

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Мақсатұлы Руслан

«Цифрлық радиохабар желілерін жетілдіру жолдарын талдау»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Алматы 2024 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы



ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Цифрлық радиохабар желілерін жетілдіру жолдарын талдау»

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Орындаған:

Р. Мақсатұлы

Пікір беруші:
ҚазҰАЗУ, PhD докторы,
ЭҮЖА кафедрасының
меңгерушісі

Молдажанов А.К.
« 29 » 05 2024 ж.
ФАКУЛЬТЕТИ

Ғылыми жетекші:
ҚазҰТЗУ, ф-м.ғ.к.,
ЭТЖҒТ кафедрасының
қауымдастырылған профессор

Жунусов К.Х.
« 28 » 05 2024 ж.

Алматы 2024 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация



Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА

Білім алушы: *Мақсатұлы Руслан*

Тақырыбы *«Цифрлық радиохабар желілерін жетілдіру жолдарын талдау»*

Университет ректорының *«04» желтоқсан 2023 ж. №548-II бұйрығымен* бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі *«30» сәуір 2024 ж.*

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

1) *Цифрлық хабар тарату жүйелерінің ерекшеліктері;* 2) *Цифрлық сигналдың энергетикалық және ақпараттық сипаттамалары;* 3) *Қабылдау сапасының әсері;* 4) *MatLab Simulink бағдарламасы және C# тіліндегі SharpDeveloper арқылы модель әзірлеу.*

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) *Қазіргі цифрлық хабар тарату жүйелерінің және олардың құрамдас құрылғыларының негізгі сипаттамалары мен ерекшеліктері талдау;* б) *Цифрлық хабар тарату жүйесі параметрлерінің әртүрлі жағдайларда сигналды қабылдау сапасының әсерін зерттеу;* в) *Цифрлық хабар тарату таратқышын оңтайлы таңдау әдістемесін сипаттайтын алгоритм құру;* г) *DRM жүйесін модельдеудің қолданыстағы әдістері мен құралдарын талдау.*

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):

Ұсынылатын негізгі әдебиет 20 атау: 1) *Антипин В.В., Зиновьев Н.В. Влияние нелинейности передатчика на сигналы с OFDM // Научно-практические исследования. – 2019. - №8-2 (23). – С.31- 34.* 2) *Дворкович А.В., Дворкович В.П., Иртюга В.А., Митягин К.С. Стандарт цифрового мультимедийного вещания РАВИС 2.0 // Цифровая обработка сигналов и ее применение.: Докл. 19 Междун. конф. (DSPA-2017, Москва, 29-31 марта 2017г.).*

– М.: 2017. – Выпуск XIX-1. –С. 222-225. 3) Ишмияров А.А. Повышение помехоустойчивости систем связи с орто-гональным частотным уплотнением на основе метода предкодирования поднесущих частот: дисс. канд.тех.наук. – Уфа: УГАТУ, 2019. – 113 с.

дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	04.01.2024 -01.02.2024	Орындалды
Теориялық ақпарат	01.02.2024 - 01.03.2024	Орындалды
Жабдықтар жұмысының есебі және жұмысты рәсімдеу	01.03.2024 - 30.05.2024	Орындалды

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа(жобаға) қойған
қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	Жунусов К.Х. ЭТЖҒТ каф. қауымдастырылған профессоры ф-м.ғ.к.	1.03.2024.	KH
Теориялық ақпарат	Жунусов К.Х. ЭТЖҒТ каф. қауымдастырылған профессоры ф-м.ғ.к.	24.04.2024	KH
Норма бақылау	Досбаев Ж. М.ЭТЖҒТ каф. аға оқытушысы PhD	27.05.2024	DM

Ғылыми жетекшісі

 Жунусов К.Х.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы

 Максатұлы Р.

Күні «13» желтоқсан 2023 ж.

АНДАТПА

Ұсынылған «Цифрлық радиохабар желілерін жетілдіру жолдарын талдау» тақырыбындағы дипломдық жұмыс үш бөлімнен тұрады. Бірінші бөлімде, еліміздегі заманауи цифрлық хабар тарату жүйелерінің ішінде ең үлкен қызығушылық танытқан цифрлық жерүсті мультимедиялық хабар тарату жүйесі РАВИС, DRM цифрлық радиохабар жүйесі және DAB/DAB+ цифрлық радиохабар жүйесі талқыланды. Екінші бөлімде әртүрлі жағдайларда сигналды қабылдау сапасына DRM стандартының цифрлық радиохабар тарату жүйесінің параметрлерінің әсерін зерттеу жүргізілді. Бір жиілікті цифрлық хабар тарату желілерін құру нұсқаларын зерделеу жүргізілді. Үшінші бөлімде, DRM жүйесін модельдеудің қолданыстағы әдістері мен құралдарын талдау жүргізіледі. Модель C# тіліндегі SharpDevelop 5.1 тегін әзірлеу ортасында әзірленген «ПИК-ЦХТ» меншікті бағдарламалық пакеті ретінде жүзеге асырылады.

АННОТАЦИЯ

Представленная дипломная работа на тему «анализ путей совершенствования цифровых радиовещательных сетей» состоит из трех разделов. В первом разделе обсуждались системы цифрового наземного мультимедийного вещания РАВИС, цифровая радиовещательная система DRM и цифровая радиовещательная система DAB/DAB+, представляющие наибольший интерес среди современных систем цифрового вещания в стране. Во второй части проведено исследование влияния параметров цифровой радиовещательной системы стандарта DRM на качество приема сигнала в различных условиях. Проведено изучение вариантов создания сетей одночастотного цифрового вещания. В третьей части проводится анализ существующих методов и средств моделирования системы DRM. Модель реализуется как проприетарный программный пакет «ПИК-ЦХТ», разработанный в бесплатной среде разработки SharpDevelop 5.1 на языке C#.

ANNOTATION

The presented thesis on the topic "analysis of ways to improve digital broadcasting networks" consists of three sections. The first section discussed the RAVIS digital terrestrial multimedia broadcasting systems, the DRM digital broadcasting system and the DAB/DAB+ digital broadcasting system, which are of the greatest interest among modern digital broadcasting systems in the country. In the second part, the influence of the parameters of the digital broadcasting system of the DRM standard on the quality of signal reception in various conditions was studied. The study of options for creating single-frequency digital broadcasting networks has been carried out. The third part analyzes the existing methods and tools for modeling the DRM system. The model is implemented as a proprietary software package "PIK-TXT", developed in the free development environment SharpDevelop 5.1 in C#.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 Желілерді жетілдірудің негізгі жолдары және цифрлық радио жабдықтары	8
1.1 Қазіргі цифрлық хабар тарату жүйелерінің және олардың құрамдас құрылғыларының негізгі сипаттамалары мен ерекшеліктері	8
1.2 Цифрлық сигналдың энергетикалық және ақпараттық сипаттамаларына шекті факторының әсері. Шекті факторын төмендету әдістері	17
1.3 Цифрлық хабар тарату желілері мен жабдықтарын жетілдіру жолдары	22
2 Цифрлік радио хабарламасының жүйесі мен желілік шешімдерін зерттеу және әзірлеу	24
2.1 Цифрлық хабар тарату жүйесі параметрлерінің әртүрлі жағдайларда сигналды қабылдау сапасының әсерін зерттеу	24
2.2 Цифрлық радиохабардың бір жиілікті желілерін құру нұсқаларын зерттеу	27
2.3 Цифрлық радиохабар таратқышты оңтайлы таңдау әдістемесін әзірлеу	30
2.4 Цифрлық хабар тарату желілерінде көмекші деректерді тасымалдау жолдарын талдау	36
3 Азайтылған шекті факторы бар цифрлік радио хабарлама DRM қалыптастыру үшін зерттеу	41
3.1 Төмендетілген шекті-факторы бар DRM сигналдарын қалыптастыру процестерін модельдеу әдістемесін әзірлеу және іске асыру	41
3.2 Шекті факторды төмендету кезінде DRM сигналдарын оңтайландыру критерийлері	46
3.3 DRM сигналдарының ең жоғары факторын төмендету әдістерін салыстырмалы зерттеу	49
3.4 Төмендетілген шекті факторы бар модификацияланған DRM сигналын қалыптастыру алгоритмін әзірлеу және зерттеу	64
Қорытынды	74
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	75

КІРІСПЕ

Халықаралық тәжірибе және цифрлық хабар таратуды сәтті енгізу (ЦХТ) шетелде өзінің өзектілігін көрсетеді. Тіпті Қазақстанда цифрлық хабар таратуды дамытуда біршама артта қалғанына қарамастан, басқа елдердің тәжірибесі көрсеткендей, заманауи жағдайда эфирді цифрландыру процесі объективті түрде сөзсіз. ЦХТ технологиялары бірқатар артықшылықтарға ие болғандықтан (бір таратқыштың үлкен қамту аймағы, кері арнаның қажеті жоқ), тіпті 4-ші және 5-ші буындардың ұялы желілерінің пайда болуымен де цифрлық хабар тарату желілері өзектілігін жоғалтқан жоқ. Медиа-контент пен көмекші ақпаратты (соның ішінде ескерту сигналдарының сағаттары) үлкен көлемде жеткізу Қазақстан Республикасының кеңістігінде.

ЦХТ желілерін құру елді мекендерді тұрақты хабар таратумен қамтуға нақты бағытталған, бұл іс-жүзінде жүз пайыз қамтуды қамтамасыз етеді, сондай-ақ көлік инфрақұрылымы мен жергілікті жерді мобильді абонентке назар аударатырып, барынша қамту.

Қазіргі уақытта Қазақстан Республикасында қажетті шешімдер қабылданды және келесі ЦХТ жүйелерін енгізу және дамыту үшін жиілік ресурсы бөлінді:

- РАВИС цифрлық жерүсті мультимедиялық хабар тарату жүйесі;
- DRM(DRM30, DRM+) Цифрлық радиохабар жүйесі
- DAB/DAB + Цифрлық хабар тарату жүйесі.

Қазақстандагі ЦХТ дамуда және Еуропа мен Солтүстік Америка елдеріне ұқсас, соған қарамастан өзінің желілік технологиялардың пайда болатын үстемдігін алады деп айтуға негіз бар.

Көрсетілген перспективаларды ескере отырып, Цифрлық радиохабар тарату технологиялары мен жабдықтарын, оның ішінде оның сапасы мен энергетикалық тиімділігін арттыру бағытында одан әрі жетілдіру өзектілігі және ғылыми-техникалық мәселесі болып табылады.

1 Желілерді жетілдірудің негізгі жолдары және цифрлық радио жабдықтары

1.1 Қазіргі цифрлық хабар тарату жүйелерінің және олардың құрамдас құрылғыларының негізгі сипаттамалары мен ерекшеліктері

Бүгінгі күні ЦХТ желілері Қазақстан Республикасының бүкіл аумағында толығымен дерлік құрылды. Бұл желілер телебағдарламалармен бірге үш дыбыстық бағдарлама хабар таратады. Қазақстан Республикасында ЦХТ-мен қатар өздерінің негізгі медиа міндеттерін шешетін және Федерация субъектілерінің барлық дерлік тұрғындарын қамтитын аналогтық хабар тарату желілері белсенді жұмыс істейді. Радиостанциялардың аналогтық сигналдарының сапалық сипаттамалары желі абоненттерінің талаптарына сәйкес келеді. Мұндай жағдайларда ең жақын уақыт кезеңі үшін бұл қиын цифрлық хабар таратуға кеңінен көшуді күтуде.

Алайда, ЦХТ желілерінің аналогтық желілердің функционалдығына қарамастан, оларды құруды орынды деп санауға мүмкіндік беретін сөзсіз артықшылықтары бар екені белгілі [3, 4, 12, 13]. Қолданыстағы аналогтық желілер FM-нің барлық дерлік диапазонымен айналысатындығын және олардың УҚТ, ТЖ, ЖЖ диапазондарында болуын кеңейтуді жоспарламайтындығын ескеру қажет. Осыған сәйкес, еркін диапазондардың артықшылықтарын пайдалану және ЦХТ құру кезінде аз шығынды технологияларды қолдану қажет.

Айта кету керек, ЦХТ желілерін құру нақты бағытқа ие ірі елді мекендерді тұрақты хабар таратумен қамту, бұл іс жүзінде халықты жүз пайыз қамтуды қамтамасыз етеді. ЦХТ желілері халықты тұрақты аудио хабар таратумен жүз пайыз қамту міндетімен қатар, көлік инфрақұрылымын радиохабар таратумен қамту және бұл ретте мобильді абонентке бағдарлана отырып, жергілікті жерді барынша жабу міндеттеріне ие. Демек, ЦХТ желілерін салу кезінде қолда бар технологиялық байланыс объектілерін (ғимараттар, дінгектер мен мұнаралар) ескере отырып, жергілікті жерді барынша жабу мүмкіндігіне де, сондай-ақ талап етілетін аумақтарды барынша жабу шарттарына неғұрлым толық жауап беретін қызмет көрсетілмейтін хабар тарату пункттері мен ретрансляторларды пайдалануды қоса алғанда, жаңа байланыс объектілерін құруға да бағдарлануға қажетті көлік инфрақұрылымы.

Қазіргі заманғы Цифрлық хабар тарату жүйелерінің ішінде Қазақстан Республикасы үшін үлкен қызығушылық бар:

- цифрлық жер үсті мультимедиялық хабар тарату жүйесі РАВИС [5, 7, 8];
- DRM Цифрлық радиохабар жүйесі [6];
- DAB, DAB+ Цифрлық радиохабар жүйесі.

ЦХТ стандарттарынан Қазақстандық даму жүйесі болып табылатын РАВИС цифрлық жерүсті мультимедиялық тарату жүйесін атап өткен жөн. Жүйенің техникалық мүмкіндіктері бір телебағдарламаны жоғары сапада немесе бір радиоарнада 12-ге дейін аудиобағдарламаны беруге мүмкіндік береді.

Бағдарламаларды қабылдау мобильдік режимде де қамтамасыз етіледі.

2019 жылғы 25 шілдеде Радиожиіліктер жөніндегі мемлекеттік комиссия (ГКРЧ) Қазақстан Республикасының аумағында жер үсті желілерін құру үшін 65,8 – 74,0 МГц және 87,5 – 108,0 МГц диапазондарында жиіліктер бөлу туралы шешім қабылдады Цифрлық дыбыстық және мультимедиялық хабар тарату РАВИС стандарты (GKRCH № 19-51-03-2 шешімі) [24].

РАВИС жүйесінің негізгі сипаттамалары 1.1-кестеде келтірілген. Жоғарыда айтылғандай, Хабардан басқа, арнаның салыстырмалы түрде кіші ені бар Цифрлық жердегі мультимедиялық хабар тарату жүйесі дыбыс бағдарламалары мобильдік құрылғылар үшін жарамды ретінде бейне бағдарламаны олармен бір мезгілде жіберуге мүмкіндік береді, бұл цифрлық телерадио хабарларын таратудың осы жүйесін басқа жүйелердің фонында тиімді бөліп көрсетеді.

DRM Цифрлық радиобағдарламалар жүйесі (ағылш. Digital Radio Mondiale) бастапқыда қысқа, орташа және ұзын толқындар диапазонында амплитудалық модуляциясы бар радиобағдарламалар жүйесін ауыстыру мақсатында жасалған.

Кесте 1.1 - РАВИС жүйесінің негізгі сипаттамалары

Сипаттамасы	Мәні
Жиілік диапазоны	65,8 – 74,0 МГц 87,5 – 108,0 МГц
Қателерді түзету	Төмен тығыздықты тексеру (LDPCкод) және Боуза коды - Чоудхури - Хокингем (BCH коды)
Код жылдамдығы	1/2; 2/3; 3/4
Модуляция түрі	COFDM
Арна жолағындағы қосалқы тасымалдаушылар саны (жалпы / ақпараттық): 100 кГц 200 кГц 250 кГц	215/196 439/400 553/504
Ішкі тасымалдаушы модуляциясы	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Арнаның өткізу қабілеті	100 кГц, 200 кГц, 250 кГц
Қорғаныс аралығы	1/8
Таңбаның пайдалы бөлігінің ұзақтығы	2,25 мс
Жиілік бойынша тасымалдаушыларды тарату	444 4/9 Гц
Жолақта деректерді беру жылдамдығы арна 100 кГц 200 кГц 250 кГц	80 ден 350 кбит/с дейін 160 тен 710 кбит/с дейін 200 ден 900 кбит/с дейін
Арна жолағында бірге берілетін аудиожазбалар саны 32 кбит/с 100 кГц 200 кГц 250 кГц	2 ден 10 дейін 4 тен 22 дейін 6 дан 28 дейін

Бейне бағдарламаның форматы / саны арнаның жолағында бірге берілетін аудиожазбалар 100 кГц 200 кГц 250 кГц	QCIF 5/1 ден SIF 12,5/1 дейін QCIF 12,5/1 ден CIF 25/5 дейін QCIF 12,5/1 ден CIF 25/6 дейін
---	---

2007 жылы 30-дан 300 МГц-ке дейінгі диапазонда қолдануға арналған DRM+ деп аталатын осы стандарттың модификациясы ұсынылды және аналогты FM радиохабарын ауыстыру (сонымен бірге 30 МГц-тен төмен жиіліктер үшін стандартты өзгерту DRM30 деп атала бастады).

Қазақстан Республикасында DRM стандартын енгізу әрекеттері 2010 жылы басталды, сол кезде Үкіметтің телерадио хабарларын таратуды дамыту жөніндегі комиссиясы ұзын, орта және қысқа толқындар диапазонындағы Қазақстандық цифрлық хабар тарату стандарты ретінде DRM стандартын бекітті. Бірқатар нормативтік құжаттар әзірленді, «Қазақстан дауысы» радиостанциясы қысқа толқындарда таратылды.

ЖЖ диапазоны үлкен аумақтарды қамтитын РВ желілері үшін ыңғайлы және олардың құрылыс Қазақстан Республикасының кейбір аймақтарында қолданылған кезде ерекше назар аударуды талап етеді. Жиілік диапазондары LF, MF, HF (30 МГц-ке дейін) бірқатар танымал оларды FM диапазонына ұқсас түрде пайдалануға мүмкіндік бермейтін кемшіліктер. Алайда, 30 МГц-ке дейінгі диапазонды аналогтық FM-мен "жабылмаған" және қолдануға жарамсыз ұзақ көлік артерияларын тұрақты Цифрлық аудио таратумен қамтамасыз ету үшін пайдалануға болады мысалы, бір жиіліктегі желілерді құру арқылы УКВ және ОВЧ ЧМ хабар тарату ауқымы. Алайда, аудио таратудан басқа, 30 МГц-ке дейінгі желілер әртүрлі медиа қызметтерін ұсына алады. 30 МГц-ке дейінгі желілер тиімді және тиімді болуы үшін әр құрылған желі үшін жоба алдындағы тексеруді жүргізу және оларға оңтайлы шығындармен қызметтердің барлық мүмкін кешенін іске асыру мүмкіндігін қарастыру қажет. Сондықтан емтихан кезеңінде келесі сұрақтар пысықталуы керек:

- көлік инфрақұрылымы бар нақты аумақ талданды;
- МДМ желісінің құрылымы әзірленді;
- әзірленді тізімі әзірленетін ЦХТ желісімен;
- желінің нақты учаскесі үшін жиіліктерді бөлуге жиіліктік-аумақтық өтінім әзірленді және ГРЧЦ-ға берілді;
- жабдықты таңдау жүргізілді және 30 МГц дейінгі диапазондағы ЦХТ желісі жобаланды.

