

# О возможности использования спектрального анализа для контроля распределения энергии электромагнитных колебаний в различных полосах частот трактов радиолокационных станций

В.И. Святкина<sup>1</sup>, В.Д. Купцов<sup>1</sup>, В.В. Давыдов<sup>1,2</sup>, В.Ю. Рудь<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Политехническая 29, Санкт-Петербург, Россия, 195251

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

**Аннотация.** В статье рассмотрены проблемы, возникающие при проведении радиомониторинга в условиях сложной электромагнитной обстановки. Особенно актуально их решение при одновременном нахождении в эфире сигналов большой мощности с перекрывающимися частотно-временными параметрами. Обоснована необходимость использования в устройствах приема сигналов системы из двух связанных контуров и спектрального анализа электромагнитных колебаний. Представлены результаты экспериментальных исследований.

## 1. Введение

В настоящее время с использованием радиолокационных станций решается большое число задач по определению координат различных целей и источников передачи информации. Одной из них является радиомониторинг. Радиомониторинг проводится в широком диапазоне частот с целью контроля функционирования радиотехнических и телекоммуникационных источников радиоизлучения (ИРИ), анализа электромагнитной обстановки (ЭМО) и обеспечения электромагнитной совместимости ИРИ [1-7]. Анализ ЭМО позволяет выявить факты несанкционированного использования наиболее ответственных участков радиодиапазона, предназначенных для управления посадкой самолетов, обеспечения спутниковой связи, работы радионавигационных устройств, дорожных радаров и др. [1, 3, 8-11] В последнее время особое значение приобретает анализ радиодиапазона с целью выявления и предотвращения попыток совершения террористических действий [2, 12, 13].

В крупных городах на территории морских портов, аэропортов и транспортных узлов, при проведении массовых мероприятий для решения задач связи и управления используется большое количество ИРИ. Средствами радиомониторинга в таких условиях должны решаться задачи обнаружения и селекции сигналов различных ИРИ с перекрывающимися частотно-временными параметрами [12-14].

Большинство гражданских и военных ИРИ, таких как различные радары [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**2, 15, 16] и системы и коммутационные устройства связи различного назначения [4, 5, 8, 17-22], используют импульсные сигналы, имеющие пачечную структуру. В сложной сигнальной обстановке (ССО) импульсы различных ИРИ неизбежно

совмещаются во времени, что может нарушить нормальное функционирование средств первичной обработки.

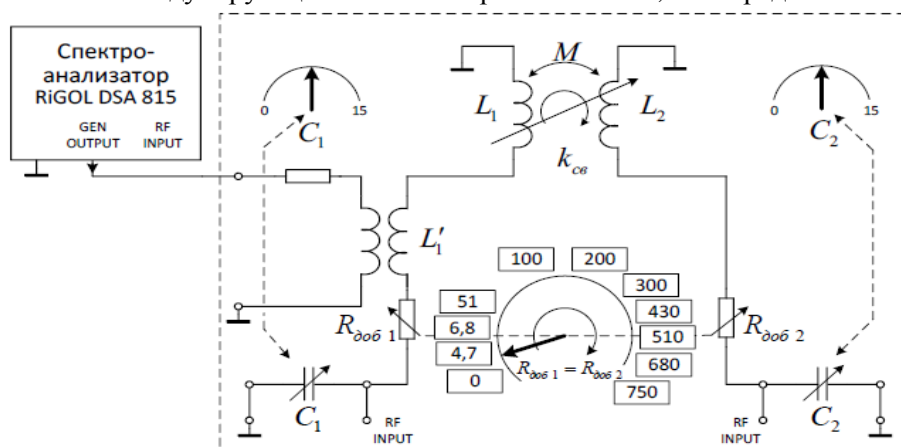
Для наиболее распространенного на сегодняшний день супергетеродинного приемника [23, 24] совмещенные по времени сигналы с близкими несущими частотами могут создавать помехи по комбинационным и интермодуляционным каналам приема. По причине нелинейности характеристик смесителей и усилителей приемника при высокой мощности сигнала образуется множество гармоник. Эти гармоники могут быть приняты за реальные сигналы, что повышает вероятность ложной тревоги и затрудняет обработку истинных сигналов.

