

Величину поглощения в людях, находящихся в коридоре, можно определить при помощи дополнительного множителя  $F_{\text{чел}}$

$$F_{\text{чел}} = \exp[-(2\pi/\lambda) \cdot p \cdot l], \quad (13)$$

где вспомогательный параметр

$$p = \sqrt{\frac{-\epsilon_{\text{чел}} + \sqrt{\epsilon_{\text{чел}}^2 + (60\lambda\sigma_{\text{чел}})^2}}{2}}; \quad (14)$$

$\epsilon_{\text{чел}}$  - относительная диэлектрическая проницаемость тел людей;

$\sigma_{\text{чел}}$  - удельная проводимость тел людей, См/м.

Так, зная поперечные геометрические размеры коридора, а также величину погонного ослабления полученную на основании экспериментального исследования из формулы (12) получаем выражение для «эффективной удельной проводимости»

$$\sigma_{\text{эф}} = \frac{2,512}{\lambda \cdot \alpha_{\text{эксп}}^2 \cdot b^2 \cdot [1 - (\lambda/2a)^2]} \cdot \left[ 1 + 2 \frac{b}{a} \cdot \left( \frac{\lambda}{2a} \right)^2 \right]^2, \text{ См/м}, \quad (15)$$

где  $\alpha_{\text{эксп}}$  - значение погонного ослабления в дБ/м, полученное экспериментально;

$a$  - ширина коридора, м;

$b$  - высота коридора, м.

В свою очередь, зная значение «эффективной удельной проводимости», можно рассчитать величину погонного ослабления в коридоре из выражения

$$\alpha_{\text{эксп}} = \left\{ 2,512 \cdot \left[ 1 + 2 \frac{b}{a} \cdot \left( \frac{\lambda}{2a} \right)^2 \right]^2 : \left\{ \sigma_{\text{эф}} \cdot \lambda \cdot b^2 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{\lambda}{2a} \right)^2 \right] \right\}^{1/2} \right\}^{1/2}, \text{ дБ/м}. \quad (16)$$

Умножив величину  $\alpha_{\text{эксп}}$  на значение длины коридора, можно найти величину ослабления радиоволны.

Таким образом, представленный материал может быть полезен специалистам занимающимся вопросами планирования мобильной связи и кибербезопасности.

#### Литература

[1] Pimenov YU.V., Volman V.I., Muravsov A.D. *Texnicheskaya elektrodinamika. Uchebnoe posobie dlya vuzov.* - M.: Radio i svyaz. 2000.

[2] Wolfle G. and Landstorfer F. M. *Dominant Paths*

УДК: 621.396.67.01

А. Хотамов

## ОБЪЕКТ КООРДИНАТАЛАРИНИ АНИҚЛОВЧИ РАДИОМОНИТОРИНГ ТИЗИМИНИНГ АЛГОРИТМИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ

Ушбу мақола радиомониторинг жараёнидаги қабул килувчи антенна қурилмалари мавжуд тизимларда назорат вақтини қисқартириш мақсадида “П6-23А ва LPA 2-01M” антенналарнинг гибрид комбинацияланган тизими ишлаб чиқишга бағишланган. Бунинг натижасида 80 МГц дан 12,0 ГГц гача бўлган частоталар диапазонини бир вақтнинг ўзида, вертикал ва горизонтал қублаишда, ҳамда 360 даража кенгликда ўлчаш имкониятини берадиган қурилма яратилган.

**Калит сўзлар:** радиомониторинг, индустриал радиохалақит, радиоэлектрон воситалар, юқори частотали қурилмалар, радионурланиш манбаи.

#### Қириш

Кейинги йилларда радио-сигналлар маълумотлар оқимини мавжуд йўналтирилган симсиз алоқа воситаларига мослаштиришга имкон яратувчи радиосигналларни мониторинглаш усуллари ишлаб чиқиш, радиоалоқа, локация, телебошқарув, навигация, телеметрия, симсиз алоқа технологиялар, рақамли

for the Field Strength Prediction. // International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PHMRC), Sept., 1994.- PP. 486-490.

#### Сведения об авторах:

##### Назаров Абдулазиз Муминович

д.т.н., Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Кафедра «Радиотехнический устройства и систем», профессор  
 телефон: +998 90 999 20 29

e-mail: [Nazarov57@mail.ru](mailto:Nazarov57@mail.ru)

##### Абдукадыров Алишер Хабибуллаевич

к.т.н., Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, Кафедра «Технологии мобильной связи», Доцент.