Бұл диапазондарда ЦХТ желілерін салу ауданның жекелеген учаскелерінде жұмыс істеп тұрған аналогтық желілерді ескере отырып жүзеге асырылатыны анық. РФ УКВ диапазоны бүгінгі күні іс жүзінде бос емес және оны РАВИС және DRM+стандарттарының ЦХТ желілерін құру үшін пайдалануға болады. Стандартты таңдау абоненттердің аудио және видео хабар

тарату, сондай-ақ мультисервистік қызметтер мен арнайы мақсаттағы қызметтерді ұсыну қажеттілігіне байланысты. 87-108 МГц диапазонындағы ОВЧ ЧМ -ге келетін болсақ, оны қолданыстағы аудио желілердің шарттарына сүйене отырып, мүмкін болатын жерлерде ғана қолданған жөн. Цифрлық стандартты таңдау абоненттің нақты қажеттіліктерімен және бөлінген жиіліктерге сәйкес анықталады. Мысалы, 250 кГц жиілік диапазонында (РАВИС стандарты) бейне арнаны ұйымдастыруға және басқа да сервистік қызметтер көрсетуге болады, ал 100 кГц жиілік жолағы кезінде көп сервистік қызметтер көрсететін бірнеше аудио арналарды қалыптастырған жөн. Қызметтердің тізімін таңдау абоненттердің нақты қажеттіліктеріне байланысты. Белгілі бір желіні немесе желінің бөлімдерін жобалау кезінде желінің құрылымы мен мүмкіндіктерін анықтайтын барлық жағдайлар ескерілуі керек. Бұл жағдайларға демографиялық ерекшеліктер, жер бедері, абоненттердің қажеттіліктері, қолданыстағы телекоммуникациялық құрылыстарды пайдалану мүмкіндігі жатады.

DRM жүйесінің негізгі сипаттамалары 1.2-кестеде келтірілген.

DRM цифрлық радиохабар тарату жүйесінің артықшылықтарынан Simulcast режимінде жұмыс істеу мүмкіндігін атап өту керек, онда бір арнада аналогтық және цифрлық сигналдар бір мезгілде беріледі. Бұл режим аналогтық хабар таратудан Цифрлыққа ауысу кезеңінде пайдалы болуы мүмкін.

Кесте 1.2 - DRM жүйесінің негізгі сипаттамалары

Сипаттама	Режим				
	DRM30				DRM+
	A	B	C	D	E
Жиілік диапазоны	30 МГц дейін				30-300 МГц
Модуляция түрі	COFDM				
Жолақтағы ішкі тасымалдаушылар саны арна:					
4,5 кГц	98	92	-	-	-
5 кГц	110	104	-	-	-
9 кГц	202	182	-	-	-
10 кГц	226	206	138	88	-
18 кГц	410	384	-	-	-
20 кГц	458	410	280	178	-
100 кГц	-	-	-	-	213
Ішкі тасымалдаушы модуляциясы	16-QAM, 64-QAM				4- QAM, 16-QAM
Сызықтың ені арна, кГц	4,5; 5; 9; 10; 18; 20	4,5; 5; 9; 10; 18; 20	10; 20	10; 20	100

Қорғаныс аралығы	1/9	1/4	4/11	11/14	1/9
Таңбаның пайдалы бөлігінің ұзақтығы, мс	24	21 1/3	14 2/3	9 1/3	2 1/4
Жиілік бойынша тасымалдаушыларды тарату, Гц	41 2/3	46 7/8	68 2/11	107 1/7	444 4/9
Деректерді беру жылдамдығы	4,8 ден 72 кбит/с дейін				37,3 ден 186,4 дейін кбит/с
Мультиплекстегі арналар саны	1-ден 4-ке дейін (дыбыстық сигнал немесе деректер)				

DAB Цифрлық хабар тарату жүйесі алғаш рет 1995 жылы ETS300401 еуропалық стандартының редакциясында енгізілді. Бұл DAB + жүйесінің жаңа нұсқасы 2006 жылы жарияланды. Жаңа DAB+ жүйесінің DAB-тан басты айырмашылығы MPEG-4 HE-AAC v2 (ISO/IEC 14496-3 стандарты) аудиосигналын кодтаудың қазіргі заманғы технологиясын MPEG-1 Layer II (ISO/IEC 11172-3 стандарты) орнына қолдану болып табылады. DAB+ жүйесі Еуропа мен Австралияда кең таралған.

Бірқатар Батыс Еуропа елдерінде DAB, DAB+ стандарты біртіндеп енгізіліп жатқаны белгілі. Қазақстан Республикасында DAB стандарттарының Цифрлық аудио желілерін құру үшін де жағдайлар жасалды. Ең алдымен, Радиожиілік жөніндегі мемлекеттік комитеттің DAB үшін диапазонды бөлу туралы шешімі арқасында. (2018 жылғы 16 сәуірде DAB+ стандартында цифрлық хабар тарату үшін 174-230 МГц радиожиілік жолағын пайдалану туралы шешім қабылданды (Радиожиілік жөніндегі мемлекеттік комитеттің No 18-45-03 шешімі) [25].

Аталған диапазон босатылған, бұрын ол ЦБТ -да қолданылмайтын аналогты теледидардың 6-12 арнасымен айналысқан. Сондай-ақ, аналогты ТВ арналарын қабылдау үшін бұрын құрылған абоненттік желі (кіреберістегі Антенна) DAB, DAB+сигналдарын қабылдау үшін пайдаланылуы мүмкін екенін атап өткен жөн. Бұл желілердің басқаларына қарағанда артықшылықтарының бірі-бір арнада орналасқан жиілік диапазоны 1536 кГц болып табылады, бұл осы жолаққа мүмкіндік береді 16 РВ бағдарламаларын қалыптастыруға. Кемшілігі абоненттік жабдықтың жоғары құны.

DAB + жүйесінің негізгі сипаттамалары 1.3-кестеде келтірілген.

DAB + цифрлық радиохабар жүйесі қосалқы деректерді беру, бір жиілікті желілерде жұмыс істеу сияқты барлық цифрлық радиохабар жүйелеріне тән стандартты функционалдылыққа ие.

Бұл стандарттың ерекшелігі 1,536 МГц салыстырмалы түрде кең арна жолағы. Бір жағынан, бұл көптеген аудио бағдарламаларды бір мультиплекске жіберуге мүмкіндік береді, екінші жағынан, Қазақстан Республикасында радиожиілік спектрін түрлендірудегі қиындықтармен байланысты DAB+

жүйесін енгізу проблемаларын тудырады.

Кесте 1.3 - DAB + жүйесінің негізгі сипаттамалары

Сипаттамасы	Мәні
Жиілік диапазоны	174–230 МГц
Модуляция түрі	COFDM
Ішкі тасымалдаушылар саны	1536
Ішкі тасымалдаушы модуляциясы	D-QPSK
Арнаның өткізу қабілеті	1,536 МГц
Қорғаныс аралығы	246 мкс
Таңбаның пайдалы бөлігінің ұзақтығы	1 мс
Жиілік ішкі тасымалдаушы аралығы	1 кГц
Беріліс жылдамдығы толық пайдалы	2,4 Мбит/с ден 1,7 Мбит/с дейін
Ішкі арналардың максималды саны мультиплекс	64
Мультиплекстегі аудио арналардың әдеттегі саны (аудио деректер жылдамдығы 8-ден 384 кбит/с дейін)	10 ден 20 дейін

Эфирлік цифрлық радиохабар таратудың басқа жүйелерінің арасында мобильдік құрылғыларға бағдарланған және негізінен Оңтүстік Кореяда пайдаланылатын T-DMB цифрлық телерадио хабарларын тарату жүйесін, сондай-ақ HD Radio сауда маркасымен АҚШ, Канада және Мексикада таралған IBOC цифрлық радиохабар тарату жүйесін атап өткен жөн. *Қазақстан Республикасында осы жүйелерді енгізу екіталай болғандықтан*, негізінен электромагниттік үйлесімділік мәселелеріне байланысты бұл жүйелер бұл жұмыста қарастырылмайды.

Белгілі бір цифрлық стандарттың ЦХТ тиімді және үнемді жұмыс істеуі қымбат емес және әртүрлі абоненттік жабдықтың болуымен мүмкін болатыны анық.

Отандық өндірістің отандық абоненттік цифрлық радиохабар құрылғыларының нарықта DRM және DAB CP3 RP-233 DRM қолдауымен Сарапул радиозауыты [21] шығаратын радиоқабылдағыштардың болуын атап өту керек. Бұл құрылғы 0,15-27 МГц диапазонындағы DRM сигналдарын және 174-240 МГц диапазонындағы DAB сигналдарын қабылдайды. Сарапул радиозауытының радиоқабылдағышы CP3-PP-235 PABIS бір стандартты радиоарнада 10-15 CD-сапалы стереобағдарламаларды және бейне ағынын

қабылдауға мүмкіндік береді. DRM және DAB радиоқабылдағыштарын шығаруды игерген тағы бірнеше компанияларды атап өткен жөн. Бұл NEWSTAR, Technical Digital S.A. және басқалар. Дегенмен, бұл Қазақстан Республикасының аумағында цифрлық РВ стандарттарын кеңінен қолдану үшін жеткіліксіз. Дыбыстық хабар таратудан басқа қажетті абоненттік құрылғылар әртүрлі қызметтерді көрсетуге арналған ЦХТ желілері пайда болғаннан кейін бірден пайда болатыны анық.

Цифрлық хабар тарату жүйелерінің ерекшеліктері. Қарастырылып отырған цифрлық хабар тарату жүйелерін талдау олардың барлығында COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) модуляциясын – кодтаумен арналардың ортогональды жиілікті бөлуін қолданатынын көрсетеді, яғни. тікелей қатені түзету (FEC) түріндегі арна кодтауын қолдану. COFDM технологиясы өз кезегінде OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) технологиясының бір түрі болып табылады.

Цифрлық хабар таратудың таратқыш аппаратурасында жоғары жиілікті сигналды қалыптастыру процесінде кіріс деректер ағыны өңделеді, бұл жалпы барлық жүйелерге тән [5]. Цифрлық хабар тарату жабдығының сигналды кондиционерлеу жолының жалпыланған құрылымдық схемасы 1.1-суретте көрсетілген.

Тиісті кодекпен қысылған дыбыстық сигнал, бейне сигнал (бар болса) және көмекші деректер скремблерге түседі, ол нөлдер мен бірліктердің ұзын тізбегін болдырмау үшін сигнал энергиясын рандомизациялауды қамтамасыз етеді, осылайша жалған көзге Жалпы деректер ағынын береді. Содан кейін деректер ағыны қабылдау жолындағы қателерді түзетуді қамтамасыз ету үшін артық ақпаратты қосу арқылы каналды кодтауға ұшырайды.

Аудио Видео Деректер



1.1-сурет - Сигналдарды қалыптастыру жолының жалпыланған құрылымдық схемасы цифрлық хабар тарату жабдықтары

Қосалқы тасымалдаушылардың модуляциясының талап етілетін түрін ескере отырып, бит ауысуынан кейін деректердің бит ағынын белгіленген ұзындықтағы ұяшықтарға бөлу және оларды сигналдық шоқжұлдызға көрсету жүзеге асырылады. Осыдан кейін деректер ұяшықтарын жылжыту және бір немесе бірнеше деректер жақтауының шекарасында ұяшықтар блоктарын жылжыту (уақытты жылжыту) жүзеге асырылады. Уақыт пен жиілік бойынша біркелкі емес арналардағы деректерді тұрақты жіберуді қамтамасыз ету үшін биттік интерпритация, ұяшықтарды араластыру және уақытты бөлу уақыт пен жиілік бойынша деректерді квазикездейсоқ бөлуге мүмкіндік береді.

Алынған ұяшық ағыны OFDM ішкі тасымалдаушыларына салыстырылады. Содан кейін тасымалдаушы деректері (жиілік интерлеациясы) араласады және пилоттық сигналдар енгізіледі. Нәтижесінде, әрқайсысы сәйкес ішкі тасымалдаушының квадратуралық модуляциясының фазасы мен амплитудасын анықтайтын күрделі сандар жиынынан тұратын блоктар (OFDM символдары) қалыптасады.

ОБПФ блогында жиілік аймағынан OFDM таңбалары фазалық I және квадраттық Q сигналдарының үлгілері түрінде уақытқа айналады. Алынған OFDM таңбасы қорғаныс аралығын енгізгеннен кейін алынады, ол OFDM таңбасының пайдалы бөлігінің соңын оның басына қосу арқылы алынады.

Квадратуралық модулятор квадратуралық сигналдарды тасымалдаушы беріліс жиілігіне тікелей беруді қамтамасыз етеді, осылайша жоғары жиілікті сигналды құрайды.

Жоғарыда аталған эфирлік цифрлық хабар тарату жүйелеріндегі қосалқы тасымалдаушыларды модуляциялау үшін квадратуралық амплитудалық модуляция 4-QAM (QPSK), 16-QAM және 64-QAM қолданылады. DAB + жүйесінде D-QPSK дифференциалды квадратуралық фазалық модуляциясы қолданылады.

Барлық көрсетілген эфирлік цифрлық хабар тарату жүйелері OFDM технологиясын қолданатындықтан, синхрондау мәселесін, арнаны бағалау проблемасын және осы технологияға тән жалпы мәселелердің бірі-Шекті факторын азайту мәселесін бөліп көрсету керек.

Синхрондау мәселесі OFDM таңбасын сәтті демодуляциялау үшін оның уақытша аймақта басталуын дәл анықтау қажет. Таңбаның басталуын анықтау қатесі өрнекпен анықталатын $\Delta\Phi_k$ жиілік аймағында қосалқы фазалардың ауысуына әкеледі:

$$\Delta\Phi_k = 2\pi k\delta/N, \quad (1.1)$$

мұндағы k – ішкі тасымалдаушы индексі;

δ – OFDM символының басын анықтаудағы нормаланған қате;

N - OFDM символын демодуляциялау кезіндегі FFT нүктелерінің саны.

(1.1) өрнектен ішкі тасымалдаушының фазалық ығысуы δ қатесіне және k ішкі тасымалдаушы индексіне пропорционал екенін көруге болады.

Қатенің белгісі мен шамасына байланысты субтасымалдаушы ортогональдылығын жоғалтпай сигнал шоқжұлдызының оңай компенсацияланатын айналуы да, сигналды қалпына келтіру мүмкіндігінсіз арна аралық және таңбааралық кедергілердің пайда болуы да орын алуы мүмкін.

Арнаны бағалау мәселесі қабылдағыш қабылдаған сигналдың арна сипаттамаларына сәйкес бұрмалануынан туындайды. Егер арна аралық кедергілер болмаса, әрбір ішкі тасымалдаушыны тәуелсіз арна деп санауға болады. OFDM сигналындағы қосалқы тасымалдаушылардың ортогональдық принципі әрбір қабылданған ішкі тасымалдаушыны берілетін ішкі тасымалдаушының өзара әрекеттесуінің және оның арна жиілігінің реакциясының өнімі ретінде көрсетуге мүмкіндік береді. Осылайша, әрбір ішкі тасымалдаушы үшін арна бағасының арқасында жіберілген сигналды қалпына келтіруге болады. Әдетте, арнаны бағалау OFDM сигналының қосалқы тасымалдаушылары арасында берілетін, алдын ала анықталған сипаттамалары бар пилоттық сигналдардың әртүрлі түрлерін пайдаланады. Әртүрлі цифрлық

хабар тарату жүйелері үшін арнаны бағалаудың нақты әдісін таңдау үшін оны іске асыруда қажетті тиімділікті, есептеу күрделілігін және уақыт бойынша арнаның ықтимал өзгергіштігін қоса алғанда, көптеген әртүрлі аспектілерді ескеру қажет.

Шекті фактор мәселесі OFDM жүйелеріндегі күрделі мәселе болып табылады. Жоғары Шекті факторы ОБПФ көмегімен OFDM сигналының қалыптасуымен түсіндіріледі, оның процесінде ішкі тасымалдаушылардың үлкен санының амплитудалары қосылады.

Жоғары Шекті факторы таратқыш жабдықтың радиожиілік түйіндерінде қатты гармоникалық бұрмалануды тудырады. Таратқыштарда сигналдың бұрмаланусыз берілуін қамтамасыз ету үшін жоғары сызықтық қуат күшейткіштері қажет. ВЧ- сигналдың сызықтық аймақ шегінен шығуы күшейткіш жолақтан тыс сәулеленудің жоғарылауына және модуляция кателерінің жоғарылауына әкеледі (MER – Modulation Error Ratio).

Шекті -факторды төмендетпей, таратқыштың жоғары пайдалы әсер коэффициентін (КПД) қамтамасыз ету мүмкін емес, ал КПД-нің төмендігі оның қымбаттауына алып келеді. Айта кету керек, шыңның орташа кернеуге қатынасы болып табылатын "Шекті факторы" ұғымынан басқа, көбінесе "шыңның орташа қуатқа қатынасы"-PAPR (peak – to-Average Power Ratio) ұғымымен жұмыс істейді, ал PAPR-Шекті фактордың квадраты.

1.2 Цифрлық сигналдың энергетикалық және ақпараттық сипаттамаларына шекті факторының әсері. Шекті факторын төмендету әдістері

Шекті факторын анықтау. Дискретті уақыт аймағында OFDM $x[n]$ таңбасының күрделі конверті өрнекпен сипатталады:

$$x[n] = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_k \exp \left[\frac{j2 \pi nk}{N} \right], 0 \leq n \leq N - 1 \quad (1.2)$$

мұндағы N – ішкі тасымалдаушылар саны;

n – уақыт облысындағы таңбаның дискретті үлгісінің саны;

X_k – жіберілетін деректер, k -ші қосалқы тасымалдаушы.

Содан кейін OFDM $x[n]$ таңбасының PAPR формуласын анықтауға болады:

$$\text{PAPR}(x[n]) = \frac{\max_{0 \leq n \leq N-1} [|x[n]|^2]}{M[|x[n]|^2]} \quad (1.3)$$

мұндағы M – математикалық күту.

(1.3) формуласының алымындағы өрнек OFDM символының ең жоғары қуатын, ал бөлгіште орташа мәнді білдіреді.

Цифрлық сигнал сипаттамаларына Шекті факторының әсері. Көптеген

кездейсоқ фазалар мен амплитудалық қосалқы тасымалдаушылардың қабаптасуына байланысты OFDM сигналдары әдетте жоғары PAPR мәндеріне ие болады. Бұл жағдай цифрлық сигналдың сипаттамаларына айтарлықтай әсер етеді [1, 10, 17, 18].

Атап айтқанда, жоғары Шекті факторы бар сигналды пайдаланудың келесі жағымсыз салдарын атап өткен жөн:

- Шыңдарда пайда болатын сызықты емес бұрмаланулар субтасымалдаушы ортогональдық бұзылыстарын, таңбааралық және таңба ішілік кедергілердің жоғарылауын, интермодуляция шуын, фазалық бұрмалануды және қалай? демек, сигналды қабылдау кезінде бит қателерінің ықтималдығын арттырады.

- Сигналдың жоғары шыңы қуаты кеңейтілген динамикалық диапазоны және күшейту сипаттамаларының жоғары сызықтылығы бар қуат күшейткішті қажет етеді. Тиісінше, максималды қуаты жоғарылаған (яғни, қуатты пайдалану коэффициенті төмендетілген) және тиімділігі төмендетілген күшейткішті пайдалану қажет, бұл сайып келгенде жабдықтың энергия тиімділігін төмендетеді және оның техникалық-экономикалық сипаттамаларын нашарлатады.