Использование спектрального анализа сигналов может быть одним из решением данной проблемы. Оценка энергии сигналов по частотам позволит установить факт совмещения сигналов с близкими несущими частотами в каналах супергетеродинного приемника и вовремя принять необходимые меры.

## 2. Схема экспериментальной установки и методика исследований

На рис. 1 представлена структурная схема экспериментальной установки с системой двух связанных контуров с взаимной индуктивностью  $M$  для проведения исследований. Индукционная резонансная развязка двух систем с сужением полосы регистрации позволит в отличие от фильтра снизить амплитуды гармоник, расположенных на более близких частотах. И выделить полезный сигнал из общего числа помех [25, 26]. Кроме того, это снизит нагрузку усилительные элементы приемного устройства. Так как при попадании мощных сигналов в паразитные полосы пропускания фильтров происходит потеря слабых полезных сигналов. Особенно это важно при переходе от грубого пеленга в узкий диапазон мониторинга радиолокационной обстановки.

В системах радиомониторинга активно используются устройства автоматической регулировки усиления (АРУ). В данном случае имитировать работу АРУ частично можно изменяя значение добавочного сопротивления  $R_{доб}$  в экспериментальной установке. Импульсная ЭДС, возбуждающая свободные колебания, вводится в первый контур от генератора импульсов Г5- 63. В вынужденном режиме гармонический сигнал линейно нарастающей частоты подается на вход анализатора спектра. Анализатора спектра собирает информацию во временной области, а после с помощью преобразования Фурье переводит ее в частотную область. Модулирующие сигналы обрабатываются, как и радиочастотные.



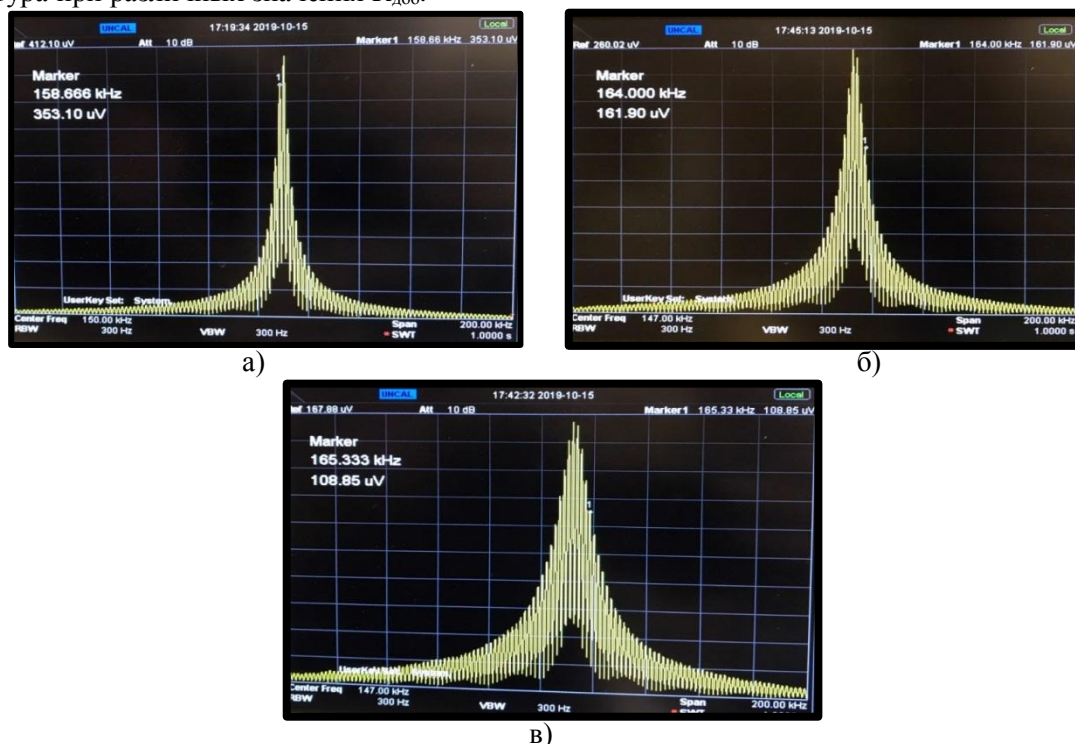
**Рисунок 1.** Схема экспериментальной установки для исследования спектров вынужденных колебаний.

