

Б.Р.Накисбекова¹, П.В.Бойкачев², А.А. Ержан¹, А.О.Омарбекова¹

¹Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

²Беларусь Республикасының Әскери академиясы" білім беру мекемесі, Минск, Беларусь
E-mail: balausa84-84@mail.ru

5G ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ ҮШІН ЖАҢА КОМПОЗИТЦИЯЛЫҚ МАТЕРИАЛДЫ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, ШАҒЫН ГАБАРИТТІ РАМАЛЫҚ АНТЕННАНЫҢ КЕЛІСУІ

Аңдатпа. Екінші, үшінші және төртінші буын жүйелерінде жұмыс істеу мүмкіндігін қоспағанда, қазіргі заманғы бесінші буын байланыс жүйелері үшін стронций гексафериті SrFe₁₂O₁₉ ұштастыра отырып, фторланған этилен-пропилен негізіндегі материалда іске асырылған мобильді антеннаны қолдану мүмкіндігі көрсетілген. 5G технологияларында антенна құрылғыларын іске асыруда композиттік материалдарды қолданудың артықшылықтары көрсетілген. Ұсынылған антеннада мобильді құрылғыны пайдаланудың табиғи жағдайларының кең ауқымында жұмыс істеген кезде оны бұзатын әсерлер жағдайында қабылдау-беру модулімен кең жолақты келісу жүргізілді.

Түйінді сөздер. Гексаферит, антенна құрылғысы, келісілген құрылғы, 5G технологиясы, кең жолақты құрылғылар.

Кіріспе.

Ұялы байланыс қазіргі заманның ең табысты инновациялық технологияларының біріне айналды. Бүгінгі таңда мобильді трафик интеллектуалды телефондардың және ноутбуктер, нетбуктар т.б. сияқты басқа мобильді деректер құрылғыларының танымалдылығының артуына байланысты бұрын-соңды болмағандай өсуде. Радиоинтерфейстің өткізу қабілетін артыруда және жаңа жиілік диапазондарын бөлуде экспоненциалды өсу маңызды рөл атқарады. Сонымен, қазіргі заманғы үшінші, төртінші және бесінші буын жүйелерінде (3G, 4G және 5G) ақпараттың көбірек берілуін қамтамасыз ету үшін кең жолақты сигналдар (КЖС) қолданылады. Бұл сигналдардың артықшылықтарына мыналар жатады: радиотолқындардың көп жолақты таралуы жағдайында ақпараттың қатесіз берілуі және жалпы жиілік диапазонын алатын КЖС ансамбілін алу мүмкіндігі. Бірақ жоғары жиіліктерде және толқын ұзындығының кең диапазонында жұмыс істегендіктен, КЖС әлсіреуі артады. Бұл радиотехникалық құрылғының кеңістігінде және радио толқындарының таралуы кезінде әлсіреуіне байланысты.

Материалдар мен тәсілдер.

Бұл жұмыстың мақсаты қабылдау-беру модулі (ҚБМ) мен әртүрлі материалдарды пайдалана отырып және кең жолақты келісу құрылғыларын қолдана отырып іске асырылған антенна арасындағы радиотехникалық құрылғылардың трактілерінде КЖС қуатын берудің жоғары деңгейін қамтамасыз ету мүмкіндігін бағалау болып табылады, оны табиғи пайдалану жағдайында кең ауқымында кеңістікке зондтауға дейін. Жұмыс мақсаттарына жету үшін микротолқынды қасиеттері бар материалдарды (диэлектрлік (ϵ) және магниттік өткізгіштігі (μ)) қолдану мүмкіндігін бағалау ұсынылады, олардың