Осылайша, OFDM сигналының Шекті факторын төмендету мәселесі сәйкес жүйелерде, оның ішінде цифрлық хабар тарату жүйелерінде ақпаратты беру/қабылдау сапасы мен тиімділігін қамтамасыз ету тұрғысынан өте маңызды, бұл мәселені шешудің әртүрлі әдістері.

Кез- келген Шекті факторын азайту (немесе PAPR) техникасының өнімділігін бағалау кезінде PAPR таралу тұрғысынан OFDM сигналының өнімділігі ескерілуі керек. PAPR таралуының стохастикалық сипаттамалары бар және әдетте толықтауыш арқылы өрнектеледі. PAPR белгілі бір Шекті γ асып кету ықтималдығын көрсететін кумулятивтік тарату функциясы (CCDF - Complementary Cumulative Distribution Function):

$$CCDF(\gamma) = P[PAPR > \gamma] \quad (1.4)$$

Егер цифрлық сигналдың сапасы разрядтық қателік жылдамдығымен (BER) бағаланса, кодты шешуге дейінгі OFDM сигналының сапасы модуляция қателігінің жылдамдығымен (MER) бағаланады. MER шу ғана емес, сонымен қатар Цифрлық сигналдарға енгізілген барлық ішкі және сыртқы кедергілер мен гармоникалық бұрмалануларды қамтиды. MER дБ-дегі қуат қатынасы ретінде мына формуламен анықталады:

$$MER = 101 \log_{10} \frac{\sum_{k=0}^{N-1} (I_k^2 + Q_k^2)}{\sum_{k=0}^{N-1} (I_k - I_2)^2 + (Q_k + Q_2)^2} \quad (1.5)$$

мұндағы I_k және Q_k - k -ші ішкі тасымалдаушыда берілетін символдың идеалды I және Q құрамдастары;

I_k және Q_k - k -ші ішкі тасымалдаушыда берілетін таңбаның нақты I және

Q құрамдастары.

Шекті факторын азайту әдістері. OFDM модуляциясы бар жүйелерде Шекті коэффициентін төмендетудің әртүрлі әдістері қолданылады, олар шартты түрде сигналдың бұрмалануына негізделген әдістерге және сигналды бұрмалаусыз әдістерге (сигналдың шифрлануына негізделген) бөлінеді. Сигналдың бұрмалануынсыз Шекті факторын азайту әдістері (сигналдың шифрлануына негізделген) қосымша ішкі тасымалдаушыларды немесе разрядтық тізбектерді пайдалануды, сондай-ақ қосымша ақпаратты беруді қамтиды.

Бұл әдістер BER, MER деградациясын және диапазоннан тыс сигнал компоненттерінің ұлғаюын тудырмайды, бірақ олар қажетті разряд үлгілерін табу үшін айтарлықтай есептеу қуатын қажет етеді. Сигналдарды шифрлеуге негізделген әдістерге, атап айтқанда:

- Қадамарды түрлендіру;
- көмекші тізбекті кірістіру;
- таңдамалы деңгей дисплейі және бөлінген тізбекті беру;
- жылжыту және блоктық кодтау;
- тонды резервтеу;
- дыбысты енгізу;
- сигнал шоқжұлдызының белсенді кеңеюі.

Бұрмалауға негізделген шың-факторды азайту әдістері OFDM сигналының гармоникалық бұрмалануына байланысты шыңдарды басуды қамтиды. Бұл әдістер іске асырудың қарапайымдылығымен қатар жақсы ең жоғары қабылдамауды қамтамасыз етеді, бірақ олар сонымен қатар іріктеу және арнайы сүзгілеу арқылы жақсартуға болатын BER деградациясына әкеледі. Бұрмалауға негізделген әдістерге мыналар жатады:

- сызықты емес компандирлеу;
- поднесущих шыңдарын басу;
- кездейсоқ фазалық ығысу;
- конвертті масштабтау;
- клиппинг және сүзу.

Жоғарыда аталған әдістердің кейбірін қысқаша қарастырайық.

Қиып алу және сүзу. Деңгей бойынша сигналды шектеу әдісі (қиып алу) сигнал шыңдарына кесуді (қиюды) немесе Шекті коэффициентін азайту үшін сигнал деңгейінің сызықты емес қанықтылығын қолдануға негізделген.

Бұл әдісті жүзеге асыру өте қарапайым, дегенмен кез - келген сызықты емес түрлендіру сияқты ол жолақ ішіндегі және диапазоннан тыс кедергілердің пайда болуын тудырады, соның ішінде ішкі тасымалдаушылардың ортогоналдылығының бұзылуына әкелетіндер. Бұл әдіс кесу мен сүзуді, сондай-ақ автоматты шешім қабылдау алгоритмдерін қолдануды қамтиды.

Шекті коэффициентін азайтудың қарапайым схемасы жіберілетін сигналдың максимумын алдын - ала белгіленген деңгейге дейін шектейді, бірақ оның келесі маңызды кемшіліктері бар:

- кесу бұрмалауға әкеледі, яғни қабылданған сигнал сапасының

төмендеуіне;

- қию көрші арналарға кедергі келтіретін диапазоннан тыс шығарындылардың пайда болуын тудырады.

Бұл әсерлер сүзгілеу арқылы ішінара өтеледі, бірақ сигналдың жоғары жиілікті құрамдас бөліктері бұрмалануы мүмкін. Сонымен қатар, сүзу операциясынан кейінгі сигнал таңдалған кесу деңгейінен асып кетуі мүмкін.

Неғұрлым тиімді және перспективалы нұсқа - толқын пішінінің бұрмалануын азайтуға және «спектрді тарату» әсерлерін басқаруға мүмкіндік беретін терезе функцияларын пайдалану. Бұл әдіс аясында OFDM сигналы мен салмақ терезесі функциясының логикалық көбейтіндісі арқылы алынған мультипликативті сигнал қиылады. Бұл жағдайда әдістің тиімділігі көбінесе терезе функциясының барабар таңдауымен анықталады.

Таңдамалы деңгейді салыстыру және бөліктелген дәйектілікті тасымалдау (Selective Mapping - SLM). SLM алгоритмін қолдану арқылы Шекті коэффициентін азайту үшін OFDM символдарының бірнеше баламалы көріністері жасалады. Ең көп таралған жағдайда OFDM символының фазасын өзгертетін кездейсоқ векторлар жинағы жасалады. Сайып келгенде, беру үшін ең кіші Шекті факторы бар таңба таңдалады.

SLM алгоритмі келесі қадамдардан тұрады:

- OFDM символының фазасын өзгертетін кездейсоқ векторлар жиынын құру;

- алынған векторларды кіріс OFDM символдарының көшірмелерімен көбейту,

OFDM символдарының жиынтығын қалыптастыру;

- қабылданған OFDM символдары үшін Шекті коэффициентін есептеу;

- ең кіші Шекті факторы бар OFDM символын беру үшін таңдау.

Тиімділікті арттыру үшін әдетте фазалық векторлардың саны шектеледі. Олар таратқыш пен қабылдағышта сақталады және қабылдағышқа тек таңдалған вектордың саны жіберіледі.

Бұл алгоритмді іске асыру үшін бірнеше параллель Әдістің күрделілігіне айтарлықтай әсер ететін OFDM модуляторлары.

Тонды брондау (TR). TR алгоритмі күрделі амплитудалары Шекті факторын басуға арналған қосалқы тасымалдаушыларды енгізу үшін сигнал спектріндегі позицияларды резервтеуге негізделген. Бұл алгоритм OFDM шығыс сигналына сызықтық емес бұрмалануларды енгізбейді. Қосымша бөлінген жиілік ресурсының ені резервтелген қосалқы тасымалдаушылар санымен анықталады, ақпараттық ішкі тасымалдаушылардың саны өзгеріссіз қалады.

Бұл алгоритм резервтелген қосалқы тасымалдаушылардың оңтайлы күрделі амплитудаларын Цифрлық іздеуге байланысты жеткілікті жоғары есептеу күрделілігіне ие, бұл кезде минималды Шекті фактор коэффициенті қамтамасыз етіледі. Бұл тәсіл үлкен есептеу ресурстарын қажет ететін оңтайландыру мәселесін шешуді білдіреді.

Шекті фактор коэффициентін азайтудың бұл алгоритмінің басты артықшылығы - қосымша (үшінші тарап) ақпаратты тасымалдау қажеттілігінің

болмауы.

Блокты кодтау. Блоктық кодтау алгоритмдеріне негізделген әдістер кодтаушының кіріс комбинацияларының жиынын берілген деңгейден аспайтын шындық коэффициенті бар сөздер жиынына салыстырудан тұрады. Бұл жағдайда жіберілген хабарламадағы артықшылық аздап артады. Бұл әдістер тобының кемшілігі - бұл өте жоғары есептеу күрделілігі ішкі тасымалдаушылардың салыстырмалы түрде аз саны бар OFDM сигналдарында қолданудың нақты мүмкіндігі.

Белсенді шоқжұлдыз кеңейтімі (Active Constellation Extension – ACE). ACE әдісінің принципі шоқжұлдыздың сыртқы нүктелерінің орнын динамикалық түрде Шекті факторын азайту үшін өзгерту болып табылады.

Бұл әдісті жүзеге асыратын рекурсивті процедура келесі операцияларды қамтиды:

- жиілік доменінде OFDM символын көрсету;
- сигналды уақыттық аймақта көрсетілген мәннен асатын деңгейге дейін шектеу;
- жиілік доменіне қайта-қайта түрлендіру және шешілмеген бағытта қозғалған шоқжұлдыздық нүктелерді қалпына келтіру;
- рекурсия: итерациялардың бекітілген санына жеткенге дейін уақыт доменіндегі ауысу нүктесіне оралу.

Тиісінше, ACE алгоритмі мыналарды қамтиды:

- берілген коэффициентпен сигналды қайта іріктеу (аралық мәндер нөлдермен толтырылады);
- ОДПФ көмегімен сигналды түрлендіру;
- сигналдың шектелуі;
- Фурье түрлендіруінің ұзындығын пропорционалды (берілген коэффициентке сәйкес) қысқартумен ДПФ көмегімен сигналды түрлендіру;
- сигнал шоқжұлдызының кеңеюі;
- сигнал шоқжұлдызының кеңеюін шектеу;
- жиілік облысындағы шығыс сигналын алу.

Әдістің тиімділігі негізінен шектеу деңгейін таңдауға байланысты. Шекті факторын төмендету әдістерін салыстырмалы талдау нәтижелері [14, 15] 1.4 кестеде келтірілген.

Цифрлық хабар тарату жүйелері мен жабдықтарына, атап айтқанда, радиотаратқыш құрылғылардың техникалық-экономикалық көрсеткіштеріне қойылатын талаптарды ескере отырып, ең танымал әдістерге есептеу күрделілігі төмен және сигналдарды өңдеудің күрделі алгоритмдерін пайдалануды қажет етпейтін әдістер жатады. радиотаратқыш құрылғы.

Осылайша, цифрлық хабар тарату сигналдарының Шекті факторын басу алгоритмдері мен әдістерін одан әрі жетілдіру мәселесін шешу сигнал амплитудасын шектеу әдістерін жаңарту және дамыту бағытында жүзеге асырылуы керек (қиып алу әдісі және оның сорттары, мысалы: терезе салмағына негізделген әдістер).

Кесте 1.4 - Шекті факторын төмендету әдістерін салыстыру

Әдісі	Есептеу күрделілігі	Деградация сигнал	Азайту жылдамдық берілуі	Арттыру қуат сигналы
кесу және сүзу	төмен	ия	жоқ	жоқ
сызықтық емес үйлесімділік	төмен	ия	жоқ	жоқ
таңдамалы бейнелеу	жоғары	жоқ	ия	жоқ
тонды брондау	орташа	жоқ	ия	жоқ
тонды енгізу	орташа	ия	жоқ	ия
блоктық кодтау	жоғары	жоқ	ия	жоқ
шоқжұлдыздың белсенді кеңеюі	орташа	ия	жоқ	ия

1.3 Цифрлық хабар тарату желілері мен жабдықтарын жетілдіру жолдары

Заманауи цифрлық эфирлік радиобаар тарату жүйелерінің және олардың құрылғыларының негізгі сипаттамалары мен ерекшеліктерін талдау оларды жетілдірудің келесі жолдарын анықтауға мүмкіндік береді:

- әртүрлі жағдайларда жоғары сапалы сигналды қабылдауды қамтамасыз ету үшін жүйе параметрлерінің жиынтығын оңтайландыру;

- оператордың типтік және жеке ерекшеліктерін ескере отырып, таратқыш жабдықты оңтайлы таңдау;

- цифрлық сигналды қалыптастыру және өңдеу алгоритмдерін оңтайландыру.

Желілер мен цифрлық хабар тарату жабдықтарын жетілдірудің анықталған жолдары негізінде келесі мақсаттарға қол жеткізу қажет:

- әртүрлі жағдайларда қабылдаудың жоғары сапасын қамтамасыз ету үшін цифрлық радиобаар тарату жүйесінің параметрлерін таңдау бойынша ұсыныстар әзірлеу;

- әртүрлі конфигурациядағы хабар тарату желілерінде көп жиілікті немесе бір жиілікті технологияны таңдау бойынша ұсыныстар әзірлеу;

- оператордың типтік және жеке ерекшеліктерін ескере отырып, салмақтық факторлар жүйесі негізінде цифрлық хабар тарату жабдығын таңдау әдістемесін әзірлеу;

- цифрлық хабар тарату жүйелерінде қосалқы деректерді беру мүмкіндіктерін тиімді пайдалану бойынша ұсыныстар әзірлеу;

- базалық жолақты сигналдарды кесу негізінде DRM стандартының цифрлық хабар тарату сигналының шыңік коэффициентін азайтудың модификацияланған алгоритмін жасау [18];

- DRM сигналдарының энергетикалық және ақпараттық сипаттамаларын зерттеуді қамтамасыз ететін модификацияланған модельдеу әдістемесін әзірлеу

және бағдарламалық қамтамасыз етуді енгізу;

- далалық сынақтар кезінде сигнал үлгілерін жазуды және әртүрлі нүктелер мен қабылдау сценарийлері үшін жазылған деректерді кейінгі талдауды қоса алғанда, қалалық ортада цифрлық хабар тарату сигналдарын жылжымалы қабылдау сапасын сынаудың модификацияланған әдістемесін әзірлеу.

Осыған байланысты алға қойылған мақсаттарға қол жеткізу үшін сәйкесінше келесі міндеттерді шешу қажет:

- Цифрлық хабар тарату жүйесі параметрлерінің әртүрлі жағдайларда сигналды қабылдау сапасына әсерін зерттеуді жүргізу;

- әртүрлі конфигурациялы желілерде көпжиілікті және бір жиілікті технологиялар негізінде цифрлық хабар тарату желілерін құру нұсқаларын зерделеу;

- қолданыстағы цифрлық хабар тарату жабдығының техникалық сипаттамалары мен функционалдығын талдау;

- цифрлық хабар тарату жүйелерінде көмекші деректерді тасымалдау жолдарын зерттеу;

- DRM жүйесін модельдеудің қолданыстағы әдістері мен құралдарын талдау;

- DRM сигналының шың-факторын зерттеу үшін модельдеу әдістемесінің құрылымын таңдау және негіздеу;

- DRM сигналдарының Шекті факторын азайту әдістерін салыстырмалы зерттеуді жүргізу;

- Шекті факторын азайту тұрғысынан DRM сигналдарын оңтайландыру критерийлерін негіздеу.

Бұл дипломдық жұмыс алға қойылған міндеттердің көпшілігін шешуге арналған.

Цифрлық хабар тарату жүйелеріне қолданылатын OFDM сигналының шың-факторын азайту әдістерін салыстырмалы бағалау кесу әдісін әзірлеу және жаңарту негізінде шың-факторды азайту әдістері мен алгоритмдерін одан әрі жетілдірудің орындылығы мен перспективасын көрсетті.

Желілер мен цифрлық хабар тарату жабдықтарын жетілдірудің перспективалық жолдарын бағалау нәтижелері бойынша дипломдық зерттеудің негізгі мақсаттары мен нақты міндеттері келесі бағыттар бойынша зерттеулерді қамтитын тұжырымдалды:

- цифрлық хабар тарату таратқыштарына қойылатын талаптарды негіздеу әдістемесін әзірлеу;

- төмендетілген Шекті коэффициенті бар DRM стандартының цифрлық хабар тарату сигналдарын қалыптастырудың модификацияланған алгоритмін құру;

- DRM сигналдарының энергетикалық және ақпараттық сипаттамаларын зерттеу мақсатында модельдеу әдістерін өзгерту және енгізу.

2 Цифрлік радио хабарламасының жүйесі мен желілік шешімдерін зерттеу және әзірлеу

2.1 Цифрлық хабар тарату жүйесі параметрлерінің әртүрлі жағдайларда сигналды қабылдау сапасының әсерін зерттеу

DRM стандартының цифрлық хабар тарату жүйесі бірқатар параметрлерді пайдаланады, олардың мәндері әртүрлі жағдайларда сигналды қабылдау сапасына әртүрлі әсер етеді. Әртүрлі қабылдау сценарийлері үшін жүйенің ең жоғары тиімділігін қамтамасыз ететін оңтайлы параметр мәндері бар. Параметрлердің ең оңтайлы жиынтығын таңдау ықтимал нұсқалардың әртүрлілігіне байланысты өте қиын міндет болып табылады.

DRM жүйесіндегі жіберу режимі екі топқа бөлінген параметрлермен анықталады:

- сигнал өткізу қабілетінің параметрлері;
- беріліс тиімділігінің параметрлері.

Параметрлердің бірінші тобы берілетін радиобағдарламаның жалпы жиілік ресурсын анықтайды. Екінші топ пайдалы бит жылдамдығы мен берілетін сигналдың шуылға, көп жолды және Доплер эффектілеріне беріктігі арасындағы байланысты анықтайды.

Кесте 2.1 - DRM сигналының өткізу қабілетінің параметрлері

Режим тұрақтылық		K_{min}/K_{max} ішкі тасымалдаушы нөмірлері әртүрлі спектрді бөлу режимдері					
		0	1	2	3	4	5
A	K_{min}	2	2	-102	-114	-98	-110
	K_{max}	102	114	102	114	314	350
B	K_{min}	1	1	-91	-103	-87	-99
	K_{max}	91	103	91	103	179	311
C	K_{min}	-	-	-	-69	-	-67
	K_{max}	-	-	-	69	-	213
D	K_{min}	-	-	-	-44	-	-43
	K_{max}	-	-	-	44	-	135
E	K_{min}	-106	-	-	-	-	-
	K_{max}	106	-	-	-	-	-

Ескерту - A тұрақтылық режимінде -1, 0, 1 сандары бар ішкі тасымалдаушылар пайдаланылмайды; B, C, D тұрақтылық режимдерінде 0 саны бар қосалқы тасымалдаушылар пайдаланылмайды.

Сигнал өткізу қабілеттілігінің параметрлер тобына спектрді бөлу режимі, K қосалқы тасымалдаушылар саны (K_{min} -нан K_{max} аралығында) және олардың тасымалдаушы жиілігіне қатысты бөлінуі жатады. Сигнал өткізу қабілетінің

параметрлері мен DRM тұрақтылық режимдері арасындағы байланыс 2.1-кестеде көрсетілген.