Важной характеристикой при использовании данной системы является зависимость изменения коэффициента связи  $k$  между контурами от значения добавочного сопротивления  $R_{доб}$ . Для оценки возможностей применения спектрального анализа при использовании данного устройства необходимо исследовать спектральные характеристики вынужденных колебаний одиночного контура и системы связанных контуров.

### 3. Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

#### 3.1. Вынужденные колебания в одиночном колебательном контуре

На рис. 2 представлены спектры вынужденных электромагнитных колебаний одиночного контура при различных значениях  $R_{доб}$ .



**Рисунок 2.** Спектр вынужденных колебаний: а) при  $R_{доб}=0$  Ом. Значения резонансной частоты  $f$  и частот полосы пропускания  $f_1$  и  $f_2$ :  $f=160$  кГц,  $f_1=158$  кГц,  $f_2=160,33$  кГц. Полоса пропускания:  $2\Delta\omega = 4\pi\Delta f = 28 * 10^3 \frac{Pad}{c}$ ; б) при  $R_{доб}=10$  Ом. Значения резонансной частоты  $f$  и частот полосы пропускания  $f_1$  и  $f_2$ :  $f=162$  кГц,  $f_1=159$  кГц,  $f_2=163,5$  кГц. Полоса пропускания:  $2\Delta\omega = 4\pi\Delta f = 56,5 * 10^3 \frac{Pad}{c}$ ; в) при  $R_{доб}=25$  Ом. Значения резонансной частоты  $f$  и частот полосы пропускания  $f_1$  и  $f_2$ :  $f=163,7$  кГц,  $f_1=160,2$  кГц,  $f_2=165,3$  кГц. Полоса пропускания:  $2\Delta\omega = 4\pi\Delta f = 64 * 10^3 \frac{Pad}{c}$ .

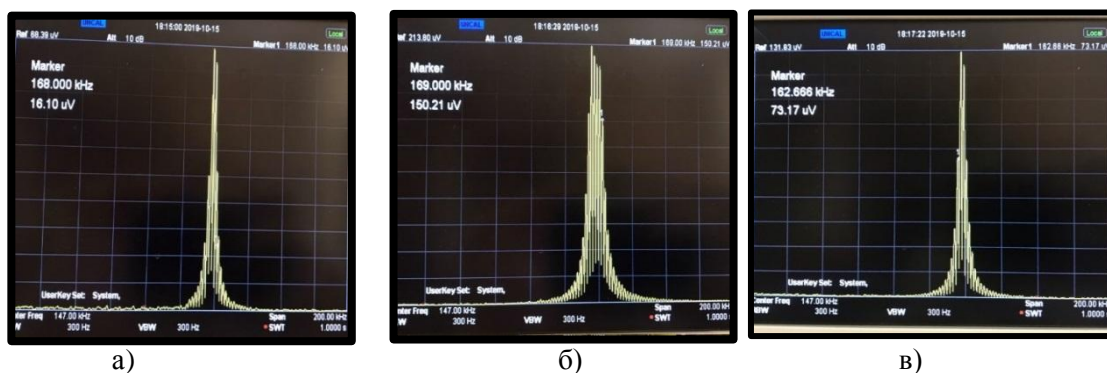
Анализ полученных результатов показывает, что полоса пропускания для одиночного контура увеличивается с ростом добавочного сопротивления, что необходимо учитывать в блоках автоматической регулировке усиления при проектировании устройств радиомониторинга.