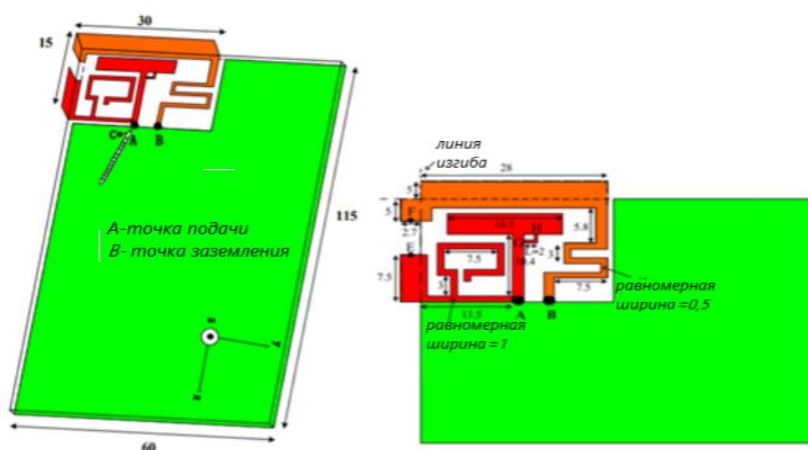
вариациялары толқындық кедергі мен микрожолақты сызықтың геометриялық өлшемдерін өзгертеді, бұл мобильді құрылғының қажетті электромагниттік сипаттамаларын қамтамасыз ету мүмкіндіктерін кеңейтеді. Huawei және Ericsson компаниялары микротолқынды диэлектрлік керамикалық материалдарды жақсырақ пайдаланады, ал ZTE (Zhongxing Telecom Equipment) және Nokia әлі де миниатюралық металл қуыс сүзгілерді артық көреді [1]. Мәселенің бұл тұжырымында субстраттың композициялық материалының өзгеруінің жұмыс жиілігі диапазонындағы мобильді антеннаның қуат беру коэффициентінің (ҚБК) сипаттамасына әсерін бағалау қызықты, ол түсінікті болу үшін тұрақты толқын коэффициентінің (ТТК) жиілікке тәуелділігімен сипатталуы мүмкін. ҚБМ-ден антеннаға олардың нақты жұмыс жағдайында (мобильді құрылғының корпусында, қолында, телефонды пайдаланушының басына тақаған кезде) қуатты беруді бағалау ұсынылады.

Нәтижелер мен талқылау.

Мобильді антеннаны модельдеу.

Мысал ретінде біз 1- суретте көрсетілген шағын өлшемді планарлы рамалық антенна моделін [2] зерттейміз. Қарастырылып отырған антенна А қуат нүктесінде 50 Ом кедергісі бар микрокоаксиалды сызық арқылы қосылады (1-сурет), ал соңында (В нүктесі (1-сурет)) муфтаның қысқа иілу жолағы субстраттағы тесік арқылы жерге тұйықтау тақтасына тікелей қосылады.

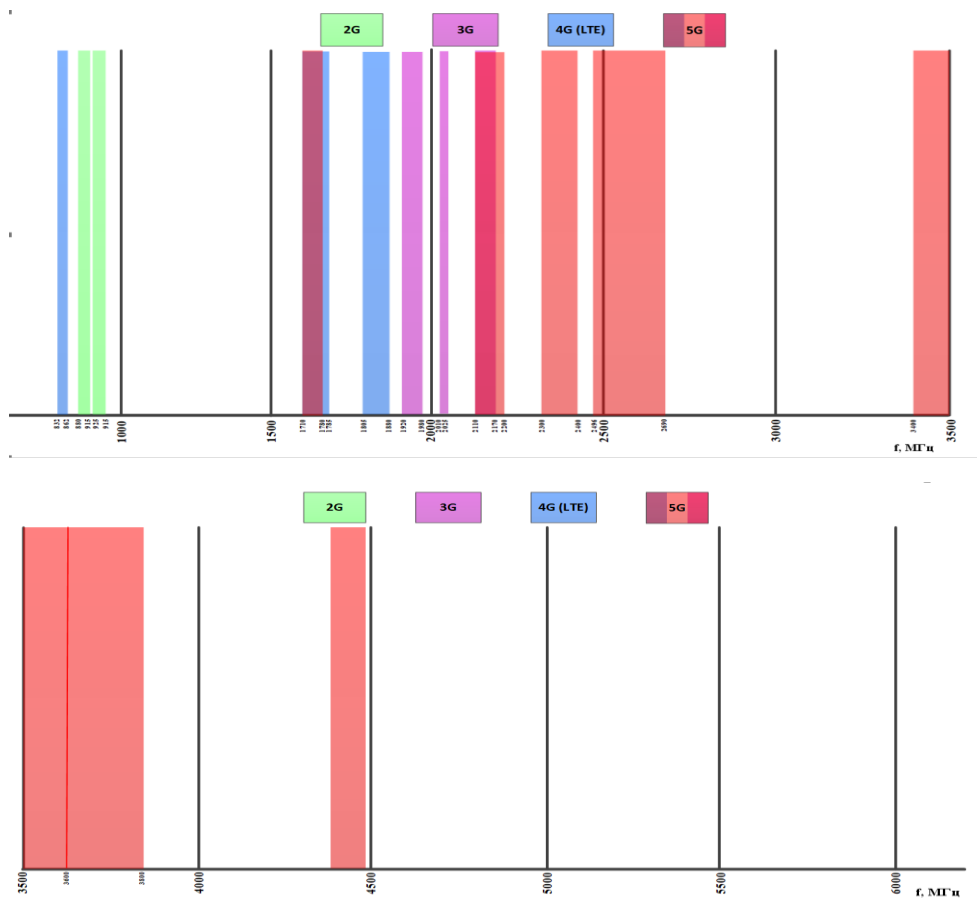
Нақты жағдайларда ҚБМ және антеннаның тиімділігін тексеру үшін үш өлшемді электромагниттік жүйелерді жобалауға, модельдеуге және оңтайландыруға арналған CST STUDIO SUITE 2020 модельдеу ортасында осы мобильді антенна құрылғысының моделін енгізу ұсынылады. Оны әлемдегі ең озық технологиялық және инжинирингтік компаниялар пайдаланады. Бағдарлама цифрлық сигналдарды өңдеуде, бағдарламаланатын логикалық интегралды схемалар мен жалпы байланыс жүйелерін модельдеу, радиолокациялық модельдерді жобалау және т.б. мәселелерін шешуге мүмкіндік береді [3].