телефон: +998 90 998 38 40

e-mail: [alimot@mail.ru](mailto:alimot@mail.ru)

##### Ликонцев Алексей Николаевич

к.т.н., Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций. Кафедра радиосистем и обработки сигналов. Доцент.

телефон: +79119218191.

e-mail: [Likontsev-rts@mail.ru](mailto:Likontsev-rts@mail.ru)

##### Мадаминов Хайдар Худаярович

Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, Кафедра «Технологии мобильной связи», старший преподаватель.

Сотовый телефон: +998 94 6855151

e-mail: [h.madaminov1978@gmail.com](mailto:h.madaminov1978@gmail.com)

A.M. Nazarov, A.Kh. Abdukadirov, Kh.H.

Madaminov, A.N. Likontsev

#### The weakening of the field in the corridors of the building using a model of a rectangular waveguide

Based on the external similarity between a rectangular waveguide and a building corridor, based on the waveguide theory, expressions are obtained for calculating the attenuation of the electromagnetic field in the corridor, necessary for predicting the levels of the mobile communication field and cybersecurity inside buildings.

**Keywords:** electromagnetic field strength, analog of a corridor in the form of a rectangular waveguide, field weakening in a corridor

В.В.Василевский ва бошқалар машхурдирлар. Бундан ташқари, S.L.Findholt, E.C. White, R. Gonsales, R. Woods (АҚШ), K. Blatter (Германия), S. Winkler (Голандия), K. Talukder (Индия), В.В.Поповский, А.В.Коляденко (Украина), K. Lees (Франция), M. Adler (Великобритания), J.Okumura, E.Ohmori, M.Hata (Япония) ва бошқаларнинг ишларида кўриб чиқилган[5].

Жаҳоннинг бир қатор мамлакатларда, жумладан Германия, Япония, АҚШ, Буюк Британия, Франция, Италия, Белгия, Испания, Швеция, Хитой, ва Россияда радиомониторингнинг комплекс тизимида объектларни таниб олиш ва аниқлаш усуллари, технология ва техник воситаларини ишлаб чиқишга катта эътибор қаратилмоқда[3].

Ўзбекистонда, Т.Д.Раджабов, Д.А.Абдуллаев, Ю.С. Сағдуллаев, Т.Г. Рахимов, Г.Ф.Габзалилов, Д.Н.Ликинцов, В.А.Губенко, А.А.Халиков, А.А.Абдулазизов, Ш.З. Таджибаев ва А.А.Нигманов, Ш.Пулатов, Б.Н.Рахимовлар ва уларнинг шогирдлари радиомониторинг спектрал характеристикалари объектларини таниб олиш ва аниқлашнинг математик моделлари, алгоритмлари ва қурилмаларини ишлаб чиқишга катта ҳисса қўшганлар[7].

Ҳозирги кунда ҳам, вертикал ва горизонтал йўналишдаги ноқонуний ва рухсат этилган частота диапазонларида тарқалётган радиосигналларни аниқлаш ва топилган реал вақтда мониторинглаш, индустирал радиоҳалакитларни аниқлаш қайта ишлаш усуллари ва қурилмаларини ишлаб чиқишга бағишланган илмий изланишлар ўрганилмоқда.

#### Асосий қисм

Илмий тадқиқот ишида асосан радиоэлектрон воситалар ва юқори частотали қурилмалар радионурланиш манбаи йўналишини ҳамда жойлашган ўрнини аниқлашдан иборат бўлганлиги учун асосан иккита ҳар хил частота диапазонида ишловчи антенналар танланган.

80 МГц дан 1000 МГц гача диапазон частотада (қабул қилиш учун сигналларни) ўлчов ишларни олиб борувчи ЛПА-2-01М турдаги логопериодик антенна ҳамда 1 ГГц дан 12 ГГц гача диапазон частотада (қабул қилиш учун сигналларни) ўлчов ишларни олиб борувчи П6-23А турдаги рупор антенналар қўлланилган [8].