30 МГц-тен төмен хабар тарату әдетте номиналды өткізу қабілеті 9 кГц және 10 кГц арналарды пайдаланады. DRM стандарты сигналдың осы номиналды жиілік жолақтарында орналастырылуын қамтамасыз етеді, осылайша ағымдағы жиілікті жоспарлаудың өзгеріссіз қалуына мүмкіндік береді. Сонымен қатар, сигнал Simulcast режимінде жұмыс істеу үшін (аналогтық сигналмен бірге) көрсетілген номиналды жиілік диапазондарының жартысына (4,5 және 5 кГц) орналастырылады, және екі еселенген номиналды жиілік жолақтарында (18 және 20 кГц) жиілікті жоспарлау мүмкіндік беретін жағдайларда екі еселік қуатты қамтамасыз ету.

30 МГц жоғары, DRM + номиналды 100 кГц өткізу қабілеті бар арналарды пайдаланады.

Спектрді бөлу режимдері мен арна өткізу қабілеттілігі арасындағы байланыс 2.2-кестеде көрсетілген.

Кесте 2.2 - Спектрді бөлу режимдері мен DRM арнасының өткізу қабілеттілігі арасындағы байланыс

Тұрақтылық режимі	Арнаның жолақ ені, кГц, спектрді орналастырудың әртүрлі режимдерінде					
	0	1	2	3	4	5
A, B, C, D	4,5	5	9	10	18	20
E	100	-	-	-	-	-

Трансмиссия тиімділігінің параметрлері өз кезегінде екі топқа бөлінеді:

- код жылдамдығы мен сигнал шоғырының параметрлері;
- OFDM символының параметрлері.

Жалпы мультиплекстен қызметтің немесе қызметтің бір бөлігінің қажетті тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін DRM стандарты опциялар жинағын қамтамасыз етеді.

Бір немесе екі деңгейлі қорғаныс. Қолдану шарттарына байланысты беріктіктің бұл деңгейлері код жылдамдығын, сигнал шоғырының өлшемін (4-QAM, 16-QAM, 64-QAM) сәйкес таңдау немесе иерархиялық модуляция режимдерін пайдалану арқылы қамтамасыз етілуі мүмкін.

Шоқжұлдыз өлшемі мен код жылдамдығын таңдау қамту аймағында қол жеткізуге болатын есептелген С/Ш арқылы анықталады. Гаусс арнасы үшін тәжірибелік зерттеулер нәтижелерінің негізінде алынған DRM+ жүйесі үшін ұсынылатын коэффициенттер 2.3-кестеде көрсетілген.

Жалпы, DRM жүйесіндегі ішкі тасымалдаушылардың код жылдамдығын және модуляциясын таңдау критерийлері басқа Цифрлық телерадио жүйелеріндегіге ұқсас. Жоғары код жылдамдығы және модуляция тапсырыстары жоғары деректер жылдамдығын қамтамасыз етеді, бірақ жоғарырақ С/Ш қажет.

Кесте 2.3 - DRM + жүйесі үшін сигналдық шоқжұлдыз өлшемінің, код жылдамдығының және С/Ш қатынасының ұсынылатын арақатынасы

Сигналдық шоқжұлдыз	Код жылдамдығы	Мәліметтерді тасымалдау жылдамдығы, кбит/с	Ең аз қатынасы С/Ш,дБ
4-QAM	0,25	37,3	4,2
	0,33	49,7	5,1
	0,4	59,6	5,9
	0,5	74,5	6,2
16-QAM	0,33	99,5	8,9
	0,41	122,4	11,1
	0,5	149,1	13,0
	0,62	186,4	16,2

Кесте 2.4 - DRM жүйесінің тұрақтылық режимдерін қолданудың типтік шарттары

Тұрақтылық режимі	Типтік қолдану шарттары
A	Елеусіз өшуі бар Гаусс арналары. НЧ, СЧ, жолақтарындағы жер үсті радиотолқыны, 26 МГц диапазонындағы тікелей радиотолқын. Деректерді тасымалдаудың максималды жылдамдығы қамтамасыз етіледі.
D	Уақыт пен жиілікті таңдаулы арналар жоғарырақ кідірістің таралу мөлшері. Ионосфералық радиотолқын.
C	B тұрақтылық режиміне сәйкес, бірақ үлкенірек доплер аймағымен. Ол таралу шарттары күрделірек болса, мысалы, көп шағылысатын ұзын жолдар немесе бірнеше күшті шағылысулары бар радиотолқынның дерлік тік таралуы кезінде қолданылады.
D	B және C тұрақтылық режимдеріне сәйкес, бірақ бар айтарлықтай ұзағырақ кешігу және Доплер аймағы
E	30 МГц-тен жоғары диапазондағы уақыт пен жиілікті таңдамалы арналар

OFDM таңбасының параметрлері, мысалы, OFDM символының пайдалы бөлігінің ұзақтығы, қорғау аралығының ұзақтығы, OFDM символының ұзақтығы, OFDM кадрының ұзақтығы, ішкі тасымалдаушылар арасындағы жиілік аралықтары берілген және 1.1 бөлімінде талқыланады. Барлығы DRM стандарты беріктік режимдері деп аталатын OFDM таңба параметрлерінің бес жинағын анықтайды: A, B, C, D және E. Алғашқы төртеуі 30 МГц жиілік

диапазонына (DRM30 режимдері), соңғысы E , 30 МГц жоғары диапазонды білдіреді (DRM + режимі). DRM жүйесінің тұрақтылық режимдерін қолданудың типтік шарттары 2.4-кестеде көрсетілген.

Үлкенірек қорғау интервалы бар режимді таңдау үлкенірек бір жиілікті желілерді жасауға мүмкіндік береді. Екінші жағынан, бірдей басқа параметрлері бар OFDM символының пайдалы бөлігінің ұзағырақ ұзақтығы бар сигналдың Доплер эффектісіне төзімділігі нашар, яғни. оны тез өзгертін арналарда тиімділігін төмендетеді. Өрескел бағалау үшін жүйенің бірдей параметрлері үшін Доплер эффектісіне сигнал кедергісі ішкі тасымалдаушылар арасындағы жиілікті бөлуге пропорционалды және тасымалдаушы жиілігіне кері пропорционалды деп болжауға болады. Мысалы, басқа нәрселер тең болған жағдайда, тұрақтылық режимі «А» және тасымалдаушы жиілігі 4,7 МГц жүйе «D» тұрақтылық режимі және 12 МГц тасымалдаушы жиілігі бар жүйе сияқты Доплер эффектісіне шамамен бірдей иммунитетке ие болады.

Осылайша, тұрақты антенналары бар қабылдағыштарға жоғары жылдамдықты қызметтерді (жоғары сапалы дыбыстық бағдарламалар) жеткізу үшін «А» тұрақтылық режимі ең тиімді болады. Керісінше, ұялы телефон үшін қабылдау режимі тұрақтылық режимі «D» таңдалуы керек.

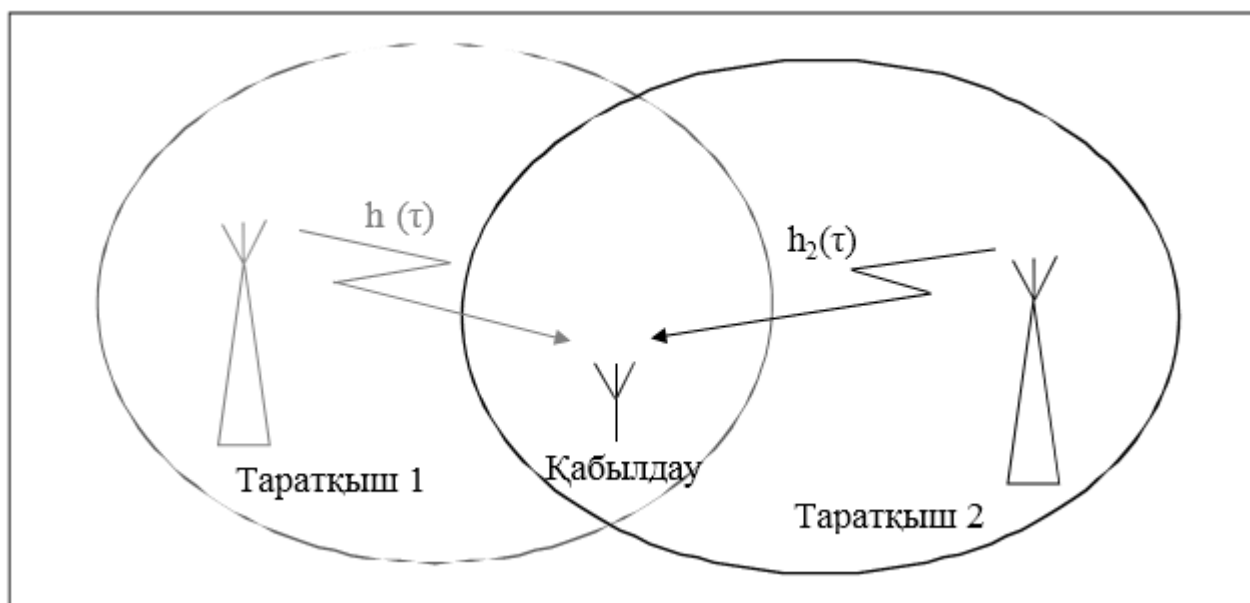
Тасымалдау арнасының сипаттамалары әрбір нақты жағдайда айтарлықтай шашырауға ие болуы мүмкін екенін есте ұстаған жөн, сондықтан әрбір нақты қабылдау сценарийі үшін желі нақты жағдайларда сыналуы керек және DRM жүйесінің максималды тиімділігіне қол жеткізу үшін параметрлер түзетілді.

2.2 Цифрлық радиохабардың бір жиілікті желілерін құру нұсқаларын зерттеу

2019 жылы Қазақстан Республикасында аналогтық телехабар тарату толығымен өшірілді және цифрлық DVB-T2 стандартына көшу жүзеге асырылды. Теледидардағы цифрлық хабар тарату форматына көшудің практикалық тәжірибесін радиохабар таратуды цифрландыруда сәтті қолдануға болады. Атап айтқанда, теледидарда бір жиілікті синхронды желілерді қолдану тәжірибесін бір жиілікті цифрлық хабар тарату желілерін құруда пайдалануға болады. Толық синхронды желі бірнеше төмен қуатты цифрлық хабар тарату таратқыштары негізінде құрылуы мүмкін, қозғалыс кезінде абонент сүйікті радиостанцияны тыңдай отырып, бір таратқыштан екіншісіне үздіксіз ауысады.

Ең қарапайым классикалық бір жиілікті желі бір жиілікте жұмыс істейтін және бір сигналды шығаратын екі аралықтағы таратқыштан тұрады. Қабылдаушы жағында екі таратқыштың жиынтық сигналын әрбір таратқыштан келетін жеке сигнал жолдарының импульстік жауаптарының қосындысына тең импульстік жауаппен эквивалентті арна арқылы өткен жалғыз сигнал ретінде қарастыруға болады.

Мұндай бір жиілікті желінің типтік мысалы 2.1-суретте көрсетілген.



2.1-сурет - Бір жиілік желісінің типтік мысалы

Таратқыштар бір-бірінен жеткілікті қашықтықта орналасқан деп есептей отырып, олардан келетін сигналдар тәуелсіз арналар арқылы беріледі деп есептеу керек. Әдетте, қабылдағыш әдетте әртүрлі сәулелену қуаттары бар таратқыштарға қатысты кездейсоқ орналасады. Сондықтан қабылдау орнындағы әртүрлі станциялардан келетін сигнал деңгейлерінде теңгерімсіздік бар. Осыны ескере отырып, h_{SFN} бір жиілігінің эквивалентті импульстік жауабын келесідей жазуға болады:

$$h_{SFN} = h_1(\tau) + \sqrt{1 - \beta} \times h_2(\tau - \Delta), \quad (2.1)$$

мұндағы h_1 , h_2 - таралу арналарының және әрбір станциядан келетін сигналдардың күрделі импульстік жауаптары;

Δ – қабылдау нүктесіндегі станциялардан сигналдардың таралу уақытының айырмашылығы;

β – қабылдау нүктесіндегі станциялардан келетін сигнал деңгейлерінің теңгерімсіздігінің коэффициенті.

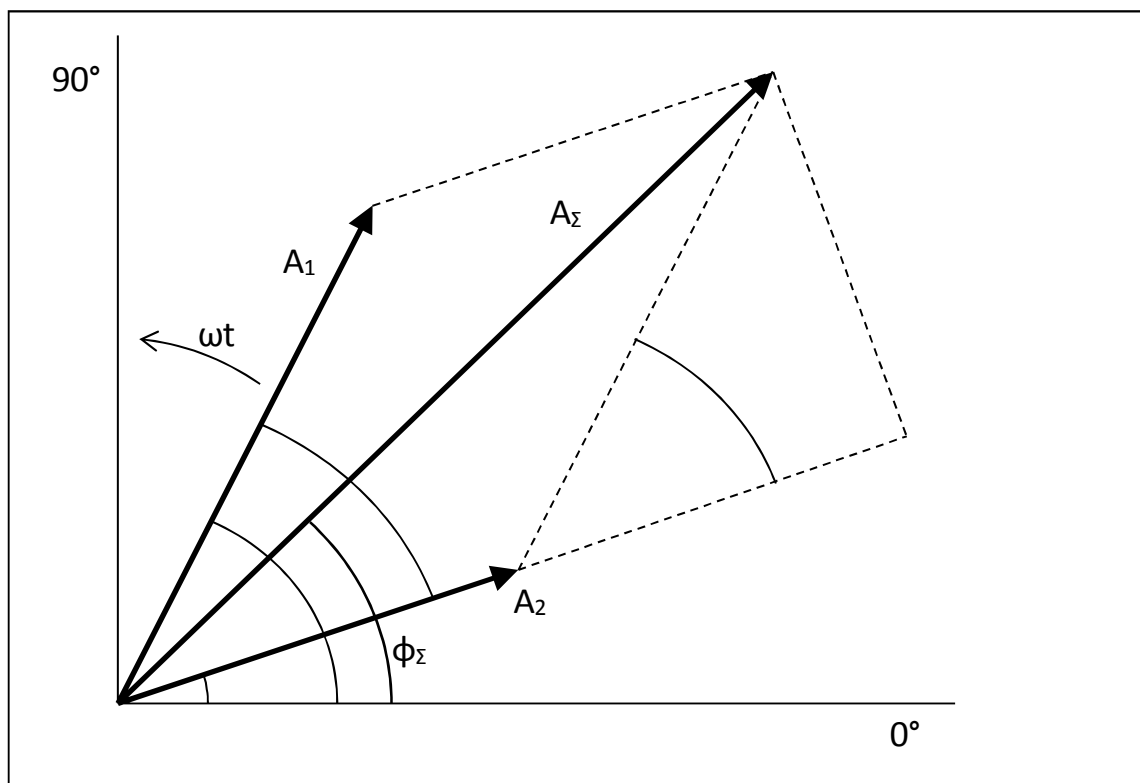
Бір жиілікті желінің кемшілігі желідегі әртүрлі таратқыштардың ішкі тасымалдаушыларының кедергілерінен туындаған сигнал спектрінің төмендеуі болып табылады.

2.2-суретте құрылымы бойынша когерентті бір жиілікті желінің екі таратқышының сигналдарының векторлық диаграммасы көрсетілген [6].

Қабылдау нүктесіндегі екі таратқыштың когерентті сигналдары да 2.2-суретте амплитудалары A_1 және A_2 және сәйкесінше φ_1 және φ_2 фазалары бар векторлар арқылы көрсетілген. Жалпы сигнал $\Psi_{\Sigma}(t)$ келесі өрнекпен сипатталады:

$$\Psi_{\Sigma}(t) = A_{\Sigma} \cos(\omega t + \varphi_{\Sigma}), \quad (2.2)$$

$$A_{\Sigma} = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)} \quad (2.3)$$



2.2-сурет – Когерентті сигналдардың векторлық диаграммасы бір жиілікті желінің екі таратқышынан

Егер T_0 - фазалар айырмашылығынан туындайтын кідіріс деп есептесек, онда (2.3) өрнек келесі түрде көрсетіледі:

$$A_{\Sigma} = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(2\pi f T_0)} \quad (2.4)$$

мұндағы f – тасымалдаушы жиілігі.

(2.4) өрнек, егер қабылдау нүктесіндегі екі таратқыштың сигнал деңгейлері әртүрлі болса, A_{Σ} жалпы сигналының амплитудасы ешқашан нөлге тең болмайтынын көрсетеді. Алайда, егер олардың деңгейлері тең болса, яғни $A_1 = A_2 = A$, содан кейін (2.4) өрнек келесіге жеңілдетілген:

$$A_{\Sigma} = \sqrt{2A \cos(2\pi f T_0)}. \quad (2.5)$$

(2.5) өрнектен нәтиже сигнал периодты түрде нөлге тең болады, яғни. Цифрлық хабар тарату спектріндегі қосалқы тасымалдаушылардың кейбірі жоғалады. Спектрдегі құлдырау саны таратқыштар арасындағы сигналдың

кешігуіне байланысты, төмендеулер арасындағы жиілік аралық Δf келесі формуламен анықталады:

$$\Delta f = 1/T_0 . \quad (2.6)$$

Кедергі әсерінен туындайтын қабылдау нүктесіндегі сигнал-шу қатынасының (С/Ш) төмендеуі таратқыштардың қуатын арттыру арқылы өтеледі.

DRM + стандартына келетін болсақ, сигнал спектрі салыстырмалы түрде тар (96 кГц), ал қабаттасу аймағында сигнал біркелкі өшуге бейім екенін атап өткен жөн. Біркелкі өшу мәселесін шешу үшін бір жиілікті DRM+ желісінің таратқыштарының сигналдарына 15 ... 30 мкс ретті әртүрлі уақыт кешігулері енгізіледі [7].

Бір жиілікті желідегі таратқыштар арасындағы максималды қашықтық қорғау интервалының ұзындығымен анықталады. DRM + жүйесінде күзет аралығының ұзақтығы 0,25 мс құрайды, сондықтан таратқыштар арасындағы қашықтық 75 км-ден аспауы керек.

Бір жиілікті желі конфигурацияларының мысалдары ретінде біз бір-бірінен тыс таратылатын аймақтары бар бірдей қуаттағы екі таратқышты немесе қуаттылығы төмен таратқыштар тобымен қоршалған бір қуатты орталық таратқышы бар опцияны ұсына аламыз. Таратқыштардың шығыс қуатының мүмкін төмендеуінен абсолютті пайда қабылдау нүктесіндегі деңгейлер мен сигналдың кешігуінің айырмашылығына байланысты, бұл жиілік-аумақтық жоспарлау процесінде бағалануы керек.

2.3 Цифрлық радиохабар таратқышты оңтайлы таңдау әдістемесін әзірлеу

Қазіргі уақытта әлемде цифрлық хабар тарату технологияларының даму үрдісі байқалады. Әрине, цифрлық хабар тарату таратқыштарын өндірушілер таратқыш пайдаланушыларды өз өнімдеріне тарту үшін бар күш-жігерін салады. Бұл үшін олар таратқыштарға резервтік құрылғыларды енгізеді, оларға әртүрлі қызмет көрсету функцияларын береді, техникалық қызмет көрсету және жөндеу үшін техникалық орталықтарды ұйымдастырады және тағы басқалар.