#### 3.2. Вынужденные колебания в системе двух связанных колебательных контуров

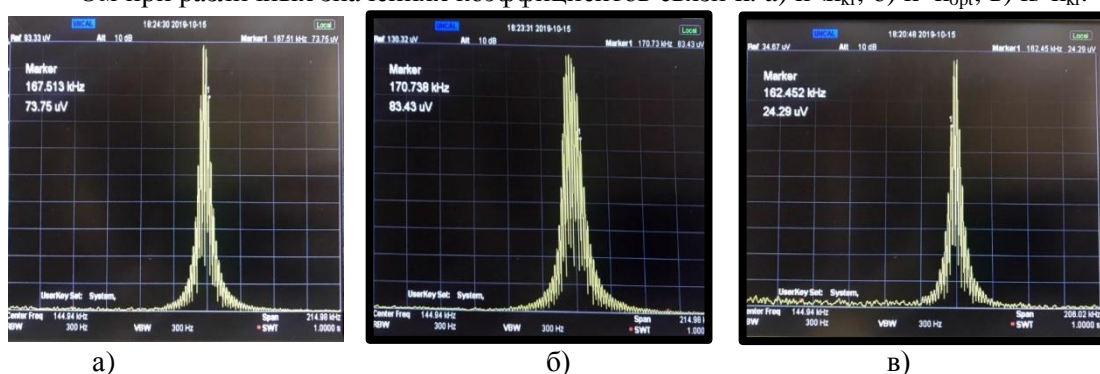
В большинстве систем обработки сигналов в устройствах радиопеленгации необходимо использовать систему из двух связанных контуров. На рис. 3-5 в качестве примера представлены спектры вынужденных электромагнитных колебаний двух связанных контуров при различных значениях  $R_{доб}$  и коэффициентов связи  $k$  (таблица 1).

**Таблица 1.** Значения коэффициентов связи при добавочном сопротивлении  $R_{доб}=0$  Ом.

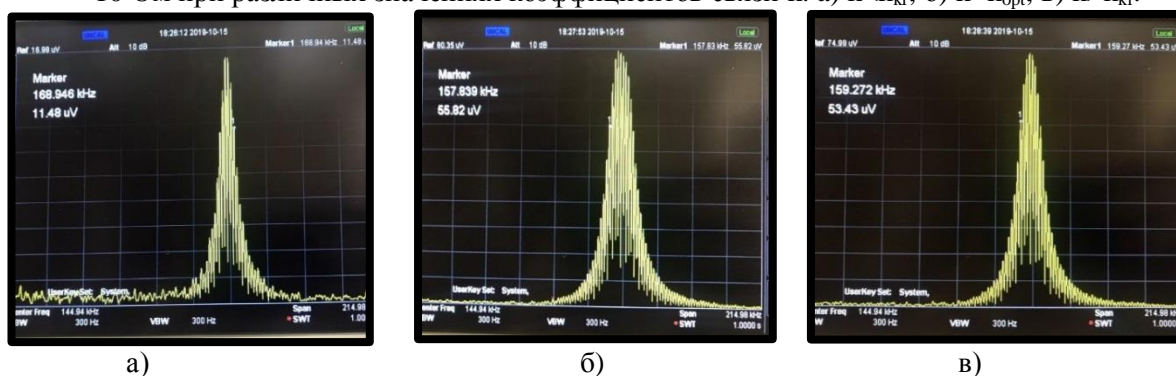
$k$	Значение	Рисунок
$k < k_{кр}$	0.008	а)
$k = k_{opt}$	0.058	б)
$k = k_{кр}$	0.024	в)



**Рисунок 3 (а, б, в).** Спектр вынужденных колебаний в системе связанных контуров при  $R_{доб}=0$  Ом при различных значениях коэффициентов связи  $k$ : а)  $k < k_{kr}$ ; б)  $k = k_{opt}$ ; в)  $k > k_{kr}$ .