Антенналардан қабул қилинаётган сигналлар қўшилиш тугуни (узел суммирование)да бириктирилади ва қўшувчи блокга узатилади. Ушбу блокда ҳар иккала антеннадан келаётган сигналлар 80 МГцдан 12000 МГц гача бўлган ҳолатда қарор қабул қилиш(блок решение) учун бошқарув блокига юборилади.

Ушбу блокда 41Вт, 27В, 3,5А қувватга эга бўлган Д-38Т двигатели ёрдамида, радиооператор автоматик равишда, механик кучини ва вақтини сарфламай, антенналарнинг горизонтал ёки вертикал ўрналишига қодир механик тизим ҳам ёрдамчи конструктор сифатида антенна қурилмаларини вертикал ёки горизонтал кутбланиш ҳолатига ўтказиш учун қарор қабул қилинади. Қарор қабул қилишнинг яна бир мақсади антенналарни  $\varphi=3600$  кенликда антеннанинг йўналиш бурчагини бошқариш учун ДКВ-3 СС-405 двигатели қўлланилган (1-расм).

Шунинг учун радиоэлектрон воситалар ёки юқори частотали қурилмаларнинг радионурланиш манбаи йўналишини ва ўрнини аниқлашда қарор қабул қилиш қурилмасининг антенналарнинг вертикал ёки горизонтал кутбланиши ҳамда 3600 даража кенликда антеннанинг йўналиш бурчагини бошқарув блоки ҳал қилади.

Бошқарув блоки ўз ишини охирига етказгач, ўлчов қурилмасига сигнал юборилади. Сигнални аниқлаб топилгач, агарда электр манбаи стабил бўлганса, стационар УМС-100 ўлчов асбобидан, агарда электр манбаи ўчган ёки захира электр манбаи ҳам ишламай турган бўлган ҳолатда, мобил PR-100 ўлчов қурилмалари орқали сигнал сатҳи ва кучланиш майдони ўлчанади.

УМС 100 стационар ўлчов асбоби ёрдамида ёки PR-100 мобил ўлчов асбоби ёрдамида қабул қилинган 80 МГц дан 12 ГГц гача диапазон частотада сигналларни сатҳи дБмкВ/м бирликда ўлчов ишларни олиб борилади.

2-расмда Бошқарув блокнинг ишлаш алгоритми чизмаси келтирилган. Сигнал йўналиши диаграммасини аниқлар учун ҳар иккала антенна қурилмаси вертикал ёки горизонтал кутбланиш орқали аниқланади.