Таратқыштарды пайдаланушылар, бұл жабдықты жеткізушілер, таратушы орталықтар мен желілердің дизайнерлері мен операторлары, әдетте, хабар тарату жабдықтарын таңдағанда, экономикалық факторларға немесе қалыптасқан пікірге және көбінесе өндірушінің "атауларына" қанағаттанады.

Алайда, бұл жағдайда экономикалық фактор таңдаудың объективтілігін көрсете алмайды, өйткені кез-келген қосымша опция экономикалық салыстырудың дәлдігін бұрмалайды. Сондай-ақ, жасанды екенін есте ұстаған жөн өнім құнының төмендеуі міндетті түрде оның пайдалану көрсеткіштеріне әсер етеді, бұл, сайып келгенде, қосымша шығындарға әкеледі.

Белгілі бір өндірушіні және таратқыштың құрамын таңдау тәсілдерінің бірі-салмақты бағалау, оның мәні әрбір техникалық немесе пайдалану көрсеткіші бойынша ұпайларды қосу арқылы жеке өнімнің техникалық мүмкіндіктерін формальды салыстыруға дейін азаяды.

Бұл бөлімде техникалық және пайдалану параметрлерін жинақтау жолымен алынған максималды бағалау негізінде цифрлық хабар тарату таратқыштарын таңдау әдістемесі ұсынылады.

Бұл техниканы сипаттайтын алгоритм 2.3-суретте көрсетілген.

Техниканың мәні келесідей.

Бірінші кезеңде ұқсас сипаттамаларымен салыстыру үшін әртүрлі өндірушілердің жабдықтарының N моделі анықталады.

Содан кейін салыстыру үшін M параметр таңдалады.

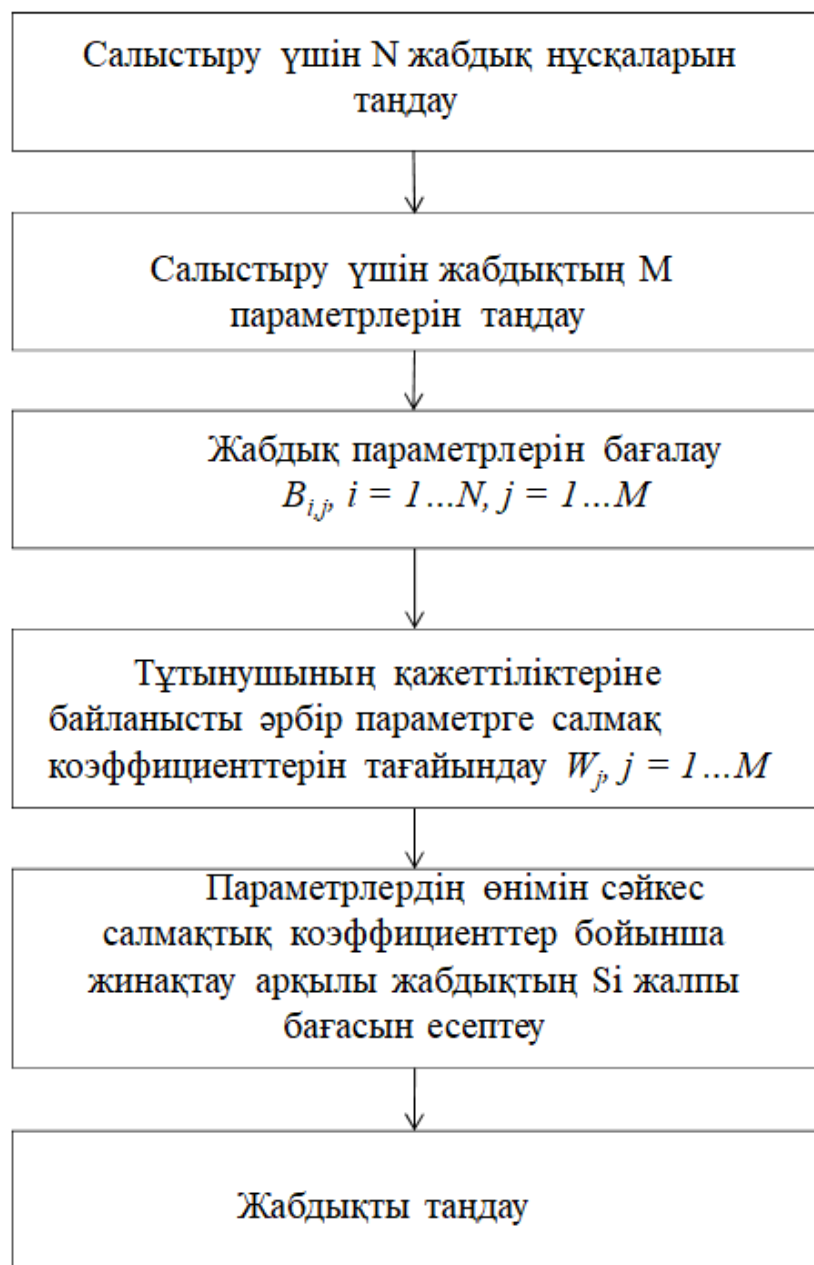
Әрбір i -ші таратқыш үшін ($i = 1 \dots N$), оның әрбір j -ші параметріне ($j = 1 \dots M$) төменде келтірілген принциптерге сәйкес нүктелердің белгілі бір саны тағайындалады. Содан кейін әрбір $B_{i,j}$ ұпайы алынған параметрге сәйкес W_j салмақ коэффициентіне көбейтіледі. Салмақ коэффициенті таратқышты жалпы бағалауда пайдаланушы үшін осы немесе басқа параметрдің маңыздылығын көрсетеді және жабдықты пайдалану шарттарына байланысты өзгертілуі мүмкін. $S_{1 \dots N}$ (2.7 өрнек) салмақтық коэффициенттері бойынша ұпайлар өнімдерінің қосындысы таратқыштың жалпы бағасын береді, ол неғұрлым жоғары болса, таратқыш тұтынушының талаптарына сәйкес келеді.

$$\sum B_{i,j} \cdot W_j \quad (2.7)$$

Төмендегі 2.5-кестеде кез келген хабар тарату DRM таратқышы мен бағалау принциптерін бағалауға болатын параметрлердің толық емес тізімі берілген.

Таратқышты пайдаланушы әрбір параметрге оның өзі қойған мәселені шешудегі субъективті маңыздылығын анықтайтын салмақ коэффициентін тағайындайды. Салмақ коэффициенттерінің туындыларының қосындысы және таратқыш параметрлерінің нүктелік бағалары пайдаланушыға таратқыштың мәселені шешу қабілетіне объективті баға береді.

Сонымен қатар, пайдаланушы кез келген басқа техникалық немесе операциялық параметрлерді олардың пайдаланушы үшін маңыздылығына қарай қосымша бағалай алады.



2.3-сурет– Цифрлық хабар тарату таратқышын оңтайлы таңдау әдістемесін сипаттайтын алгоритм

Кесте 2.5 - Таратқыш параметрлерінің тізімі

№	Сипаттама	Балл беру принципі	Ескертпе
1	КПД	$B_{кпд} = 1,5 * (P_{вых} / P_{потр})$	Бкпд-КТД үшін балдар; P _{вых} -таратқыштың шығу қуаты; P _{потр} -таратқыш тұтынатын қуат (Формула келесідей бейімделген бұл орташа қуаты 1 кВт таратқыш 1 балл алады)

2.5 кестенің жалғасы

2	Синхрондау	Сыртқы: +1 балл; Кіріктірілген ГЛОНАСС/GPS-тен қабылдау: +1 балл; MDI бойынша бейімделгіш: +1 балл; NTP: +1 ұпай	
3	Енгізу интерфейсі	Ethernet, 1 дана: 0 ұпай; Ethernet, >1 дана.: +1 ұпай; USB сақтау: +1 ұпай; Басқалары: әр түрі үшін +1 балл.	
4	Қашықтан бақылау	Жоқ: 0 ұпай; RS-232: +1 ұпай; RS-485: +1 ұпай; Ethernet: +1 ұпай; 3G / 4G модемі: +1 ұпай; Сал.: +1 ұпай.	
5	Қоздырғыш опциялары	SFN режимі: +1 балл; ГЛОНАСС модулі / GPS : +1 ұпай; Сигналды кешіктіру: +1 балл; Шекті факторының төмендеуі: +1 балл; Цифрлық түзету: +1 ұпай; Аналогтық сигнал шығысы: +1 ұпай; Басқалары: әр түрі үшін +1 балл.	
6	Режимде жұмыс істеу Simulcast	Жоқ: 0 ұпай; Бар: 1 ұпай	
7	Резервтеу	Жоқ: 0 ұпай; Кіру: +1 балл; Қоздырғыш: +1 балл; Күшейткіш: +1 балл; Қуат көзі: +1 балл.	
8	Қорғау жүйелері	Жоқ: 0 ұпай; Қызып кетуден қорғау: +1 балл; КСВ бойынша қорғау: +1 балл; Басқалары: әр түрі үшін +1 балл.	
9	Жұмыс температурасының диапазоны	Стандартты (+5...+45 градус.): 0 ұпай; Кеңейтілген: 1 ұпай.	
10	Салқындату	Ауа: 0 ұпай; Сұйықтық: 1 пт.	Ұпайларды беру тәртібі тұтынушының талаптарына байланысты өзгертілуі мүмкін.
11	Өлшемдері (қуат шығысына қатысты)	$B_g = 0,1 * P_{вых} / V$	Габариттері үшін B_g – баллдар; $P_{вых}$ -шығу қуаты таратқыш, кВт; V -таратқыштың көлемі, м3.

2.5 кестенің жалғасы

12	Салмағы (қуат шығысына қатысты)	$B_m = 50 * P_{вых} / M$	Бм-масса үшін ұпайлар; P _{вых} -таратқыштың шығу қуаты, кВт; M-таратқыштың массасы, кг. (Формула 1 кВт орташа таратқыш 1 балл алатын етіп бейімделген)
13	Бонус		Қандай да бір ерекше сипаттама үшін тағайындалатын баллдардың белгілі бір саны.

Мысалы, желі операторына сертификаттың немесе техникалық қызмет көрсету орталығының болуын бағалау маңызды.

Сонымен қатар, жабдықты жеткізуші өндірушінің кез-келген таратқышын қосымша жабдықтауға болатын көптеген функцияларды көбірек қызықтырады.

Бұл әдіс жабдықтың кез-келген класына таралуы мүмкін, ал пайдаланушы әр параметрдің дұрыс балдық және салмақтық бағалары болған жағдайда объективті баға ала алады.

Төменде 2.6-кестеде әртүрлі өндірушілер шығаратын қуаты 1 кВт DRM+ радиохабар таратқышын бағалау мысалы келтірілген. Техника санат үшін қолданылды: жабдықты жеткізуші. Таратқыштардың параметрлері WEB-сайттардан алынды өндірушілер, жарнамалық брошюралар және автор орындаған сынақ есептері.

Кесте 2.6 - Таратқышты бағалау мысалы

№	Параметр	Өндіріс 1	Өндіріс 2	Өндіріс 3	Өндіріс 4	Өндіріс 5	Салмақ коэфф.
	Шығу қуаты, кВт	1,0	1,0	1,0	1,25	0,8	
	Тұтынылатын қуат, кВт	1,65	1,7	1,9	2,5	1,6	
	Өлшемдері (көлемі), м ³	0,1	0,12	0,15	0,25	0,09	
	Салмағы, кг	46	50	55	70	40	
Ұпайлар							
1	КПД	0,91	0,88	0,79	0,75	0,75	3
2	Синхрондау	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	2
3	Енгізу интерфейсі	3,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1
4	Қашықтықтан басқару	3,00	1,00	2,00	3,00	0,00	1
5	Қоздырғыш опциялары	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	2

2.6 кестенің жалғасы

6	Режимдегі жұмыс Simulcast	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
7	Цифрлық түзету	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1
8	Резервтеу	2,00	0,00	3,00	1,00	0,00	2
9	Қорғау жүйелері	4,00	3,00	2,00	2,00	2,00	3
10	Жұмыс температурасының диапазоны	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	3
11	Салқындату	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
12	Габариттері (шығу қуатына келтірілген)	1,00	0,83	0,67	0,50	0,89	1
13	Салмағы (қуат шығысына қатысты)	1,08	1,01	0,90	0,88	1,05	1
15	Бонус	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
	Жалпы бағалау	35,81	19,48	22,94	17,63	17,19	

Осылайша, осы әдістемені қолдану оператордың типтік және жеке сипаттамаларын ескере отырып, талаптар негізінде цифрлық хабар тарату таратқышын оңтайлы таңдауға мүмкіндік береді.

2.4 Цифрлық хабар тарату желілерінде көмекші деректерді тасымалдау жолдарын талдау

Цифрлық хабар тарату жүйелеріндегі көмекші деректер түрлері. Негізгі аудиовизуалды ақпараттан басқа, цифрлық хабар тарату жүйелерінде көмекші деректер болуы мүмкін. Көмекші деректер тәуелсіз мазмұнды да, негізгі мазмұнмен байланысты (синхрондалған) мазмұнды да қамтуы мүмкін.

DRM. DRM цифрлық хабар тарату жүйесіндегі көмекші деректер ретінде [2] мынаны беруге болады:

- жеке дыбыстық бағдарламаларға қатысты қосымша ақпарат (Program Associated Data - PAD);

- мультимедиялық ақпарат, мысалы, мәтіндік хабарламалар (бірнеше тілде), Электрондық бағдарлама нұсқаулығы (EPG), иерархиялық құрылымдық мәтіндік ақпарат (Журнал режимі), DRM-TMC (Traffic Message Channel) қозғалыс туралы ақпарат, туристік мазмұндағы ақпарат, әлі де суреттер, фотосуреттер, слайдтар (MOT Slideshow режимі);

- таратылатын бағдарламалардың, радиостанциялардың, елдердің атаулары;

- ағымдағы уақыт пен күн;

DRM стандартында Төтенше жағдайлар кезінде барынша кең аудиторияға хабарлауды қамтамасыз ететін пайдалы функция бар. Жедел ескерту функциясы (Төтенше Warning Functionality-EWF) барлық басқа жергілікті инфрақұрылым

жұмыс істемей тұрған кезде сигналды қажетті аймаққа жеткізудің соңғы құралы бола алады. Төтенше жағдай туындаған кезде DRM қабылдағыштары төтенше жағдай бағдарламасына ауысу пәрменін алады және оны ойнатуды бастайды. Бұл сонымен қатар қабылдағыштарды автоматты түрде қосу мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Төтенше жағдай бағдарламасы қабылдағыш экранында дабылды іске қосады және аудио мазмұнды, мәтіндік хабарламаларды қамтиды, сонымен қатар Journaline форматындағы иерархиялық мәтіндік деректерді әртүрлі тілдерде қамтуы мүмкін.

DAB/DAB+. DAB/DAB+ [14]-де тасымалдау механизмі мультиплексирленген деректер ағынына негізделген, онда бірнеше бағдарлама бір уақытта беріледі.

Мультиплекстелген деректер ағыны (мультиплекс) мыналарды қамтиды:

- дыбыстық бағдарламалардың мәліметтері;
- негізгі бағдарламамен (PAD арнасы) байланысты деректерді қоса алғанда, қосалқы деректер;

- мультиплекс конфигурация ақпараты (MCI) және қызмет көрсету (SI).

DAB / DAB + стандарттарының пайдалы мүмкіндігі - қабылдағыш ойнатылатын аудио сигналдың динамикалық диапазонын қысу үшін пайдаланылатын динамикалық диапазонды басқару (DRC) сигналын беру.

Көмекші деректер қызмет туралы ақпаратты (SI) қамтиды, оның ішінде:

- тілі, хабар тарататын елі;
- ағымдағы уақыт пен күн;
- қабылдау жағдайлары нашарлаған кезде таңдалған бағдарламаның баламалы арналарына автоматты түрде ауысу мүмкіндігін қамтамасыз ету үшін басқа бағдарламалар тобында немесе аналогты АМ немесе ЧМ хабар тарату желілерінде берілетін сол немесе ұқсас бағдарлама туралы ақпарат;

- синхрондалған қызметтер үшін кеңейтілген қызмет ақпараты негізгі дыбыстық бағдарлама;

- аудиобағдарлама туралы басқа ақпарат.

PAD арнасы жібере алады:

- дыбыстық бағдарламаның атауы;
- ақпараттық хабарламалар;
- бағдарламаның электронды нұсқаулығы (EPG);
- трафик хабарламалары (TMC арнасы);
- иерархиялық құрылымдық мәтіндік ақпарат (Journaline режимі) [22];
- 64 Кбит/с дейінгі жылдамдықпен төмен жылдамдықты деректер.

Аудио арнаның өткізу қабілетін азайту арқылы 16 Кбит/с жылдамдықпен қосымша деректерді беру арнасын ұйымдастыруға болады. Бұл арнада, сондай-ақ PAD арнасында таратылатын бағдарламаның атауы туралы ақпарат динамикалық түрде берілуі мүмкін. Сондай-ақ HTML форматындағы гипермәтінді және JPEG пішіміндегі кескіндерді (Journaline және ILO Slideshow режимдері) беру үшін қолдау көрсетіледі [12].

Сонымен қатар, таратқыш идентификаторы DAB / DAB + сигналында берілуі мүмкін екенін атап өткен жөн.

РАВИС. РАВИС жүйесінде көмекші мәліметтерді жіберу үшін [5, 7] негізгі қызметтің логикалық арнасынан басқа (КОС) жоғары жылдамдықты деректерді беру арнасы жоғарылатылған тасымалдау сенімділігі (НСК) және жоғары сенімді деректерді беру арна (НКД) берілген. Бұл логикалық арналарды, мысалы, апаттық хабарландыру жүйелерінде және т.б.

Цифрлық хабар тарату желілерінде көмекші деректерді тасымалдау. DRM.DRM суперкадры үш арнадан тұрады: негізгі қызмет арнасы (MSC), жылдам қол жеткізу арнасы (FAC) және қызметті сипаттау арнасы (SDC). MSC қосымша деректермен қоса берілетін мазмұнның негізгі деректерін қамтиды. FAC арнасында арнаның өткізу қабілеттілігі және басқа ұқсас параметрлер туралы деректер, сондай-ақ барлық жіберілетін қызметтерді жылдам іздеу үшін қызмет ақпараты бар. SDC арнасы MSC арнасының деректерін декодтау әдісі туралы, балама деректер көздері туралы ақпаратты қамтиды, сонымен қатар мультиплексте жіберілетін қызметтердің атрибуттарын қамтиды. Simulcast жұмысына арналған аналогтық жиіліктер туралы ақпаратты қамтуы мүмкін.

DAB / DAB + стандартындағы сияқты, MSC арнасында дыбыстық бағдарламалардан басқа пакеттік және ағындық деректер болуы мүмкін.

Әрбір аудио кадр (аудио блок) бағдарламамен байланысты деректерді (PAD) тасымалдауға арналған бірнеше байтты қамтиды.

Көмекші деректер MSC арнасының бөлігі ретінде тәуелсіз қызметтер ретінде де, бөлек дыбыстық бағдарламаның PAD бөлігі ретінде де берілуі мүмкін.

Оқшау қызмет ретінде қосымша деректерді беру жағдайында бұл FAC үстеме шығысының бөлігі ретінде сәйкес қолданба идентификаторымен көрсетіледі. Қолданба идентификаторларының сипаттамасы 2.7-кестеде келтірілген.