1 сурет - Ұялы телефондағы WWAN / LTE диапазонында жұмыс істеуге арналған шағын өлшемді планарлы антеннаның түрі

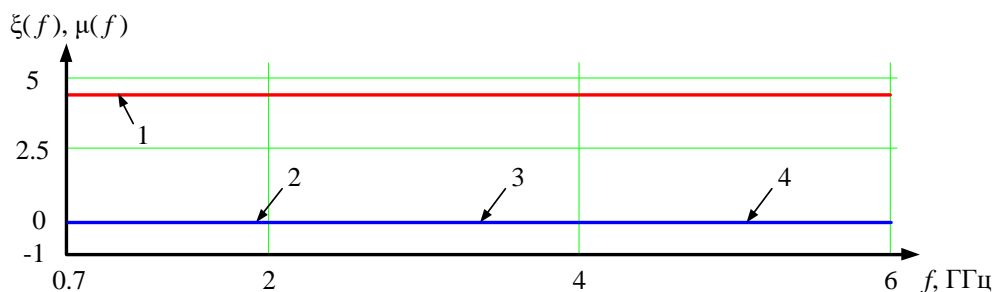
Ұсынылған мобильді антенна WWAN/LTE (830-960 МГц, 1710 – 2690 МГц) жиілік диапазонында жұмыс істеуге арналған. 2 - суретте көрсетілген кең жиілік диапазоны үшін осы антеннаны қолдану мүмкіндігін қарастырамыз. Бұл антеннаны екінші, үшінші және төртінші буын жүйелерінде жұмыс істеу мүмкіндігін қоспағанда, қазіргі заманғы бесінші буын жүйелері үшін қолдану мүмкіндігін бағалау қызықты. Осы антеннаны 5G қолданатын жүйелерде қолдану аясында біз орташа жиілік диапазонын (Middle)

зерттеумен шектелеміз. Бұл диапазон 5G жоғарғы және төменгі диапазондары арасында келеді және көбінесе мобильді құрылғыларда қолданылады.



2 сурет - Ұялы және басқа операторлар қолданатын жиілік диапазондары

Зерттелетін антеннада диэлектрлік негіз ретінде [2] 3 – суретте көрсетілген жиіліктен диэлектрлік өткізгіштік сипаттамалары бар FR (FR-Flame Retardant)-4 (бұдан әрі FR-4) базалық материалы қолданылады. Бұл отқа төзімді материал, ол шыны талшықты күшейту құрамдас компонент ретінде эпоксидті шайыр негізіндегі полимерлі жүйе болып қолданылады.