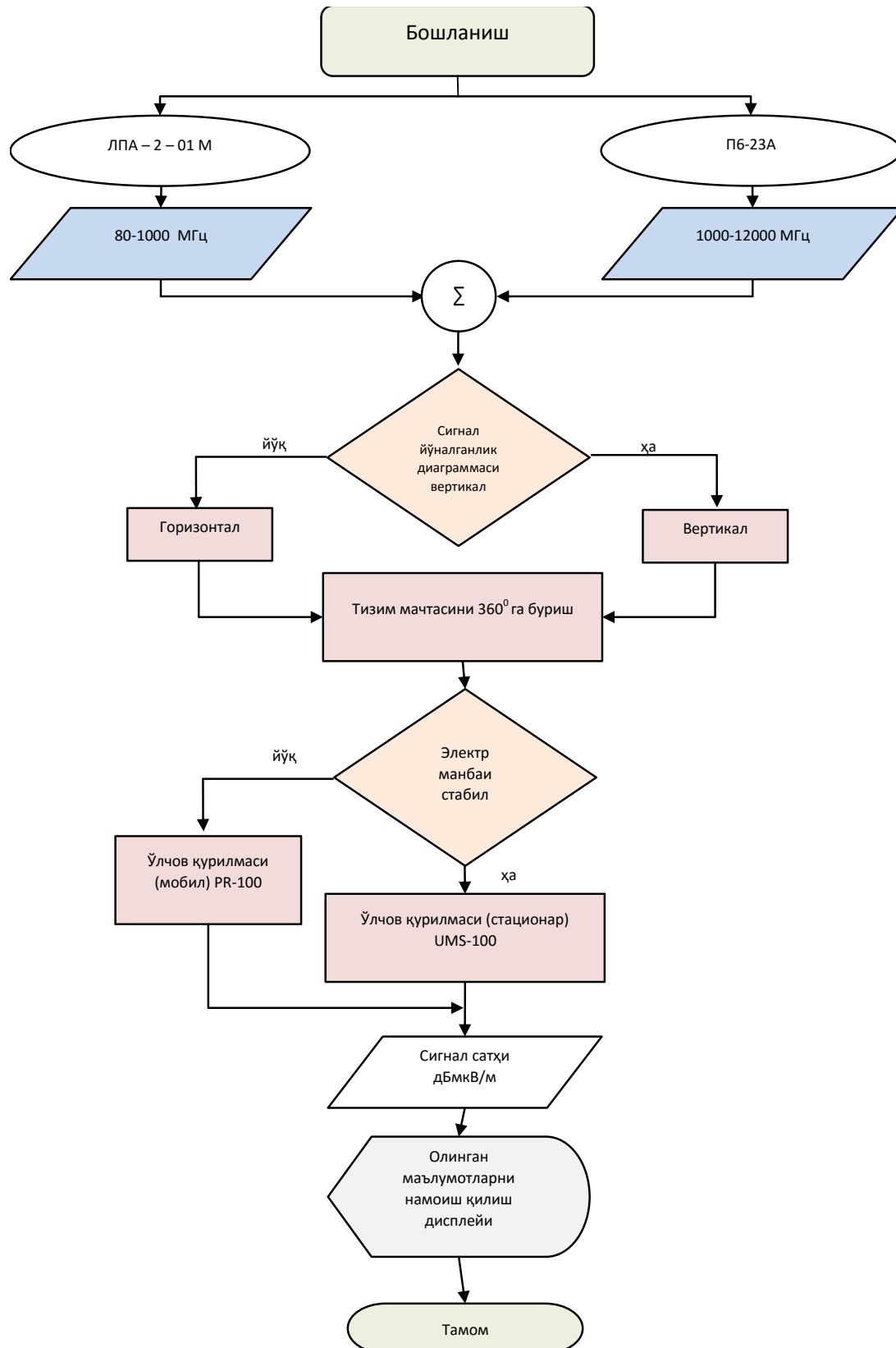
Бунинг учун қарор қабул қилиш алгоритми керакли кутбланиш (вертикал ёки горизонтал)ни танлаб олади. Агарда танлаб олинган кутбланишда сигнал аниқланмаса, тизим мачтасини 3600 га айлантнувчи механизм ёрдамида керакли сигнал аниқлангунга қадар антенналар ўнгга ёки чапга бурилади. Агарда ДКВ-3 СС-405 двигател қурилмаси ёрдамида тизим мачтаси 3600га айлантнувчи қадар сигнал ҳар иккала антеннада ҳам аниқланмаса, у ҳолатда қарор қабул қилиш алгоритми бошланғич нуқтага хабар бериб, кутбланишни ўзгартиришга ишора қилади. Ушбу ҳолатда Д-38Т двигатели ёрдамида кутбланиш (вертикал ёки горизонтал) ҳолати ўзгартирилади.

2-расмда Бошқарув блокнинг ишлаш алгоритми чизмаси келтирилган. Сигнал йўналиши диаграммасини аниқлар учун ҳар иккала антенна қурилмаси вертикал ёки горизонтал кутбланиш орқали аниқланади.