Кесте 2.7 - Қолданба идентификаторлары

Децималды идентификатор нөмірі	Қолданба идентификаторының сипаттамасы
0	Бағдарлама тек SDC арнасында анықталады
1	EPG электронды беріліс бағдарламасы
2	Иерархиялық құрылымдалған мәтіндік ақпарат (Journaline режимі)
3	DRM - TMC жол оқиғалары туралы ақпарат
4...30	Резервтелген
31	Өткізу көрсеткіші
1 - Ескертпе 0 мәні тек меншікті қолданбалар үшін пайдаланылуы керек. 2 - Ескертпе Өткізіп жіберу индикаторы инженерлік беріліс сынақтарына арналған және стандартты қабылдағыштар еленбейді.	

MSC арнасында тасымалданатын мәліметтер, соның ішінде көмекші мәліметтер екі түрге бөлінеді – ағындар және объектілер (файлдар). Ағынды

деректер, өз кезегінде, синхронды ағындық режимде, асинхронды ағындық режимде және асинхронды деректерді блоктау режимінде берілуі мүмкін. Объектілерді (файлдарды) тасымалдау үшін DRM стандарты DAB MOT протоколын пайдаланады. MOT хаттамасы 256 МБ дейінгі өлшемдегі объектілерді абоненттік қабылдағыштарға сенімді тасымалдауды қамтамасыз етеді. Атап айтқанда, қозғалыссыз кескіндер, фотосуреттер, слайдтар осылай беріледі (MOT Slideshow режимі).

DRM стандартындағы пайдалы опция - төтенше жағдай туралы ескерту функциясы (EWF) (Emergency Warning Functionality. Рұқсат етілген қызметтердің пәрмені бойынша DRM мазмұн сервері төтенше хабарлама режиміне ауысады. Абоненттік қабылдаушы үнемі фондық режимде төтенше жағдай туралы хабарландыруды тексереді. Төтенше жағдай туралы хабарламаны алғаннан кейін, ол хабарландыруда көрсетілген бағдарламаға автоматты түрде ауысады. Төтенше хабарламаның өзі аудио бағдарламаны, бірнеше секунд сайын жаңартылатын мәтіндік хабарламаларды, сондай-ақ журнал режиміндегі иерархиялық құрылымдық мәтіндік ақпаратты, соның ішінде орын алған оқиға туралы әртүрлі тілдердегі егжей-тегжейлі ақпаратты және одан әрі әрекет ету нұсқауларын қамтуы мүмкін. Техникалық тұрғыдан алғанда, EWF DRM стандартында қолжетімді функционалдылық негізінде қамтамасыз етіледі (мәтіндік хабарламалар, сигнал беру және AFS балама жиіліктеріне ауысу, журнал режимінде ақпаратты көрсету).

Егер DRM стандарты Қазақстанда енгізілген болса, EWF төтенше жағдай туралы хабарландыру функциясын пайдалану ұсынылады. Бұл ретте, абоненттік қабылдағыштардағы EWF функционалдығын қамтамасыз ету талаптары, контент-серверде уәкілетті қызметтің авариялық хабарламаларды іске қосу талаптары, сондай-ақ олардың құрамына қойылатын талаптар әзірленуі керек.

DAB/DAB+. DAB/DAB+ жүйесінде ақпарат екі негізгі арнада беріледі – негізгі қызмет көрсету арнасы (MSC) және жылдам ақпарат арнасы (FIC) [14].

MSC арнасы дыбыстық бағдарламалардан басқа пакеттік және ағындық деректерді қамтуы мүмкін. Әрбір аудио кадр (аудио блок) бағдарламамен байланысты деректерді (PAD) тасымалдауға арналған бірнеше байтты қамтиды.

Ресиверге аудио бағдарламаларға және мультиплекс құрамы туралы ақпаратқа минималды кідіріспен қол жеткізуге мүмкіндік беретін FIC арнасы мультиплекс конфигурация ақпаратын (MCI), қызмет ақпаратын (SI) және шартты қол жеткізу (CA) деректерін қамтиды.

Осылайша, DAB / DAB + жүйесінде көмекші деректерді беруді қамтамасыз ететін үш негізгі арнаны бөлуге болады:

- MSC арнасының бөлігі ретінде ағынды немесе пакеттік деректер (ішкі арнадағы жылдамдық 8 кбит/с еселік болуы керек, максималды жылдамдығы 384 кбит/с дейін);
- PAD деректері аудио кадрлардың бөлігі ретінде (максималды жылдамдық 64 кбит/с дейін);
- SI қызметінің ақпарат бөлігі ретінде баяу деректер.

РАВИС. Жоғарыда айтылғандай, РАВИС жүйесінде берілудің сенімділігі жоғары төмен жылдамдықты деректерді беру арнасы (НСК) және деректерді сенімді беру арнасы (НКД) қарастырылған [5]. Бұл арналарды көмекші деректерді беру үшін сәтті пайдалануға болады.

КОС негізгі логикалық арнасына қосымша РАВИС жүйесінде НСК және НКД деректерінің бір немесе екі қосымша логикалық арналарын беру қамтамасыз етіледі. НСК арнасының өткізу қабілеті шамамен 12% құрайды Кбит / с, НКД арнасының өткізу қабілеті шамамен 5 Кбит/с құрайды.

НСК логикалық арнасында келесі параметрлер бар:

- деректер жақтауының өлшемі: 656 бит;
- арнаны кодтау жылдамдығы: 1/2;
- модуляция түрі: QPSK;
- ақпараттық тасымалдаушылар саны: 32.

НКД логикалық арнасында келесі параметрлер бар:

- деректер жақтауының өлшемі: 533 бит;
- арнаны кодтау жылдамдығы: - 1/2;
- модуляция түрі: BPSK;
- ақпараттық тасымалдаушылар саны: 26.

Осылайша, бұл кіші бөлімде әртүрлі стандарттағы (DRM, DAB/DAB+, RAVIS) цифрлық хабар тарату желілерінде қолданылатын қосалқы деректердің негізгі түрлері, сондай-ақ оларды жеткізу әдістері қарастырылады. Цифрлық хабар тарату желілерін құру кезінде абоненттік қабылдағыштардағы ЭҚЖ функционалдығын қамтамасыз ету талаптары, контент-сервердегі уәкілетті қызметтің авариялық хабарламаларды белсендіруіне қойылатын талаптар, сондай-ақ олардың құрамына қойылатын талаптар әзірленуі тиіс екені анықталды.

3 Азайтылған шекті факторы бар цифрлік радио хабарлама DRM қалыптастыру үшін зерттеу

3.1 Төмендетілген шекті-факторы бар DRM сигналдарын қалыптастыру процестерін модельдеу әдістемесін әзірлеу және іске асыру

Сигналдарды генерациялау процестерін модельдеу әдістері мен құралдары. MATLAB / Simulink бағдарламалық пакеті [9] қазіргі уақытта телекоммуникациялық жүйелерді модельдеудің ең танымал құралдарының бірі болып табылады. MATLAB/Simulink пакетінің бөлігі болып табылатын Communications Toolbox бағдарламалық өнімі әртүрлі қабылдағыш жүйелерін әзірлеуге, модельдеуге, талдауға және тексеруге арналған құралдар жинақтарын қамтиды. Бұл бағдарламалық өнім модуляция, OFDM, арналарды кодтау алгоритмдерін ұсынады, оның көмегімен қолданыстағы стандарттарды жіберу және қабылдау жүйелерінің әртүрлі үлгілерін құруға және талдауға ғана емес, сонымен қатар өз жүйелерін жасауға мүмкіндік береді.

Дегенмен, DRM хабар тарату жүйелерін модельдеуге қолданғанда, MATLAB / Simulink пакетінің бірқатар кемшіліктері бар. Біріншіден, DRM стандартына тән модульдер жоқ. Кемшіліктерге сонымен қатар қолданылатын модульдердің үлгілерінің жабық болуы жатады, сондықтан оларда қолданылатын жеңілдетулер мен төзімділіктерді бағалау өте қиын. Бумаға енгізілген бағдарламалау тілі жоғары мамандандырылған және оны баламалы бағдарламалық платформада пайдалану мүмкін емес.

Сондай-ақ, C++ және C# сияқты бағдарламалау тілдерімен салыстырғанда есептеуді орындау уақыты біршама ұзағырақ екенін атап өткен жөн. Есептеулердің орындалу уақытының айтарлықтай артуы Mfiles пайдалану кезінде байқалады. MATLAB пакетінің бұл әрекеті, ең алдымен, оның жұмысының векторлық-матрицалық амалдармен байланысты есептерге негізгі бағдарлануымен байланысты, ал көптеген есептерді шешу үшін матрицалық амалдарды қолдану қажет емес.

MATLAB/Simulink пакетінің кемшіліктері, әдетте, барлық құрылымдық модельдеу құралдарына тән, сонымен қатар зерттелетін жүйенің бастапқы құрылымын беруге әрқашан қабілетті емес, жеткілікті үлкен иерархиялық блок-схемаларды құру қажеттілігін қамтиды.

Сонымен қатар көп жағдайда телерадио хабарларын тарату жүйелерін модельдеу мәселелерін шешу үшін кез келген жоғары деңгейлі бағдарламалау тілінің мүмкіндіктері жеткілікті.

Қазіргі уақытта белгілі және жалпыға танылған Visual C++ .NET интеграцияланған өңдеу ортасынан басқа, C# объектілі-бағытталған бағдарламалау тіліне негізделген әртүрлі өңдеу орталары әзірлеушілер арасында өте танымал. C# ортасы қарапайым утилиталардан бастап, Visual C++ әзірлеу ортасынан кем түспейтін және сонымен бірге көп нәрсеге ие кәсіби бағдарламалық өнімдермен аяқталатын күрделілік деңгейі әртүрлі

қосымшаларды сапалы және жылдам әзірлеуге мүмкіндік береді. бағдарлама кодының көбірек көрінуі мен қарапайымдылығы.

Айта кету керек, C # ортасында жасалған математикалық модель құрылып жатқан жүйені зерттеу немесе жөндеу құралы ғана емес, сонымен бірге көрсетілген жүйенің жабдықтарын физикалық іске асыруда да пайдаланылуы мүмкін.

Төменгі қырлы факторы бар DRM сигналының қалыптасуын модельдеу әдістемесі

Төмендетілген Шекті факторы бар DRM сигналдарын генерациялау процестерін модельдеу әдістемесі, жалпы жағдайда, келесі функционалды блоктарды қамтуы керек:

1. DRM негізгі жолақ сигналының кондиционері
2. Шекті факторын шектегіш
3. Сигнал параметрлерінің анализаторы

DRM стандартының модуляторларында бастапқы деректер тізбегі шифрлеуге, арналарды кодтауға, уақыт пен жиілікте араласуға, пилоттық сигналдарды қосуға, қабылданған разряд тізбегін OFDM түрлендіргіш блогындағы уақыт жиілік торына салыстыруға ұшырайды, содан кейін кері Фурье түрлендіруінің (ОБПФ) блогы, қорғаныс интервалы қосылған [6] уақыт доменіндегі квадратуралық базалық жолақ үлгілері (I/Q). Осыдан кейін базалық жолақ сигналы кейіннен квадратуралық модулятордың көмегімен жоғары жиілікке ауыстыра отырып, Шекті коэффициентін азайту үшін өңделеді [25]. Айта кету керек, Шекті факторын азайту қорғаныс интервалын енгізер алдында орындалуы мүмкін. Осы жұмыста ұсынылған модельдеу техникасы осы ережелерді ескере отырып құрастырылған.

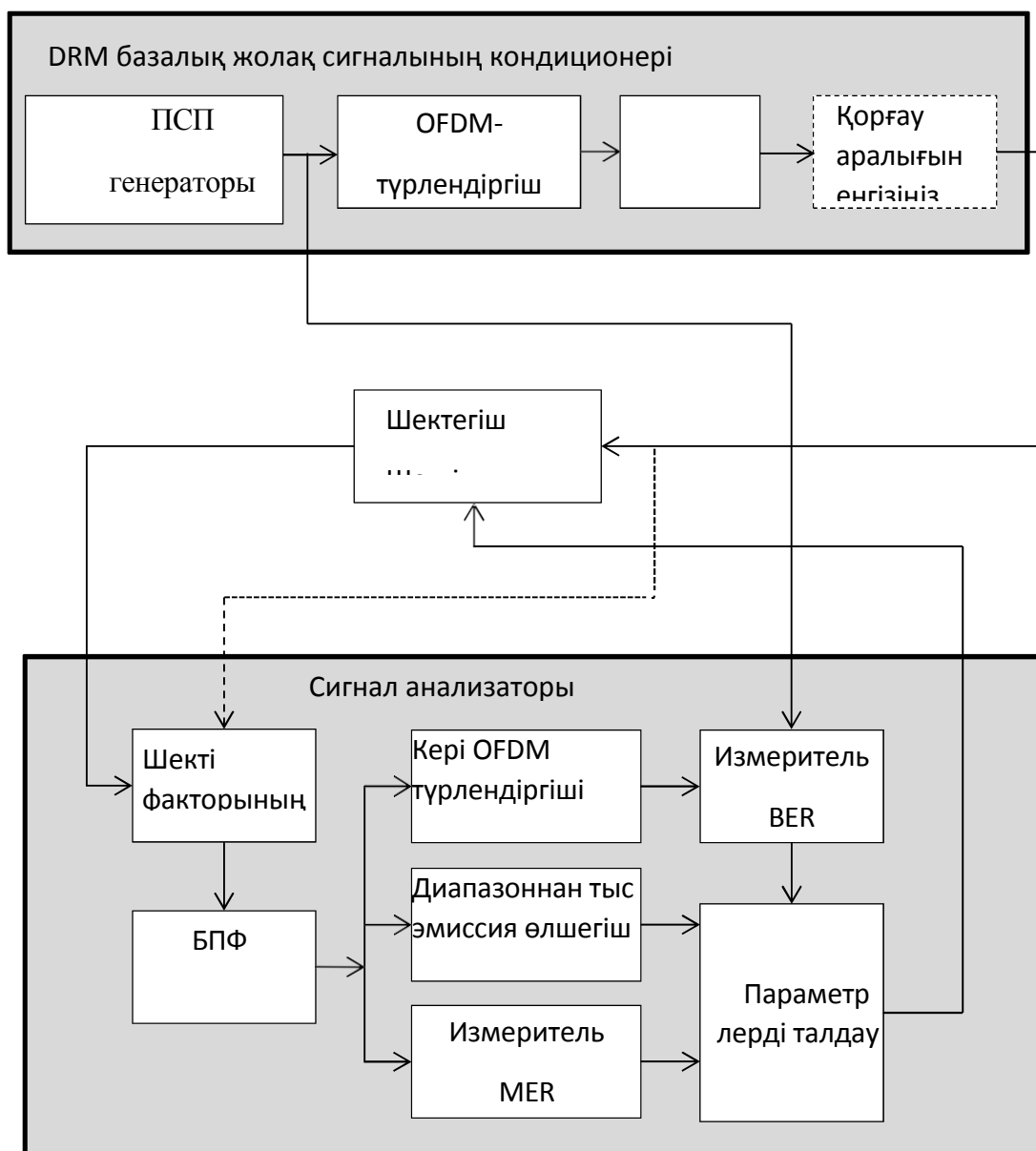
Шифрлеу мен интерлевингке байланысты OFDM-түрлендіргіш блогының кірісіндегі разряд тізбегі псевдокездейсоқ тізбек болып табылады. Сондықтан, модельдеу кезінде Шекті факторын зерттеу мақсатында OFDM түрлендіргіш блогына дейінгі барлық блоктарды псевдокездейсоқ реттілік генераторымен көрсетуге болады.

Сигнал анализаторы Шекті факторын, MER, BER және диапазоннан тыс эмиссияларды өлшей алуы керек.

Жасалған және талданған сигналдар модельдеуде айқын түрде болатындықтан, BER есебін кіріс және шығыс бит реттілігін салыстыру арқылы өте қарапайым түрде жүзеге асыруға болады.

Төмендетілген Шекті факторы бар DRM сигналдарын қалыптастыру процестерін модельдеу әдістемесі 3.1-суретте көрсетілген.

Төмендетілген Шекті факторы бар DRM сигналдарын қалыптастыру процестерін модельдеу әдістемесін енгізу. Осы модельдеу әдістемесі негізінде C# тілінде Sharp Develop 5.1 еркін өңдеу ортасында әзірленген жеке дизайндағы «ПИК-ЦХТ» бағдарламалық кешені жүзеге асырылды.



3.1-сурет - Шекті факторы төмендетілген DRM сигналдарын қалыптастыру процестерін модельдеу әдістемесі

Модельдеу әдістемесін құрайтын блоктар сәйкес программалық блоктар түрінде жүзеге асырылады. Барлық бағдарлама параметрлері графикалық пайдаланушы интерфейсі арқылы орындалады.

Кездейсоқ реттілік генератор блогы берілген ұзындықтағы байттардың псевдокездейсоқ реттілігін (ПСП) жасайды.

ПСП файлын қайта пайдалану үшін сақтауға болады. Болашақта OFDM түрлендіргішін бағдарламалық қамтамасыз етуді іске асыруды жеңілдету үшін барлық ПСП емес, тек ішкі тасымалдаушылардың модуляция түрімен анықталатын ПСП әрбір байтынан ең аз маңызды биттердің сәйкес саны пайдаланылады. Бұл жағдайда ПСП ұзындығы OFDM сигналындағы қосалқы тасымалдаушылар санымен анықталады, атап айтқанда, DRM + сигналы үшін ол OFDM символына 213 байт құрайды.

OFDM түрлендіргіші жиілік доменіндегі ішкі тасымалдаушы сигналдардың күрделі үлгілерін жасайды. 4-QAM қосалқы тасымалдаушыларын модуляциялау кезінде ПСП байттарының 2 ең аз маңызды биттері пайдаланылады, 16-QAM - 4 бит, 64-QAM - 6 бит. Ішкі тасымалдаушылардың барлық күрделі үлгілері өлшемдердің $K = 2^n$ массивіне орналастырылады, мұнда n - бүтін сан, ал K ішкі тасымалдаушылар санынан кемінде 4 есе көп болуы керек. Осылайша, OFDM сигналының уақыт аймағындағы дискретизация жылдамдығының жоғарылауы қамтамасыз етіледі, бұл Шекті факторын өлшеудің қолайлы дәлдігін қамтамасыз ету үшін қажет. Оң индекстері бар ішкі тасымалдаушылардың күрделі үлгілері, оның ішінде нөл индексі нөлден бастап өсу ретімен, теріс индекстері бар ішкі тасымалдаушылардың күрделі үлгілері массивке кему ретімен $K - 1$ индексінен бастап орналастырылады. Пайдаланылмаған массив мүшелері нөлдермен толтырылады. DRM стандартына сәйкес ішкі тасымалдаушылардың ең көп саны «А» тұрақтылық режимі және «5 спектрді толтыру түрі» үшін 461 болғандықтан, ОБПФ өлшемі 2048-ге тең қабылданады, бұл барлық режимдерде қажетті іріктеу жылдамдығына кепілдік береді.

Өлшемі $K = 2048$ болатын ОБПФ блогы кіріс күрделі қосалқы тасымалдаушы үлгілерін уақыт доменіндегі OFDM символының I және Q базалық жолақ квадратуралық сигналдарының күрделі үлгілеріне түрлендіреді.