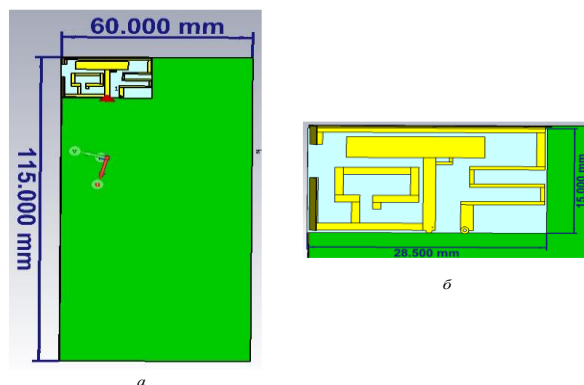
1 – нақты бөлігі; 2 – жорамал бөлігі.

3 сурет - FR-4 диэлектрлік өткізгіштігінің жиілікке тәуелділігі

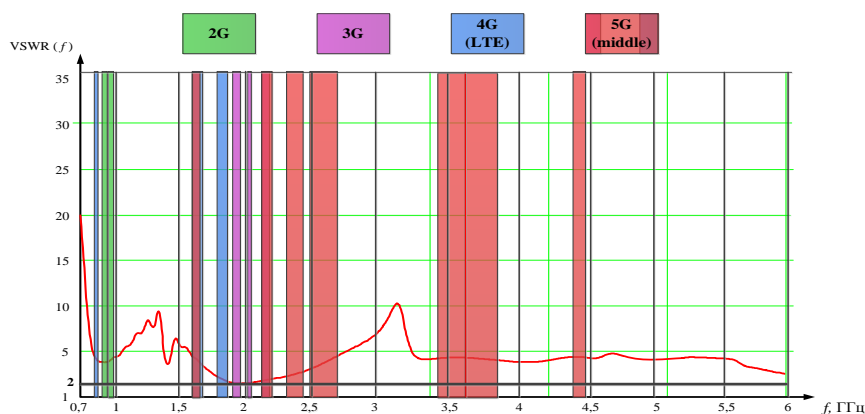
Антенна моделі 4-суретте көрсетілген.

5 - суретте көрсетілгендей номиналды 50 Ом кедергісі бар ТТК функциясы тәуелділікті антеннаны ҚБМ сигнал портына қосқан кезде қабылдайды.

5-суреттегі қисықты талдай отырып, бұл антенна 50 Ом кедергісі бар сигналдық портқа қосылған кезде 830-960 МГц диапазонында 3-тен 5-ке дейін және 1710-6000 МГц диапазонында 1,8-ден 5,5-ке дейін ТТК мәнін қамтамасыз етеді, бұл максимумның 25-50% диапазонында ҚБК деңгейінің жоғалуына сәйкес келеді. Қабылдау және беру антеннасы үшін бұл көп жағдайда қолайсыз нәтиже болып табылады, өйткені антенна құрылғысымен байланысқан ҚБМ-дің негізгі міндеті қуатты берудің жоғары және тұрақты деңгейін қамтамасыз ету және оны кеңістікке зондтау болып табылады.



4 сурет - WWAN/LTE жиілік диапазонындағы шағын өлшемді планарлы рамалық антеннаның 3D моделі



5 сурет - Шағын өлшемді планарлы рамалық антеннаның ТТК функциясының жиілікке тәуелділігі

Белгіленген мәселені шешу үшін «Материалтану бойынша Беларусь ҰҒА ҒО» 50% массаға 50% масса қатынасында стронций гексаферриті ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) қосылған фторланған этилен-пропиленнен (ФЭП) тұратын композициялық материал әзірленген. Сол материалды қолдана отырып мәселені шешу жолдарын қарастырамыз.

М-типті стронций ферриті $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ гексогоналды құрылымы және онымен диамагнитті иондармен алмастырылған, қатты ерітінділермен байланысты, жақсы функционалдық қасиеттеріге ие [4]. Жоғары химиялық және коррозияға төзімділік оларды экологиялық таза және тұрақты етеді. Жоғары коэрцитивті күштің жоғары қалдық индукциямен үйлесуі жеткілікті, меншікті магниттік энергиясы бар тұрақты магниттерді алуға мүмкіндік береді.

Соңғы уақытқа дейін гексаферрит тек тұрақты магнит ретінде және перпендикуляр магниттелген жоғары тығыздықтағы магниттік жинақтағыштарда кеңінен қолданылды. Соңғы уақытта басылымдардың айтарлықтай өсуі М типті гексаферриттер жоғары жиілікті (антенналық) қолдану перспективаларына байланысты [5].