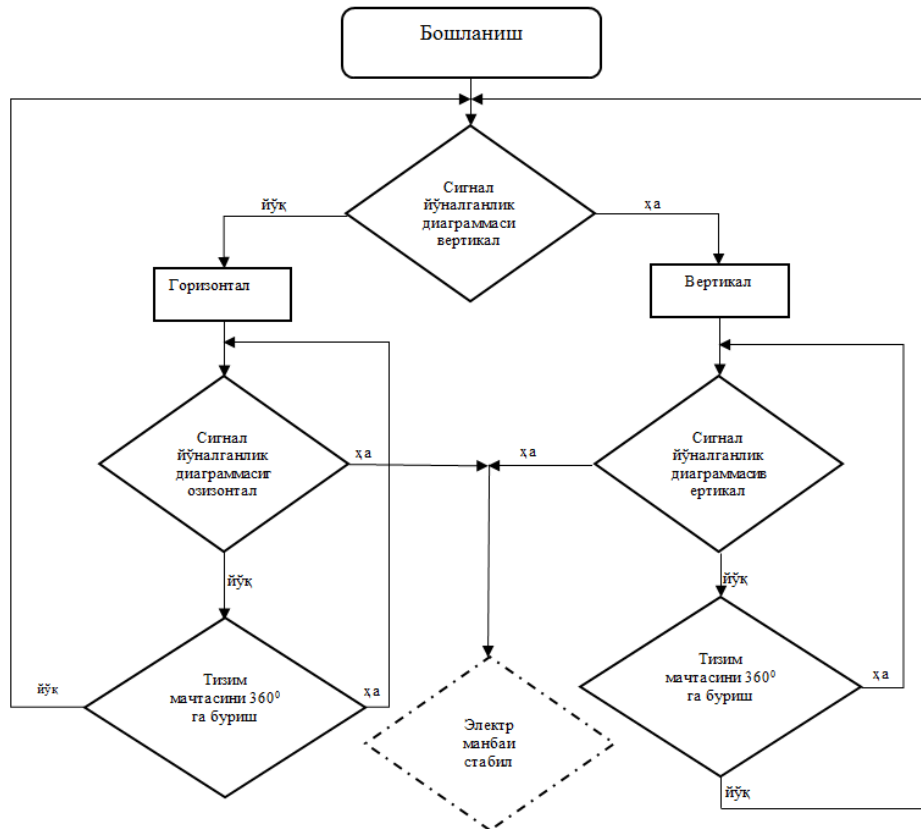
Бунинг учун қарор қабул қилиш алгоритми керакли кутбланиш (вертикал ёки горизонтал)ни танлаб олади. Агарда танлаб олинган кутбланишда сигнал аниқланмаса, тизим мачтасини 3600 га айлантнувчи механизм ёрдамида керакли сигнал аниқлангунга қадар антенналар ўнгга ёки чапга бурилади. Агарда ДКВ-3 СС-405 двигател қурилмаси ёрдамида тизим мачтаси 3600га айлантнувчи қадар сигнал ҳар иккала антеннада ҳам аниқланмаса, у ҳолатда қарор қабул қилиш алгоритми бошланғич нуқтага хабар бериб, кутбланишни ўзгартиришга ишора қилади. Ушбу ҳолатда Д-38Т двигатели ёрдамида кутбланиш (вертикал ёки горизонтал) ҳолати ўзгартирилади.

Амалиётда ўлчов комплекс (рупорли ва логопериодик) антеннани майдоннинг кучланиш даражасини ўлчашда қўллаётиб, параметрларда сезиларли фарқни аниқланди. Булар асосан FM радио, рақамли телевидение ва мобил алоқа спектрограммаларини ўлчашда уларнинг фарқлари аниқ ва равшан тасвирланганлигини кўришимиз мумкин.

Ишлаб чиқилган комплекс ўлчов (рупор ва логопериодик) антенналарни амалда қўллаб, майдон кучланганликлари параметрлари ўлчанганлигида, штатали антенналар билан ораликда бир қанча фарқ борлиги аниқланди.



1- расм. Қурилманинг ишлаш алгоритми



2- расм. Бошқарув блокининг ишлаш алгоритми

1 жадвалда Германиянинг Rohde&Schwarz компанияси штатли антенналар ёрдамида олинган ўлчов натижалари томонидан ишлаб чиқилган UMS100 ўлчов асбоби келтирилган. таркибига кирувчи ишлаб чиқилган антеннали тизим ва

1- жадвал

**Электр майдонининг кучланганлиги ўлчови натижалари**

№	Частота, МГц (тизимнинг турлари)	Ишлаб чиқилган антеннали тизим ёрдамида ўлчанган кучланиш майдонининг сатҳи (дБмкВ/м)	Штатли антенналар ёрдамида ўлчанган кучланиш майдонининг сатҳи (дБмкВ/м)	Фарқи % да
		Вертикал/горизонтал ҳолатда горизонталли	Вертикал/горизонтал ҳолатда	
1.	100,5 (радиостанция FM)	87,0	80,0	8.8
2.	101,0 (радиостанция FM)	95,2	84,1	13.1
3.	554 (стандартнинг телеузатгич DVB, 31ТВК)	78,4	70,0	14.7
4.	569 (стандартнинг телехабари DVB, 33ТВК)	79,1/74,0	74,0/68,3	12.3
5.	465,850 (стандартнинг мобил алоқаси CDMA450)	95,5	90,5	3.7
6.	872,500 (стандартнинг мобил алоқаси LTE800)	99,8	85,4	6.9
7.	886,5 (стандартнинг мобил алоқаси GSM900)	103,7	91,7	11.6
8.	946 (стандартнинг мобил алоқаси GSM900)	101,7	88,4	10.3
9.	1877,4 LTE (стандартнинг мобил алоқаси GSM1800)	101,3	75,0	35,1