Қорғау аралығының кірістіргіші OFDM символының соңғы I және Q үлгілерін басына көшіреді. Көшірілген үлгілердің саны K_g қорғаныс интервалының таңдалған ұзақтығына негізделген формула бойынша анықталады:

$$K_g = K \frac{T_g}{T_u} \quad (3.1)$$

мұндағы T_g – қорғау интервалының ұзақтығы;

T_u – OFDM символының пайдалы бөлігінің ұзақтығы.

Қорғау аралығының Шекті фактор мәніне әсері шамалы болғандықтан, модельге қорғаныс интервалын енгізуді алып тастауға болады.

Шекті факторының шектегіш блогы бөлек dll файлы ретінде сынып кітапханасының жинағы ретінде жүзеге асырылады. Бұл іске асыру «ПИКЦХТ» ПК-ге жеке модульдерді қосуға мүмкіндік береді, олар ең жоғары факторды азайтудың әртүрлі алгоритмдерін, соның ішінде үшінші тарап әзірлеушілері жасаған алгоритмдерді жүзеге асырады және осылайша осы алгоритмдердің салыстырмалы зерттеулерін жүргізеді.

Шекті факторының құрылғысы Шекті факторының блогымен өңдеуге дейін және одан кейінгі OFDM таңбаларының ең жоғары коэффициентін есептейді.

БПФ блогы BER, MER және диапазоннан тыс эмиссияларды кейінгі талдау үшін OFDM символының пайдалы бөлігін (циклдік префикссіз) уақыт аймағынан жиілік доменіне түрлендіреді.

Кері OFDM-түрлендіргіш OFDM символының күрделі үлгілерінен жиілік облысындағы сигнал шоқжұлдызының аймақтарындағы сәйкес үлгілердің орнымен анықталатын разрядтық тізбектерге қалыптасады. BER есептегіш блогындағы BER есептеу үшін алынған разрядтық тізбектер бастапқы ПСП биттерімен салыстырылады.

Жолақтан тыс сәулеленуді өлшейтін блок сигналдың негізгі жолағына жақын спектрдің амплитудалық компоненттерін есептейді. Нәтиже одан әрі графикалық түрде ұсынылуы мүмкін, сонымен қатар тиісті нормативтік құжаттармен анықталған жолақтан тыс сәулелену маскасы мен нақты сигналдың алынған спектрі арасындағы дБ-дағы ең аз маржа есептеледі.

MER есептегіш қондырғысы MER-ді дБ-де көрсетілген барлық OFDM ішкі тасымалдаушыларының қателік векторларының қуаттарының қосындысына эталондық сигнал векторларының қуаттарының қосындысының қатынасы ретінде есептейді

$$MER = 101 \log_{10} \frac{\sum_{k=0}^{N-1} (I_k^2 + Q_k^2)}{\sum_{k=0}^{N-1} (I_k - I_2)^2 + (Q_k + Q_k)^2} \quad (3.2)$$

мұндағы I_k және Q_k – k -ші ішкі тасымалдаушыда берілетін символдың идеалды I және Q құрамдастары;

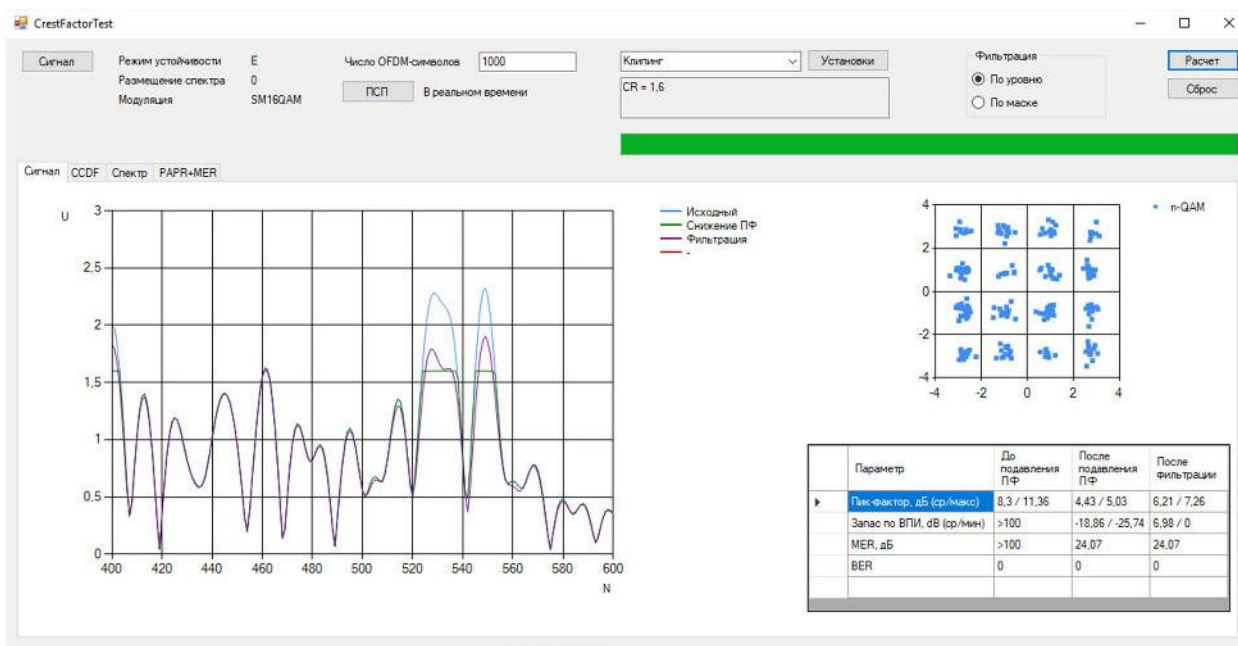
I_k және Q_k – k -ші ішкі тасымалдаушыда берілетін символдың нақты I және Q құрамдастары;

N - ішкі тасымалдаушылар саны.

«ПИК-ЦХТ» ПК бір OFDM символын модельдеуді де, нәтижелерді орташалаумен берілген символдар тізбегін модельдеуді де қамтамасыз етеді.

Модельдеу нәтижелерін графикалық және кестелік деректер ретінде экспорттауға болады.

«ПИК-СРВ» ПК негізгі терезесінің сыртқы көрінісі 3.2 суретте көрсетілген.



3.2-сурет – «ПИК-ЦХТ» ПК негізгі терезесінің көрінісі

3.2 Шекті факторды төмендету кезінде DRM сигналдарын оңтайландыру критерийлері

Шекті факторын азайту әдісінің тиімділігінің негізгі критерийі әдетте әдісті қолданғанға дейінгі PAPR және әдісті қолданғаннан кейінгі PAPR арасындағы айырмашылық ретінде дБ-де өрнектелетін Шекті факторының басу дәрежесі болып табылады. Бұл жағдайда сигналдың негізгі параметрлері белгіленген нормалардан аспауы керек.

Шекті факторын басу үшін бақыланатын негізгі параметрлер:

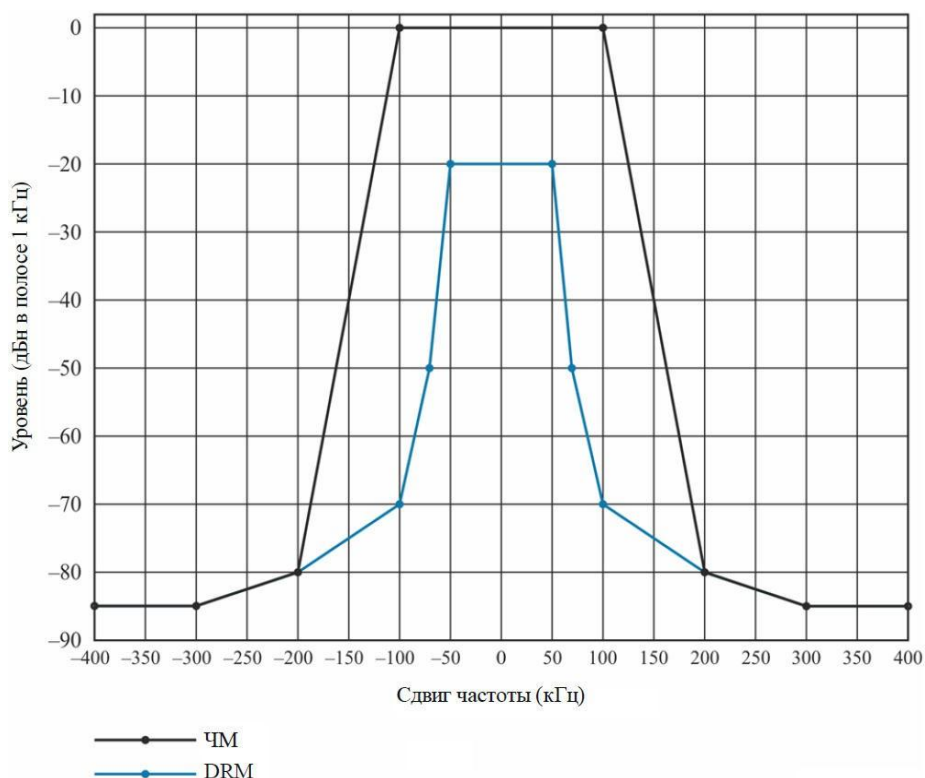
- диапазоннан тыс шығарындылар деңгейі;
- модуляция қатесінің жылдамдығы MER.

DRM + таратқыштарынан (30 МГц-тен жоғары жиілік диапазоны) жолақтан тыс эмиссиялар деңгейінің шектері МСЭ-R BS.1660-8 (06/2019) ұсынымында жердегі цифрлық дыбыстық хабар таратуды жоспарлауға арналған техникалық негіздеме анықталған. ОВЧ диапазоны» [23]. I ОВЧ және II ОВЧ диапазонындағы DRM + диапазоннан тыс спектр маскасы 3.3-суретте және 3.1-кестеде ажыратымдылығы бар таратқыштарға қойылатын минималды талап ретінде ЧМ таратқыштарына арналған симметриялық диапазоннан тыс спектр маскасымен бірге көрсетілген. өткізу қабілеттілігі (RBW) 1 кГц.

DRM30 таратқыштарының (30 МГц-тен төмен жиілік диапазоны) диапазоннан тыс сәулелену деңгейінің стандарттары жиілік диапазонында жұмыс істейтін жерүсті цифрлық хабар тарату таратқыштарын пайдалану қағидаларында айқындалады; 0,1485 - 0,2835 МГц ;0,5265 - 1,6065 МГц; 3,95 - 26,10 МГц [20]. Диагоннан тыс DRM30 спектрлік маскасы 3.4-суретте және

3.2-кестеде көрсетілген.

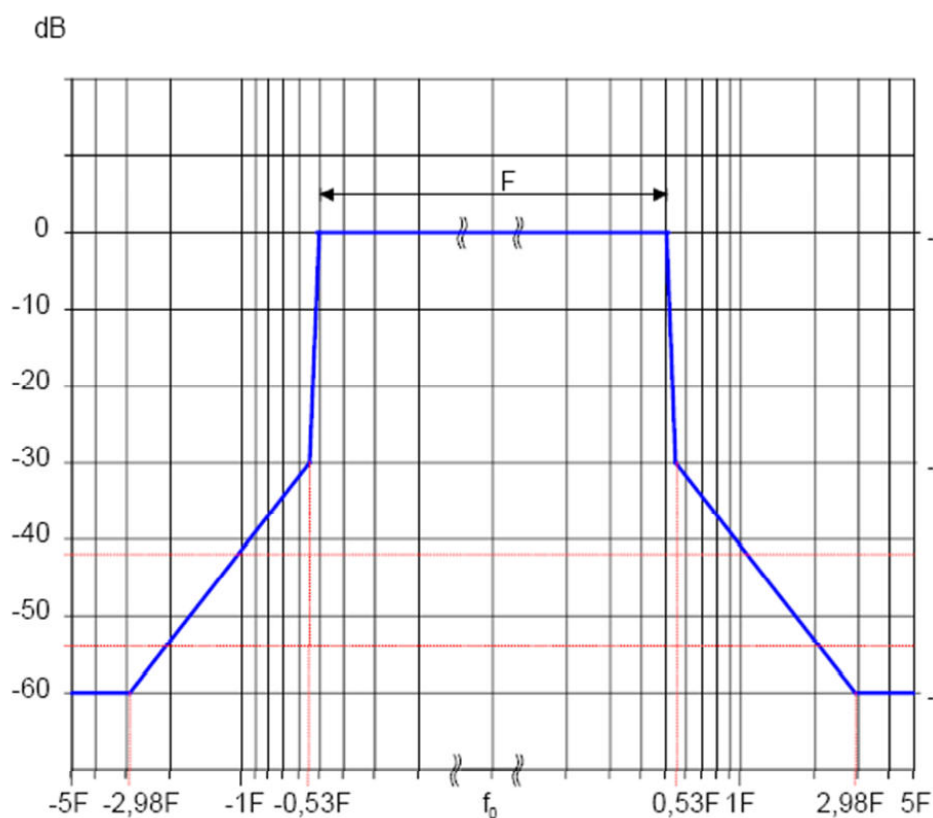
Еуропалық стандартқа сәйкес «ETSI EN 302 245 V2.1.1 (2018-06) Transmitting equipment for the Digital Radio Mondiale (DRM) sound broadcasting service; Harmonised Standard for access to radio spectrum» 30 МГц жоғары жиілік диапазонында жұмыс істейтін таратқыштар үшін MER 21 дБ-ден кем болмауы керек; 30 МГц-ке дейінгі жиілік диапазонында жұмыс істейтін таратқыштар үшін MER 30 дБ-ден кем болмауы керек.



3.3-сурет - II ОВЧ диапазонындағы ЧМ үшін және I ОВЧ диапазонындағы және II ОВЧ диапазонындағы DRM + үшін диапазоннан тыс спектрлік маскалар

Кесте 3.1 - II ОВЧ диапазонындағы ЧМ үшін және I ОВЧ диапазонындағы және II ОВЧ диапазонындағы DRM + үшін диапазоннан тыс спектрлік маскалар

Спектрлік маска(100 кГц арна) / салыстырмалы деңгей		
Жиілік ауытқуы (кГц)	Деңгей (дБс) / (1 кГц)	
	ЧМ үшін	DRM+ үшін
0	0	-20
±50	0	-20
±70	0	-50
±100	0	-70
±200	-80	-80
±300	-85	-85
±400	-85	-85



3.4-сурет - Қолдан тыс спектрлік маска DRM30

Кесте 3.2 - DRM30 диапазоннан тыс спектрлік маска

Қалыпты деңгей, дБ	Жолақтан тыс радиожилік өткізу қабілеттілігі кезінде қажетті өткізу қабілеттілігінің әртүрлі мәндері $V_n = F$, кГц						Салыстырмалы жилік (f/F)
	$F=4,5$	$F=5$	$F=9$	$F=10$	$F=18$	$F=20$	
0,00 (Вн)	+/- 2,25	+/- 2,50	+/- 4,50	+/- 5,00	+/- 9,00	+/- 10,00	+/- 0,50
-30,00(Вк)	+/- 2,39	+/- 2,65	+/- 4,77	+/- 5,30	+/- 9,54	+/- 10,60	+/- 0,53
-60,00	+/- 13,41	+/- 14,90	+/- 26,82	+/- 29,80	+/- 53,64	+/- 59,60	+/- 2,98
-60,00	+/- 22,50	+/- 25,00	+/- 45,00	+/- 50,00	+/- 90,00	+/- 100,00	+/- 5,00

Ескертпелер:

1. $0,5 F$ және $0,53 F$ арасындағы шектеулі қисықтың көлбеуі 30 дБ құрайды.
2. $0,53 F$ -тен шектеулі қисықтың көлбеуі -60 дБ деңгейіне жеткенге дейін октаваға 12 дБ құрайды.
3. Вк-жилік белдеуінің бақылау ені.
4. Вн-қажетті жилік ені.

Осылайша, Шекті факторын төмендету әдістерінің тиімділігін салыстырған кезде, белгіленген шекараларға тікелей жақын жерде MER және диапазоннан тыс шығарындылар табылған кезде осы әдістердің Шекті факторының басу дәрежесін салыстырған жөн. көрсетілген нормативтік құжаттармен.

3.3 DRM сигналдарының ең жоғары факторын төмендету әдістерін салыстырмалы зерттеу

1) Әдіс DRM стандартының талаптарын бұзбауы керек және қабылдағыш құрылымына, деректер жылдамдығына және қосымша пилоттық ішкі тасымалдаушыларды пайдалануға өзгертулер енгізбеуі керек.

2) MER DRM + жүйесінде 21 дБ төмен және DRM30 жүйесінде 30 дБ төмен түспеуі керек.

3) [20, 23]-де орнатылған DRM сигналының спектр маскасы бұзылмауы керек.

4) DRM сигнал қабылдағышының синхрондау өнімділігі Шекті факторын азайту әдісін қолданғаннан кейін төмендеуі керек.

Жоғарыда келтірілген критерийлерге сәйкестік бойынша шың-факторды азайту әдістерін талдау DRM стандартының таратқыштарында тек бірнеше әдістерді сәтті қолдануға болатындығын көрсетеді. 3.3-кестеде Шекті факторын азайту әдістерінің DRM стандартымен үйлесімділігі жинақталған

Кесте 3.3 - Шекті факторын төмендету әдістерінің DRM стандартымен үйлесімділігі

№	Әдісі	DRM стандартына сәйкестік	Ескертпе
1.	Сигналды бұрмалауға негізделген әдістер		
1.1	Сызықты емес жинақтау	Жоқ	Қабылдағышты өзгерту қажет
1.2	Тасымалдаушылардың шыңдарын басу	Жоқ	Таратқыш пен қабылдағыштың модификациялары қажет
1.3	Кездейсоқ фазалық жылжу	Жоқ	Қабылдағышты өзгерту қажет
1.4	Конвертті масштабтау	Жоқ	Тек PSK модуляцияланған сигналдарға қолданылады
1.5	Қиып алу және сүзу	Ия	Өзгертусіз қолайлы
2.	Сигналдың бұрмалануынсыз әдістер (шифрлеуге негізделген сигнал)		

2.1	Хадамарды түрлендіру	Жоқ	Қабылдағышты өзгерту қажет
2.2	Көмекші тізбекті енгізу	Жоқ	Қабылдағышты өзгерту қажет
2.3	Таңдамалы деңгей дисплейі және пакетті тасымалдау реті	Жоқ	Қабылдағышты өзгерту қажет
2.4	Араластыру және блокты кодтау	Жоқ	Таратқыш пен қабылдағыштың модификациялары қажет
2.5	Тонды брондау	Жоқ	Қосымша ішкі тасымалдаушылар қажет
2.6	Тонды енгізу	Жоқ	Қабылдағышты өзгерту қажет
2.7	Сигнал шоқжұлдызының белсенді кеңеюі	Ия	Өзгертусіз қолайлы

Осылайша, DRM таратқыштарындағы Шекті факторын азайту үшін кесу және сүзу әдістері, сондай-ақ сигнал шоқжұлдызының белсенді кеңею әдісі қолданылады.

Амплитудалық кесу - қырлы факторды азайтудың негізгі және қарапайым әдісі. Кіріс сигналының шыңдарының амплитудасы, егер сигнал осы мәннен асып кетсе, көрсетілген мәнмен шектеледі, әйтпесе сигнал өзгеріссіз қалады. Қиып алу функциясы мына өрнекпен сипатталады:

$$x_c[n] = \begin{cases} x[n], & |x[n]| \leq A \\ Ae^{j\varphi(x[n])}, & |x[n]| > A \end{cases} \quad (3.3)$$

мұндағы $x[n]$ – бастапқы OFDM сигналы;

$\varphi(x[n])$ – $x[n]$ сигналының фазасы;

A – алдын ала орнатылған кесу деңгейі;

$x_c[n]$ – кесілгеннен кейінгі сигнал.