Композиттердің үлгілері (ФЭП/ SrFe₁₂O₁₉) бастапқы ФЭП және SrFe₁₂O₁₉ ұнтақтарын араластыру және одан әрі термиялық басу арқылы алынды. Престеу шарттары: қысым 5 МПа; температура 300 С (ФЭП үшін балқу температурасы шамамен 275 С); престеу ұзақтығы 10 мин. 6-суретте композициялық материалдың сыртқы түрі көрсетілген.



6 сурет - Композициялық материалдың бейнесі

Бұл материалдың тәжірибелік жолмен алынғанына сүйене отырып, оның сипаттамалары диэлектрлік және магниттік өткізгіштіктің нақты және жорамал компоненттерінің дискретті жиіліктерінде өлшенген түріде ұсынылды, бұл қарастырылып отырған тәуелділіктердің сипатын сапалы түрде көрсетпейді. Қарастырылатын материалдың сипаттамаларын сапалы бағалау үшін ұсынылған әдіске сәйкес композиттік материалдың диэлектрлік және магниттік өткізгіштігінің аналитикалық математикалық моделдері (АММ) жоғары сәйкестік дәрежесімен қалыптастырылды.

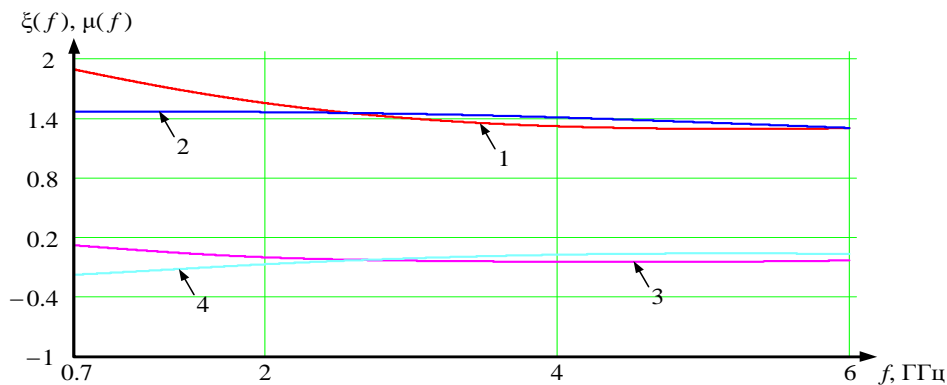
Мұндай модельдеудің мәні мынада: күрделі сипаттамалар келесі түрдегі ($s=if$) күрделі жиіліктің бөлшек-рационалды функциясы ретінде ұсынылуы мүмкін:

$$v(s) = \frac{a_0 + a_1s + a_2(s)^2 + \dots + a_k(s)^k}{b_0 + b_1s + b_2(s)^2 + \dots + b_q(s)^q}, \quad (1)$$

мұндағы s нүктесіндегі барлық коэффициенттер нақты және теріс емес болуы керек, ал (k) жоғары дәрежелі полином алымы және (q) бөлгіш, сондай-ақ олардың ең төменгі дәрежелері 1-ден артық ерекшелене алмайды. Математикалық түрлендіруді пайдалану (1) өрнек көмегімен $Re v(s)$ және $Im v(s)$ нақты түрде берілген, ал $v(s)$ жиілік бөлігі.

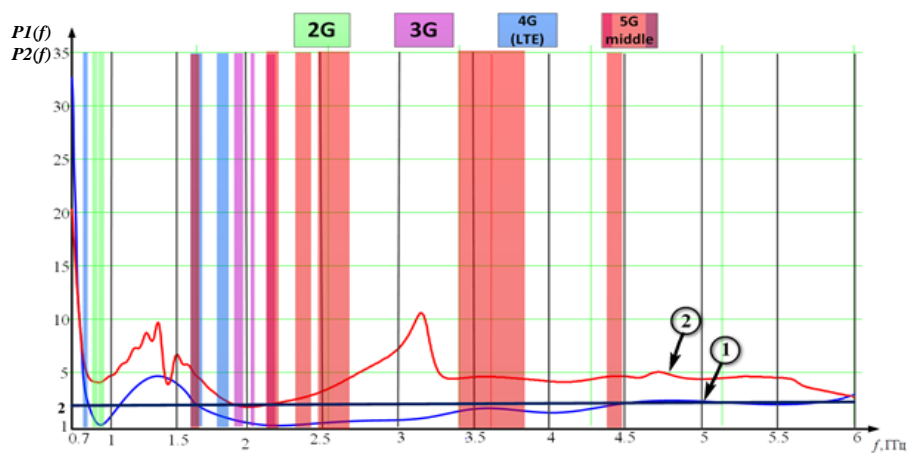
(ФЭП) тұратын композициялық материалымен әзірленген материалдың сипаттамалары диэлектрлік және магниттік өткізгіштіктің жиілікке тәуелділігі түрінде 7-суретте көрсетілген.