Ўлчов натижалари таҳлили шуни кўрсатадики, ишлаб чиқилган антенналар тизими ва штатли антенналар ёрдамида олинган таҳлиллар фарқи 5 дБмкВ/м дан 26 дБмкВ/м ни, ёки 8.8% дан 35,1% гачани ташкил қилади.

Масалан:

-465,850 МГц частотадаги фарқ 5 дБмкВ/м ёки 3.7% ни ташкил қилади;

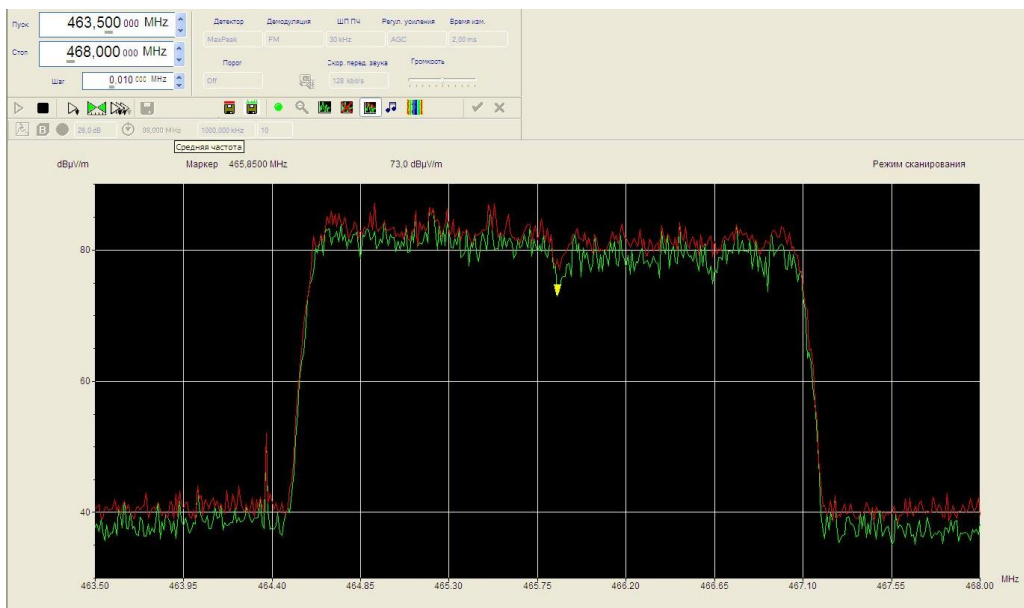
-100,5 МГц частотадаги фарқ 7 дБмкВ/м ни ёки 8.8% ни ташкил қилади;

-886,500 МГц частотадаги фарқ 12.0 дБмкВ/м ни ёки

11.6% ни ташкил қилади.

Олиб борилган ўлчов натижалари бўйича энди, спектрограммада аниқ кўрсатамиз.

460-470 МГц диапазондаги ишчи частотада, CDMA 450 стандартидаги рақамли уяли алоқа каналларнинг кодли бўлиниши орқали тарқатиш сигналлари ўлчовида, ўлчов ишлари UMS 100 приёмнигида амалга оширилди. Ораликдаги фарқ 8,3 дБмкВ/м ни ташкил қилди.



3-расм. Штатли антенна спектрограммаси



4-расм. Комплекс антенна спектрограммаси

### Хулоса

Радиомониторингнинг комплексли тизими реал вақтда ўлчайётган иккита ўлчовли антенна асосида яратилган горизонтал ва вертикал қутбланиш билан антеннали комплексни ифодалайди. Биринчи антеннали мослама 80-1300 МГц диапазонни, иккинчи антеннали мослама 1000-12000 МГц диапазонни, жумладан 80 дан 12000 МГц гача бўлган радио частотали спектр ўлчовини амалга оширади. Таклиф қилинган усуллар ва алгоритмлар радио сигналларни таниш ва аниқлаш тезлигини оширишга ва ўтказиш радио частотали полосани бошқаришга ёрдам беради.

