, S.I. Application of microwave photonics components for ultrawideband antenna array beamforming / S.I. Ivanov, A.P. Lavrov, I.I. Saenko // *Lecture Notes in Computer Science*. – 2016. – Vol. 9870 LNCS. – P. 670-679.
- [18] Grebenikova, N.M. Features of monitoring the state of the liquid medium by refractometer / N.M. Grebenikova, K.J. Smirnov, V.V. Davydov, V.Yu. Rud, V.V. Artemiev // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2018. – Vol. 1135(1). – P. 012055.
- [19] Friman, R.L. *Fiber–Optic Systems for Communications* – New York: Wiley-Interscience a John Wiley & Sons. Inc., 2012. – P. 630.
- [20] Kiesewetter, D.V. Application of the optical fibers in the system of determining the distance of jump at ski springboard / D.V. Kiesewetter, V.I. Malyugin, S.B. Makarov, K. Korotkov, D. Ming, X. Wei // *Proceedings Advances in Wireless and Optical Communications* – RTUWO. – 2017. – Vol. 7821845. – P. 5-8.
- [21] Ateya, A.A. Development of intelligent core network for tactile internet and future smart systems / A.A. Ateya, A. Muthanna, I. Gudkova, A. Abuarqoub, A. Vybornova, A. Koucheryavy // *Journal of Sensor and Actuator Networks*. – 2018. – Vol. 7(1). – P. 7.
- [22] Davydov, V. Fiber-optic super-high-frequency signal transmission system for sea-based radar station / V.V. Davydov, A.Yu. Karseev, E.K. Nepomnyashchay, A.A. Petrov, E.N. Velichko // *Lecture Notes in Computer Science*. – 2014. – Vol. 8638. – P. 694-702.
- [23] Fadeenko, V.V. New design of fiber-optic communication line for the transmission of microwave signals in the X-band / V.V. Fadeenko, V.A. Kuts, D.A. Vasiliev, V.V. Davydov // *Journal Physics: Conference Series*. – 2018. – Vol. 1135(1). – P. 012053.

## Multifunctional fiber-optic system for transmitting microwave signals in the frequency range from 0.135 to 40 GHz

G.A. Pchelkin<sup>1</sup>, V.Yu. Rud<sup>2</sup>, V.V. Davydov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Higher School of applied physics and space technologies, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Politehnicheskaya 29, Saint Petersburg, Russia, 195251

<sup>2</sup>Russian Research Institute for Phytopathology, Institut 5, Bolshie Vyazyomy, Russia, 143050

**Abstract.** The paper presents the developed design of a fiber optic system for transmitting microwave signals in radar stations. Using the developed design of a fiber-optic system for transmitting a microwave signal allows you to increase the operating frequency range of the radar at least twice and increase its functionality. A new method is proposed for constructing the design of a fiber-optic system for transmitting a microwave signal. Its use made it possible to reduce the number of functional units in a fiber-optic system compared with previously used structures to ensure the operation of the radar in this frequency range. The results of experimental studies are presented.