Қосымша РТҚ сәйкестендіру құрылғыларын қолданбай ақ FR-4 орнына композиттік материалды шағын өлшемді жазықтық жақтау антеннасында қолдану [2] ТТК функциясының 8-суретте көрсетілген жиілікке тәуелділігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді (қисық 1). «Материалтану бойынша Беларусь ҰҒА ҒО» (бұдан әрі – композиттік материал) әзірлеген және FR-4-ке 8-суреттегі бір-біріне жиілікпен қатынасы (қисық 1 және 2 тиісінше) салынған композиттік материалды пайдалана отырып дайындалған шағын габаритті планарлы рамалық антеннаның ТТК функциясының тәуелділіктерін салыстырамыз.



1-диэлектрлік өткізгіштіктің нақты құрамдас бөлігі; 2 – магниттік өткізгіштіктің нақты құрамдас бөлігі, 3 – диэлектрлік өткізгіштіктің жорамал құрамдас бөлігі, 4 – магниттік өткізгіштіктің жорамал құрамдас бөлігі.

7 сурет - Диэлектрлік және магниттік өткізгіштіктің жиілікпен тәуелділік графигі



1- композитті материалдан жасалған қисық; 2- FR-4 қисығы.

8 сурет - Шағынгабаритті планарлы рамалық антеннаның ТТК функциясы мен жиілікке тәуелділігі

Берілген ТТК тәуелділіктерінің айырмашылықтарын (8-сурет) [7, 36-38 беттер] критерийді қолдана отырып бағалау ұсынылады:

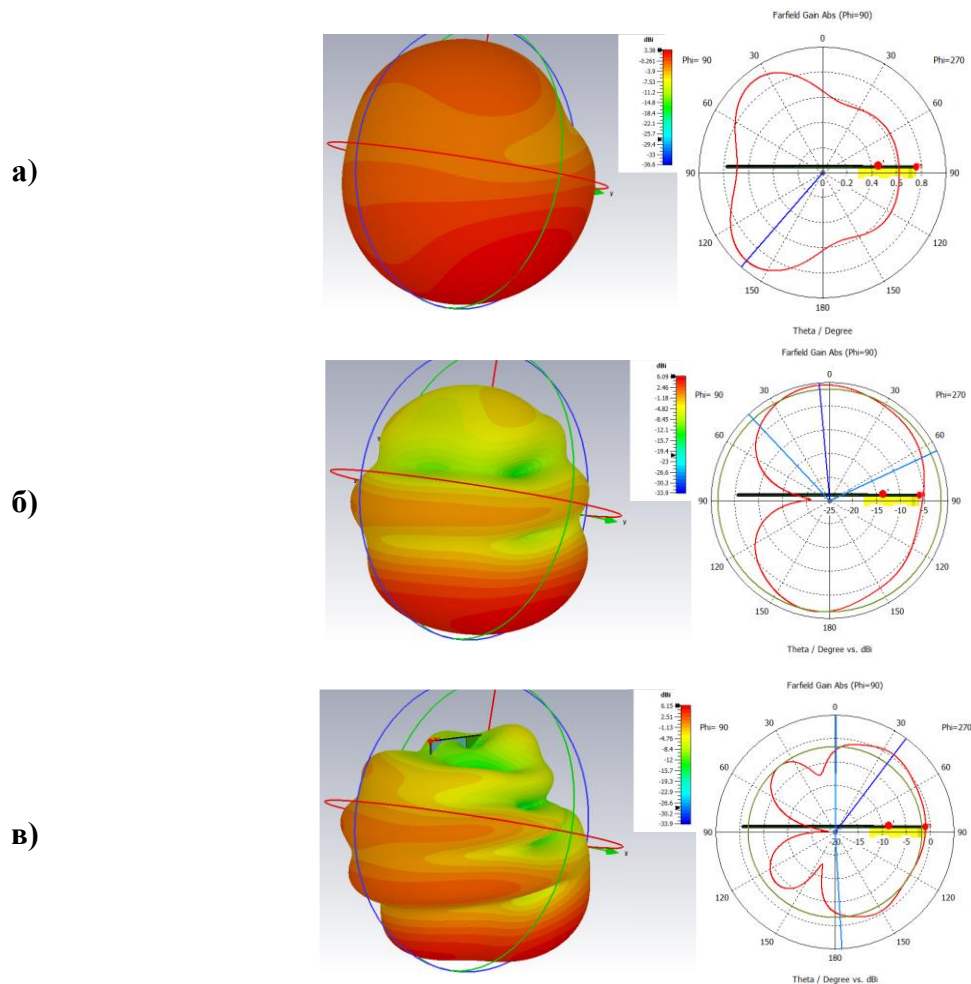
$$K = \int_{f_1}^{f_2} \frac{|P_{1,2}(f) - P_{ст}(f)|}{f_2 - f_1} df, \quad (2)$$