### Адабиётлар

1. Rembovskiy A. M Radiomonitoring: zadachi, metodi, sredstva. / Rembovskiy A. M, Ashixmin A. V., Kozьmin V. A. Uchebnik dlya vuzov pod red. A. M. Rembovskogo. - "Goryachaya Liniya Telekom", 2010g, 624 str.

2. Dyatlov A.P., Kul'bikayai B.x. Rabochie modeli elektromagnitnoy obstanovki pri provedenii radiomonitoringa. Rostov-na-Donu: Vestnik RGUPS, № 1, 1999, c. 119-124.

3. Rembovskiy A.M., Ashixmin A.V., Kozьmin V.A. Radiomonitoring: zadachi, metodi, sredstva. - 4-e izd., ispr. - M.: Goryachaya liniya - Telekom, 2015. — 640 s.

4. Kiselev D.N., Perfilov O.Yu. Radiomonitoring i raspoznavanie radioizlucheniyy. Uchebnoe posobie dlya vuzov. - M.: Goryachaya liniya - Telekom, 2015. — 90 c.

5. Dyatlov A.P., Kul'bikayai B.x., Kul'bikayai x.Sh. Sistematisatsiya zadach radiomonitoringa v setyax radiosvyazi na jeleznodorojnom transporte". Severo-Kavkazskiy region. Texnicheskie nauki.- Rostov-na-Donu, № 2, 2000, c. 39-42.

6. Aleksandr A., Vladimir K., Anatoliy R. Radiomonitoring. Zadachi, metodi, sredstva//Goryachaya Liniya - Telekom, 2010, s. 624

7. Xotamov A., Rahimov B.N., Gubenko V.A., Berdiyev A.A. Antenna system for monitoring radiofrequency spectrum// East European Scientific Journal, №9, 2018. C. 13-

17, (№1) ResearchBib, (№14) Global Impact Factor, F=0,572

8. Xatamov A., Axmedova G.N. Texnik tarqiyot yoki elektromagnit moslashuv muammolari//Nauchno-prakticheskiy i informatsionno-analiticheskiy jurnal «Muxammad al-xorazmiy avlodlari».-Toshkent, 2017, № 1(1), C. 52-54. (05.00.00, №10)

#### Хатамов Абдугофур

Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги ТАТУ Самарқанд филиали катта ўқитувчиси, мустақил изланувчи  
Тел.: +99891 520-40-70

#### Xatamov A.A

### DEVELOPMENT OF THE ALGORITHM OF THE RADIOMONITORING SYSTEM DETERMINING THE

#### OBJECT COORDINATES

This article is devoted to the development of combined hybrid antenna systems “P6-23A and LPA 2-01M” with the aim of reducing monitoring time in radio monitoring systems. As the result of the research were created radio monitoring device that allows measurements to be carried out simultaneously in the frequency range from 80 MHz to 12.0 GHz with horizontal and vertical polarization as well as at a latitude of 360 degrees.

**Keywords:** radio monitoring, industrial interference, radio-electronic devices, high-frequency devices, radio emission source.

Хатамов Абдугофур +99891 520-40-70

УДК 621.376

Yusupov Ya.T, Jabborov A.B, Mamajonov J.I.

### RAQAMLI SIGNALLARNI UZATISH TIZIMLARINING SAMARADORLIGI TADQIQOTI

Ushbu maqolada raqamli signallarni uzatish tizimlarining samaradorligi tadqiqoti tahlil qilingan. Raqamli aloqa tizimlarida foydalaniladigan turli signallarning spektral va energetik samaradorligi masalalari yoritilgan. Chastotalar spektridan foydalanish samaradorligini hamda raqamli signal energetik samaradorligini baholash ko'rib chiqilgan. Tahlillar asosida u yoki bu ko'rsatkichlarga ega signallardan foydalanish afzalligi to'g'risida xulosalar keltirilgan.

**Tayanch iboralar:** signal, energiya, modulyatsiya, spektr, spektral samaradorlik, chastotalar polosasi, energetik samaradorlik, potensial samaradorlik, axborot uzatish tezligi.