**Рисунок 4 (а, б, в).** Спектр вынужденных колебаний в системе связанных контуров при  $R_{доб} = 10$  Ом при различных значениях коэффициентов связи  $k$ : а)  $k < k_{kr}$ ; б)  $k = k_{opt}$ ; в)  $k > k_{kr}$ .



**Рисунок 5 (а, б, в).** Спектр вынужденных колебаний в системе связанных контуров при  $R_{доб} = 25$  Ом при различных значениях коэффициентов связи  $k$ : а)  $k < k_{kr}$ ; б)  $k = k_{opt}$ ; в)  $k > k_{kr}$ .

Анализ полученных спектров показывает, что наибольшая полоса пропускания соответствует случаю  $k = k_{opt}$ , что необходимо учитывать при разработки системы автоматической регулировки усиления. Эту особенность необходимо учитывать при проектировании новых устройств автоматического регулирования усиления для систем радиомониторинга с системой связанных контуров. Необходимо отметить, что использование системы связанных контуров позволяет, в совокупности с другими устройствами, более надёжно решать задачи радиомониторинга.

#### 4. Заключение

Полученные результаты показывают, что, используя результаты спектрального анализа в устройствах радиомониторинга можно с высокой степенью достоверности определить наличие паразитных сигналов на частотах близких к несущей частоте в приемном канале. И в

большинстве случаев установить причину или сам источник появления данного сигнала, это особенно важно в случае умышленной постановке помехи для срыва канала связи.

## 5. Благодарности

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 19-29-06034)

## 6. Литература

- [1] Mashkov, G. A positioning accuracy experimental evaluation in SDR-based MLAT with joint processing on range measurement / G. Mashkov, E. Borisov, G. Fokin // Jakarta: ICRAMET – 2016. – P. 7-12.
- [2] Fokin, G. TDOA positioning accuracy performance evaluation for arc sensor configuration / G. Fokin, A. Kireev, A.H.A. Al-Odliari // Proceedings Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. – 2018. – Vol. 2018. – P. 1-5.
- [3] Koucheryavy, A. State of the art and research challenges for public flying ubiquitous sensor network / A. Koucheryavy, A. Vladyko, R. Kirichek // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). – 2015. – Vol. 9247. – P. 299-308.
- [4] Hoang, T. Influence of intentional electromagnetic interference on the functioning of the terrestrial segment of flying ubiquitous sensor network / T. Hoang, R. Kirichek, A. Paramonov, A. Koucheryavy // Lecture Notes in Electrical Engineering. – 2016. – Vol. 376. – P. 1249-1259.
- [5] Borodulin, R.U. The principles of antennas constructive synthesis in dissipative media / R.U. Borodulin, B.V. Sosunov, S.B. Makarov // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). – 2017. – Vol. 10531. – P. 455-465.
- [6] Petrov, A.A. Improvement frequency stability of caesium atomic clock for satellite communication system / A.A. Petrov, V.V. Davydov // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). – 2015. – Vol. 9247. – P. 739-744.
- [7] Tarasenko, M.Yu. Feature 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 (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). – 2017. – Vol. 10531. – P. 227-232.
- [8] Fokin, G. Algorithm for Positioning in Non-line-of-Sight Conditions Using Unmanned Aerial Vehicles / G. Fokin, A.H.A. Al-Odliari // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). – 2018. – Vol. 11118. – P. 496-508.
- [9] Koucheryavy, A. The mobile sensor network life-time under different spurious flows intrusion / A. Koucheryavy, I. Bogdanov, A. Paramonov // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). – 2013. – Vol. 8121. – P. 312-317.
- [10] 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 (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). – 2017. – Vol. 10531. – P. 561-568.
- [11] Koucheryavy, A. Networks interoperability / A. Koucheryavy // International Conference on Advanced Communication Technology – Phoenix Park, South Korea. – 2009. – Vol. 1(4810044). – P. 691-693.
- [12] 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 (including subseries Lecture Notes in

- Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). – 2018. – Vol. 11118. – P. 509-515.
- [13] Podstrigaev, A.S. All-purpose adjuster for microwave microstrip devices / A.S. Podstrigaev // 24<sup>th</sup> International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology. – Sevastopol: CriMiCo, 2014. – P. 896-897.
- [14] Podstrigaev, A.S. Technique for Tuning Microwave Strip Devices. Measurement Techniques / A.S. Podstrigaev, L.B. Ryazantsev, V.P. Lukashov. – 2016. – Vol. 59(5). – P. 547-550.
- [15] Ryazantsev, L.B. Assessment of Range and Radial Velocity of Objects of a Broadband Radar Station Under Conditions of Range Cell Migration / L.B. Ryazantsev, V. P. Lukashov. – 2018. – Vol. 60(11). – P. 1158-1162.
- [16] Bystrov, V.V. Experimental Check of the Coherence of Radiolocation Signals from Objects with Nonlinear Electrical Properties / V.V. Bystrov, V.P. Lukashov, L.B. Ryazantsev // Measurement Techniques. – 2014. – Vol. 57(9). – P. 1173-1076.
- [17] Davydov, V.V. Fiber-optics system for the radar station work control / V.V. Davydov, N.V. Sharova, E.V. Fedorova, V. A. Vologdin, A.Yu. Karseev // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). – 2015. – Vol. 9247. – P. 712-721.
- [18] Davydov, V.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 (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). – 2014. – Vol. 8638. – P. 694-702.
- [19] Semenov, V.V. Calculation of stationary magnetic resonance signal in optically oriented atoms induced by a sequence of radio pulses / V.V. Semenov, N.F. Nikiforov, S.V. Ermak, V.V. Davydov // Soviet journal of Communications Technology and Electronics. – 1991. – Vol. 36(4). – P. 59-63.
- [20] Kovalchukov, R. Analyzing effects of directionality and random heights in drone-based mmWave communication / R. Kovalchukov, D. Moltchanov, A. Samuylov, A. Ometov, S. Andreev, Y. Koucheryavy // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2018. – Vol. 67(10). – P. 10064-10069.
- [21] Kiesewetter, D. Application of the optical fibers in the system of determining the distance of jump at ski springboard / D. Kiesewetter, V. Malugin, S. Makarov, K. Korotkov, D. Ming, X. Wei // Proceedings Advances in Wireless and Optical Communications. – 2017. – Vol. 7821845. – P. 5-8.
- [22] Davydov, R.V. Fiber-optic transmission system for the testing of active phased antenna arrays in 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 (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). – 2017. – Vol. 10531. – P. 177-183.
- [23] Sivers, M. Indoor positioning in WiFi and NanoLOC networks / M. Sivers, G. Fokin, P. Dmitriev, A. Kireev, D. Volgushev, A.-O.A.H. Ali // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). – 2016. – Vol. 9870. – P. 465-476.
- [24] 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 of Physics: Conference Series. – 2017. – Vol. 917(8). – P. 082005.
- [25] Sivers, M. LTE positioning accuracy performance evaluation / M. Sivers, G. Fokin // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). – 2015. – Vol. 9247. – P. 393-396.
- [26] Pirmagomedov, R. Wireless nanosensor network with flying gateway / R. Pirmagomedov, M. Blinnikov, R. Kirichek, A. Koucheryavy // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). – 2018. – Vol. 11118. – P. 258-268.

## Use of spectral analysis to control the distribution of energy of electromagnetic waves at radar station tracks

V.I. Sviatkina<sup>1</sup>, V.D. Kuptsov<sup>1</sup>, V.V. Davydov<sup>1,2</sup>, V.Y. Rud<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Polytechnic str. 29, St. Petersburg, Russia, 195251

<sup>2</sup>Russian Research Institute for Phytopathology, Institut str. 5, Moscow Region, B. Vyazyomy, Russia, 143050

**Abstract.** Problems while using radio monitoring in a complex electromagnetic environment are discussed. Their solution is especially relevant when simultaneously finding signals on the air with overlapping frequency-time parameters of high power. The necessity of using a system of two connected loops and a spectral analysis of electromagnetic waves in devices for receiving signals is confirmed. The results of experimental studies are presented.