мұндағы $P_{1,2}(f)$ – сәйкесінше FR – 4 және композиттік материалдағы антеннаның ТТК деңгейі, $P_{ст}(f) = 1$ – антеннаның ТТК идеалды деңгейі.

Бұл критерийді қолдану антеннаның ТТК деңгейінің барлық жиілік диапазонындағы анықтамалық мәнге қатысты орташа айырмашылығын бағалауға мүмкіндік береді және FR-4 материалында жасалған антенна үшін $K_{FR-4} = 4.5$ құрайды, ал композитциялық материалында $K_{KM} = 1.7$. Композитциялық материалға қолданылатын және FR-4-ке бір-біріне қатысты жиілікке қолданылатын шағын өлшемді жазықтық жақтау антеннасының ТТК функциясының нәтижелерін салыстыра отырып (8-сурет), FR-

4 орнына композитциялық материалды пайдалану қарастырылып отырған жиілік диапазонында ТТК-нің ең жақсы мәнін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді деген қорытынды жасауға болады. Бұл қуат беру деңгейінің жоғалуы FR-4 көмегімен антеннадағы шығындары аз екенін көрсетеді.

Төмендегі 9- суретте композитциялық материалды қолдана отырып жүзеге асырылатын антеннаның әртүрлі жиіліктеріндегі бағытталу диаграммаларын (БД) бағалау орынды. Композитциялық материалда жүзеге асырылған антеннаның бағытталу диаграммаларын талдай отырып, оны мобильді құрылғыларда жұмыс істеу үшін қолдануға болады деген қорытынды жасауға болады. 1-суретте көрсетілген антенна FR-4 материалы үшін есептелгеніне ерекше назар аудару керек [2] және оның өлшемдері берілген материал үшін оңтайлы болып табылады. Бірақ осыған қарамастан, композиттік материалды қолдану жұмыста келтірілген зерттеулер шеңберінде жақсы нәтиже береді. Композиттерді синтездеуде қолданылатын барлық компоненттер қымбат емес екенін атап өткен жөн, бұл оларды іс жүзінде экономикалық тұрғыдан қолданудың кең перспективасын ашады.



9 сурет - 2 ГГц (а), 4 ГГц (б) және 6 ГГц (в) композитциялық материалына салынған шағын көлемді планарлы рамалық антеннаның бағытталу диаграммасы

Қорытынды

ФЭП/SrFe₁₂O₁₉ композиттік материалын қолдану мобильді құрылғылардағы антенналардың өнімділігін жақсартуға мүмкіндік береді (жүргізілген зерттеулер шеңберінде). 2-суретте көрсетілген антенна FR-4 материалы үшін есептелгеніне және

оның өлшемдері берілген материал үшін оңтайлы екеніне ерекше назар аудару керек. Алайда, осыған қарамастан, әзірленген композициялық материалды қолдану жұмыста келтірілген зерттеулер шеңберінде жақсы нәтиже береді. Композиттерді синтездеуде қолданылатын барлық компоненттер қымбат емес екенін атап өткен жөн, бұл оларды іс жүзінде экономикалық тұрғыдан қолданудың кең перспективасын ашады.

ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Wang K., Zhou K., Luan X., Hu S., Zhou X., He S., Wang X., Zhou Sc., Chen X. // *Ceram. Int.* 2021. V. 47. № 1. P. 121.
- [2] Yitao S., Naomiao Z., Wang C. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series.* 2018. № 1074. 012090.
- [3] Курушин А.А., Пластиков А.Н. CST Microwave Studio бағдарламасында АЖЖ құрылғыларды жобалау. – М.: Баспа МЭИ, 2011, 155 б.
- [4] Trukhanov A.V., Turchenko V.A., Kostishin V.G., Damay F., Porcher F., Lupu N., Bozzo B., Fina I., Polosan S., Silibin M.V., Salem M.M., Tishkevich D.I // *J. Alloys Compd.* 2021. V. 886. 161249.
- [5] Trukhanov S.V., Trukhanov A.V., Kostishyn V.G., Panina L.V., Trukhanov A.V., Turchenko V.A., Tishkevich D.I., Trukhanova E.L., Yakovenko O.S., Matzui L. // *Dalton Trans.* 2017. V. 46, № 28. P. 9010.
- [6] Исаев В.О., Бойкачев П.В. // *Аспаптар жасау және метрол.* 2021. №1, Б. 9.
- [7] Ланнэ, А.А. *Сызықтық электр тізбектерінің оптималды синтезі.* - М.: Связь, 1969.

REFERENCES*

- [3] Kurushin A.A., Plastikov A.N. CST Microwave Studio бағдарламасында AZhZh құрылғыларды жобалау. – М.: Баспа МЭИ, 2011, 155 б.
- [6] Isaev V.O., Bojkachev P.V. // *Aspartar zhasau zhәне metrol.* 2021. №1, B. 9.
- [7] Lannje, A.A. *Syzyktyk jelektir tizbekteriniң optimaldy sintezi.* - M.: Svjaz', 1969.

Балауса Накисбекова, докторант, Алматинский университет энергетика и связи им. Г. Даукеева. Алматы, Қазақстан, balausa84-84@mail.ru

Павел Бойкачев, д.т.н., профессор Учреждение образование «Военная академия Республики Беларусь», Минск, Беларусь, pashapasha.boj@mail.ru

Асел Ержан, PhD, доцент, Алматинский университет энергетика и связи им. Г. Даукеева. Алматы, Қазақстан, a.erzhan@aes.kz

Альнур Омарбекова, PhD, доцент, Алматинский университет энергетика и связи им. Г. Даукеева. Алматы, Қазақстан, a.omarbekova@aes.kz

СОГЛАСОВАНИЕ МАЛОГАБАРИТНОЙ РАМОЧНОЙ АНТЕННЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ 5G

Аннотация. Показана возможность применения мобильной антенны, реализованной на материале на основе фторированного этилена-пропилена в сочетании с гексаферитом стронция SrFe₁₂O₁₉ для современных систем связи пятого поколения, за исключением возможности работы в системах второго, третьего и четвертого поколений. Показаны преимущества использования композитных материалов при реализации

антенных устройств в технологиях 5G. На представленной антенне проводилось широкополосное согласование с приемо-передающим модулем в случае его возмущающих воздействий при работе в широком диапазоне естественных условий эксплуатации мобильного устройства.

Ключевые слова. Гексаферит, антенное устройство, согласующее устройство, технологии 5G, широкополосные устройства.

Balauša Nakisbekova, doctoral student, Almaty University of Power Engineering & Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan, balauša84-84@mail.ru

Pavel Boikachev, doctor of technical sciences, professor, Military Academy of Belarus, Minsk, Belarus, pashapasha.bo@mail.ru

Yerzhan Assel, PhD, docent, Almaty University of Power Engineering & Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan, a.erzhan@aes.kz

Alnur Omarbekova, PhD, docent, Almaty University of Power Engineering & Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan, a.omarbekova@aes.kz

COORDINATION OF A SMALL-SIZED FRAME ANTENNA USING A NEW COMPOSTING MATERIAL FOR 5G TECHNOLOGIES.

Abstract. The possibility of using a mobile antenna implemented on a fluorinated ethylene-propylene-based material in combination with Strontium hexapherite $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ is shown for modern fifth generation communication systems, with the exception of the possibility of working on second, third and fourth generation systems. The advantages of using composite materials in the implementation of antenna devices in 5G technologies are shown. In the presented antenna, broadband coordination was carried out with the receiving and transmitting module in case of effects that destroy it when operating in a wide range of natural conditions of use of a mobile device.

Keywords. Hexaferrite, antenna, device, matching device, 5G technologies, broadband devices.