#### Kirish

Raqamli aloqa tizimi spektridan, ya'ni chastotalar polosasidan foydalanish samaradorligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\gamma = R_b / \Delta F_{ak}, \quad (1)$$

bunda,  $R_b$  – axborot uzatish tezligi, bit/s;  $\Delta F_{ak}$  – aloqa kanalining signal o'tkazish chastotalari polosasi.

Spektral samaradorlik aloqa kanalining 1 Hz polosasi orqali sekundiga o'tkazilishi mumkin bo'lgan bitlar soni, ya'ni bit/sek bilan o'lchanadi (baholanadi).

Real sharoitlarda aloqa kanali uchun ajratilgan chastotalar polosasi  $\Delta F_{ak}$  dan turli sabablarga ko'ra to'liq foydalanilmaydi, shuning uchun texnik ko'rsatkichlari bo'yicha yuqori ko'rsatkichlarga ega bo'lgan aloqa tizimi ushbu chastotalar polosasidan (spektridan) foydalanish ko'rsatkichi bo'yicha talab darajasida samarali bo'lmaydi. Bundan tashqari aloqa tizimida spektrdan samarali foydalanish mezoniga aniqlik kiritish uchun Naykvist mezoni asosida aniqlanadigan polosa  $\Delta F_N$  va spektr o'rovchisi shaklini baholovchi koeffitsiyent  $\alpha$  ni e'tiborga olish kerak, chunki  $\alpha$  koeffitsiyenti amalda foydalaniladigan chastotalar polosasi (signal spektri)  $\Delta F_F$  Naykvist mezoni asosida talab etiladigan polosa  $\Delta F_N$  dan qanchalik kengligini bildiradi [1]:

$$\Delta F_F = \Delta F_N (1 + \alpha). \quad (2)$$

Xuddi shuningdek raqamli aloqa tizimlarida foydalaniladigan modulyatsiya turlari uchun real (haqiqiy) spektral samaradorlik  $\eta$  quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\eta = \frac{R_b}{\Delta F_F} = \frac{R_b}{\Delta F_N (1 + \alpha)}. \quad (3)$$

Faqat yagona ideal holatda, aloqa kanaliga ajratilgan chastotalar polosasidan to'liq foydalanilganda samaradorlik ko'rsatkichlari  $\eta$  va  $\gamma$  qiymatlari bir-biriga mos keladi, ya'ni  $\eta = \gamma$  bo'ladi.

Shuningdek har bir foydalaniladigan modulyatsiya usulining  $\Delta F_{ak} = \Delta F_F$  va  $\alpha = 0$  qiymatlariga mos keluvchi spektrdan samarali foydalanish eng yuqori – potensial mezonini kiritish ham maqsadga muvofiq hisoblanadi. Chastotalar spektridan foydalanish potensial samaradorligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\gamma_0 = \frac{R_b}{\Delta F_N}. \quad (4)$$

Ushbu (4) ifodadan

$$\eta = \frac{\gamma_0}{(1 + \alpha)} \text{ yoki } \gamma_0 = \eta(1 + \alpha) \quad (5)$$

ekanligini bilib olamiz.

#### Asosiy qism

#### Chastotalar spektridan foydalanish samaradorligini baholash

Bizga ma'lumki, ko'p holat (pozitsiya)li raqamli modulyatsiya turidan foydalanilganda axborot uzatish tezligi quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$R_b = \log_2(M) \cdot R_s, \quad (6)$$

bunda,  $M$  – raqamli modulyatsiya natijasida shakllantiriladigan signallardagi elementar simvollar soni;  $R_s$  – raqamli signal oqimi simvollarining uzatish tezligi.

Naykvist mezoni asosida ajratilgan chastotalar polosasi orqali signallar uzatish eng yuqori (maksimal) tezligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$R_s = \Delta F_{ak} (1 + \alpha). \quad (7)$$

Natijada,  $\Delta F_{ak} = \Delta F_F$  bo'lgandagi chastotalar polosasidan foydalanish samaradorligi

$$\eta = \log_2(M) / (1 + \alpha) \quad (8)$$

ga teng bo'ladi.

(8) bog'liqlikdan ko'rinadiki, spektral samaradorlikni oshirish uchun, modulyatsiya karrali soni  $\log_2(M)$  ni