Қиып алу жолақ ішіндегі бұрмалануға, BER және MER көрсеткіштерінің нашарлауына және диапазоннан тыс шығарындылардың жоғарылауына әкеледі. Бұл әсерлерді азайту үшін кесілген сигналды сүзгілеу қолданылады, бұл Шекті факторының кейбір кері өсуін тудырады. Бұл мәселені шешу үшін кесу мен сүзудің бірнеше итерациялары қолданылады.

Қиып алудың тағы бір нұсқасы терең кесу болып табылады, онда сигнал амплитудасы белгіленген деңгеймен шектеліп қана қоймайды, сонымен қатар осы деңгейден төмен амплитуданы одан әрі басу орындалады, осылайша сүзгіден өткеннен кейін Шекті факторының қайта ұлғаюының әсерін азайтады. жолақты

құрамдас бөліктер. Белгіленген Шекті мәннен төмен сигнал амплитудасының басылу шамасы басылу тереңдігінің қатынасымен анықталады.

Жалпы жағдайда күрделі сигнал амплитудасына қатысты $f(x)$ қиюының амплитудалық сипаттамасын мына өрнекпен көрсетуге болады:

$$f(x) = \begin{cases} |x|, & |x| \leq A \\ A + k \cdot (|x| - A), & |x| > A \end{cases} \quad (3.4)$$

мұндағы x – күрделі OFDM базалық жолақ сигналы ($x = I + jQ$);

$|x|$ - кешенді OFDM сигналының амплитудасы;

A - алдын ала орнатылған кесу деңгейі;

k – сипаттаманың көлбеу коэффициенті.

$k < 0$ үшін (3.4) өрнек бұрын сипатталған терең кесу функциясын анықтайды.

$k = 0$ үшін (3.4) өрнек A бекітілген Шекті шегі бар классикалық қию функциясына азаяды.

$0 < k < 1$ үшін (3.4) өрнек тегістеумен кесу функциясын анықтайды, бұл кезде бастапқы сигналдың амплитудасы A шегінен асып кеткенде қатаң шектелмейді. Кіріс сигналының амплитудасы A -дан үлкен болған кезде қиюдың амплитудалық сипаттамасы, бұл жағдайда, көлбеу бұрышы k -ге пропорционал өсетін түзу болады.

$k = 1$ үшін кіріс сигналы кесуге жатпайды. 1-ден үлкен k мәндері кесу мақсаттары үшін жарамсыз.

I' және Q' кесілгеннен кейінгі негізгі жолақ сигналдары өрнектер арқылы есептеледі:

$$I' = f(x), \quad (3.5)$$

$$Q' = Q^f(x), \quad (3.6)$$

Абсолютті қию деңгейінің орнына CR қию коэффициенті сияқты параметр жиі пайдаланылады, ол өрнекпен анықталады:

$$CR = U_{cp} \quad (3.7)$$

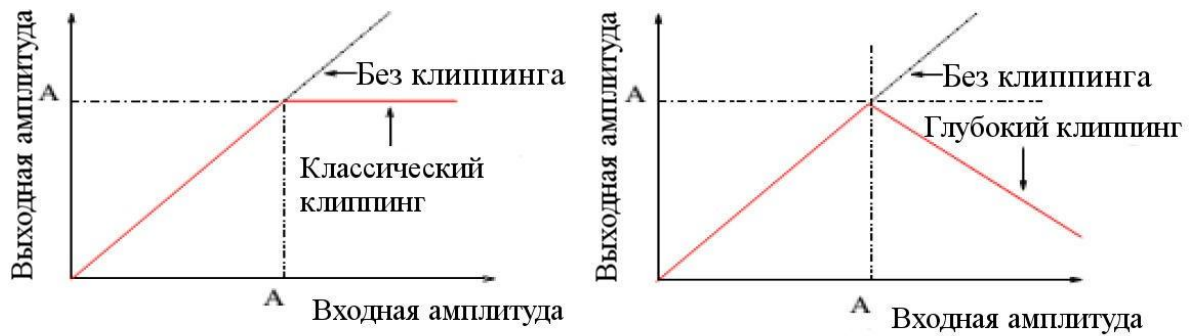
Мұндағы U_{cp} – сигнал кернеуінің орташа мәні, өз кезегінде мына өрнекпен анықталады:

$$U_{cp} = U_1 \sqrt{N} \quad (3.8)$$

мұндағы U_1 – бір қосалқы тасымалдаушының амплитудасы;

N - ішкі тасымалдаушылар саны

Классикалық қиюдың және терең кесудің амплитудалық сипаттамалары 3.5-суретте көрсетілген.



3.5-сурет - Классикалық кесу мен терең кесудің амплитудалық сипаттамалары

Тағы бір жетілдірілген қиып алу әдісі - терезелеу әдісі, онда Шекті аймағындағы OFDM сигналы терезе функциясына көбейтіледі (Барлетт, Блэкман-Харрис, Хамминг, Ханн, Гаусс) [25]. Сонымен қатар, диапазоннан тыс шығарындылардың артуы және BER және MER деградациясы стандартты кесумен салыстырғанда айтарлықтай аз болады деп күтілуде. Терезе функциясын қолданғаннан кейін шығыс сигнал өрнекпен сипатталады:

$$x_c[n] = x[n] \cdot (1 - \sum_k a_k w[n - k]), \quad (3.9)$$

мұндағы $x[n]$ - кесу алдындағы OFDM сигналы;

$x_c[n]$ - қиюдан кейінгі OFDM сигналы;

$w[n]$ - терезе функциясы;

a_k - салмақтық факторлар.

Классикалық қиюдың өрнегі ретінде жазылса

$$x_c[n] = x[n] \cdot c[n] \quad (3.10)$$

мұндағы

$$c[n] = \begin{cases} 1, & |x[n]| \leq A \\ \frac{A}{|x[n]|}, & |x[n]| \geq A \end{cases} \quad (3.11)$$

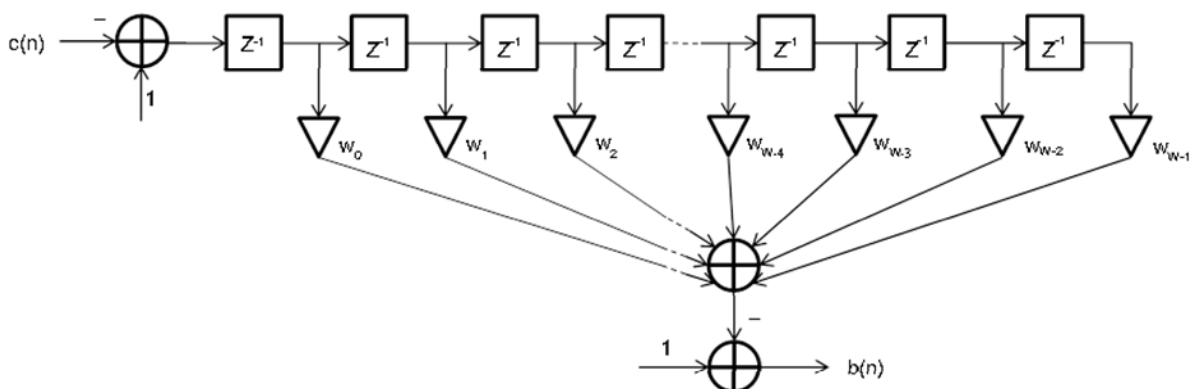
содан кейін терезе функциясын қолданатын әдіспен көрсетілген қиып алу деңгейіне жету үшін (3.10) өрнек келесі пішінді алады:

$$x_c[n] = x[n] \cdot b[n], \quad (3.12)$$

мұндағы

$$b[n] = 1 - \sum_k (1 - c[k]) \cdot w[n - k] \quad (3.13)$$

Практикада $1 - c[k]$ функциясының және терезе функциясының $w[k]$ конволюциясы коэффициенттері терезе функциясының сандарына тең болатын Шекті импульстік жауап (КИХ) сүзгісі арқылы жүзеге асырылады. Мұндай сүзгінің құрылымы 3.6-суретте көрсетілген.



3.6-сурет – Шекті факторын шектейтін сүзгінің құрылымы терезе функциясы

Айта кету керек, егер терезе функциясының ұзындығы берілген A деңгейінен бірнеше асуларға түссе, онда терезе функциялары қабаттасып, бастапқы сигналдың басылуы қажетті мәннен асып түседі. Ең нашар жағдайда $b[n]$ коэффициенттері теріс мәнді қабылдайды, бұл жүйе үшін өлімге әкелетін салдарға әкеледі.

Бұл мәселенің шешімі [4]-да ұсынылған әдіс болып табылады, онда стандартты КИХ сүзгісінен басқа $1 - c[n]$ функциясының кіріс үлгілерінен шегерілетін түзету коэффициенттерін құрайтын кері байланысы бар қосымша құрылым қолданылады (3.7-сурет).

Егер түзету коэффициенттері сүзгінің кіріс үлгілерінен үлкен болса, алынған үлгілер теріс болады. Мұндай жағдайдың сигналды шектеу нәтижесіне жағымсыз әсерін жою үшін құрылымға теріс үлгілерді нөлге ауыстыратын блок енгізіледі.

Осы шешімнің арқасында алынған салмақ коэффициенттері $b(n)$ шектеу амплитудасының кесу коэффициенттерінің амплитудасын дәлірек қайталайды $c(n)$.

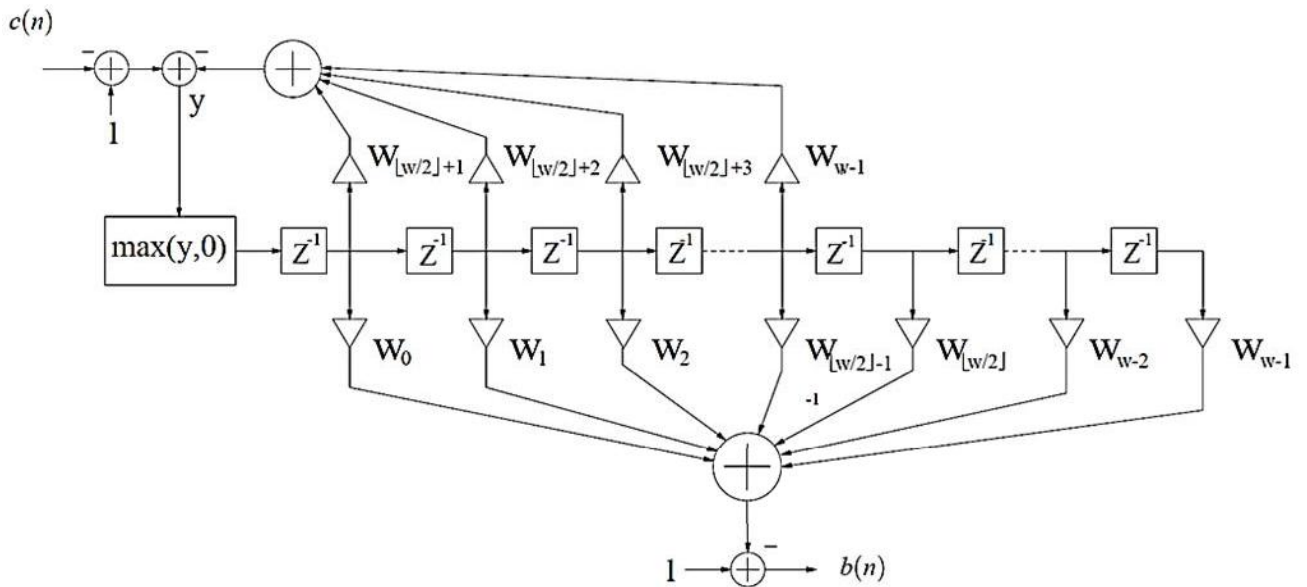
3.8-суретте стандартты конволюция әдісімен және тұйық цикл әдісімен алынған $b[n]$ функцияларының графиктері көрсетілген.

Белсенді шоқжұлдыздарды тарату әдісінің негізгі идеясы шоқжұлдыз нүктелерінің бір бөлігін бастапқы шоқжұлдыздың сыртына қарай кеңейту болып табылады, соның арқасында OFDM сигналының төбелік факторын азайтуға

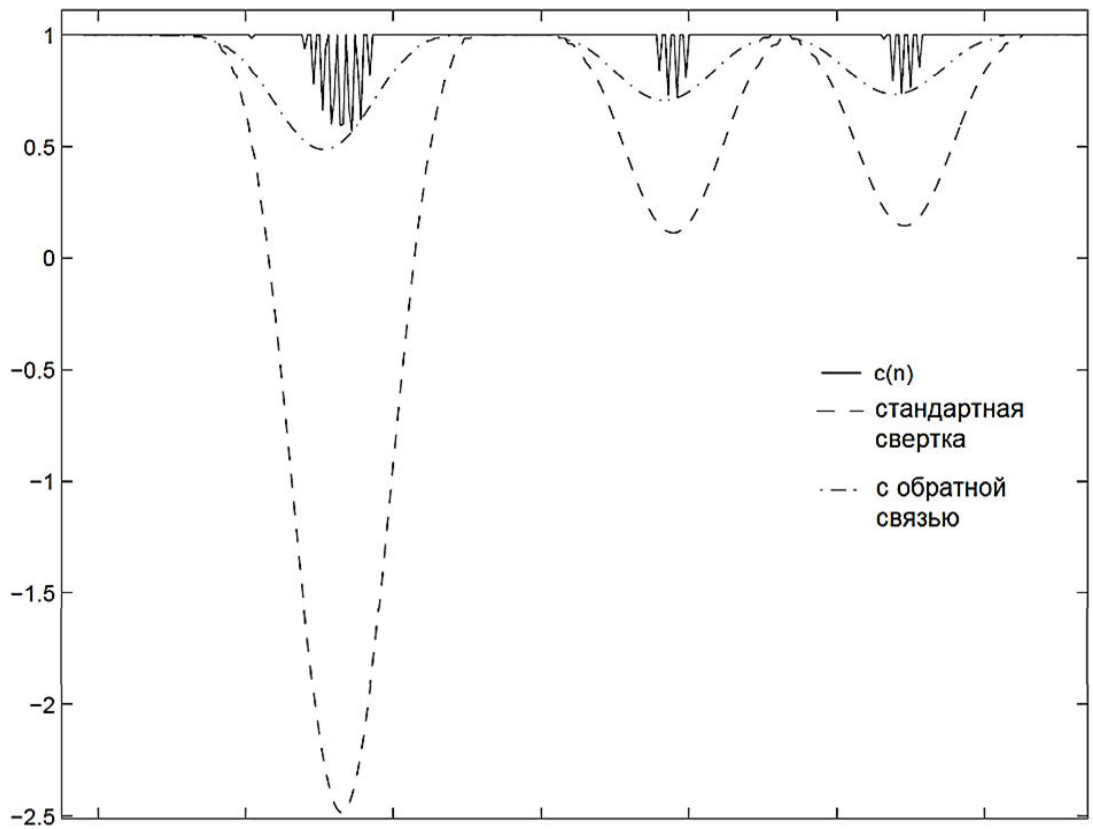
болады. Бұл принцип QPSK және 16-QAM модуляция түрлері үшін тиісінше 3.9 және 3.10-суреттерде көрсетілген.

3.9 және 3.10-суреттеріндегі көлеңкеленген аймақтар және 3.10-суреттегі штрихталған көрсеткілер шоқжұлдыз нүктелерінің шекараларының кеңею бағыттарын көрсетеді.

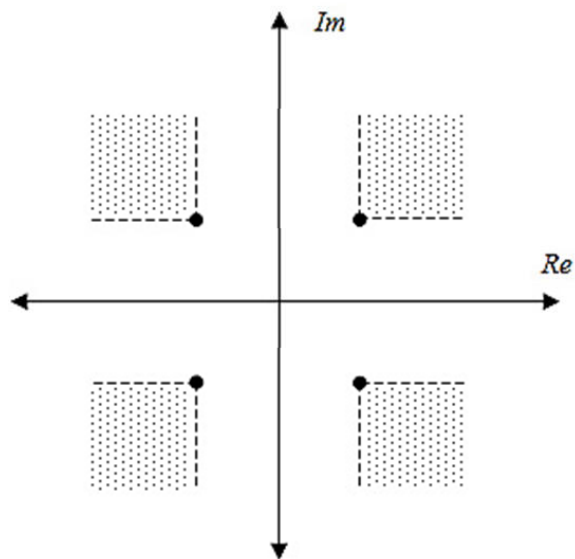
Бұл кеңейтімдердің сәйкес комбинациясы уақыттық домендегі сигнал шыңдарын азайтуға және сәйкесінше Шекті факторын азайтуға мүмкіндік береді.



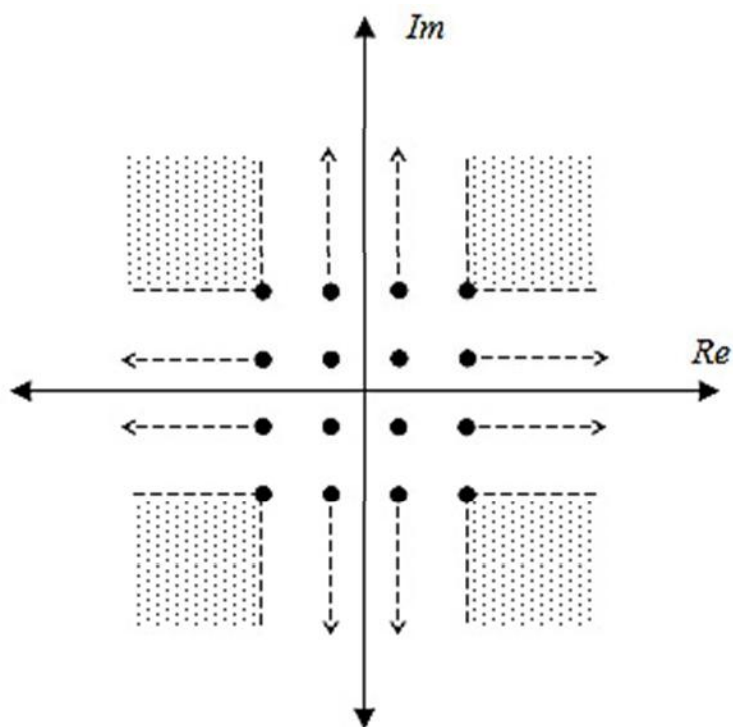
3.7-сурет - Кері байланысы бар цифрлық сүзгінің құрылымы



3.8-сурет - Стандартты конверсия әдісімен және кері байланыс әдісімен алынған $b [n]$ функцияларының графиктері.



3.9-сурет - QPSK модуляциясымен сигнал шоқжұлдызының белсенді таралуы



3.10-сурет - 16-QAM бойынша белсенді таралу

Ұсынылған модельдеу әдістемесін және «ПИК-ЦХТ» бағдарламалық пакетін пайдалана отырып, сигналдың бұрмалануына негізделген DRM сигналының Шекті факторын азайтудың келесі әдістері зерттелді:

- классикалық кесу;
- терең кесу;
- терезені өлшеу;
- кері байланыспен терезені өлшеу.

DRM + стандартына сәйкес келетін базалық жолақ сигналы, шуға төзімділік режимі E, спектрді бөлу режимі 0, 213 қосалқы тасымалдаушы, қосалқы тасымалдаушы модуляциясы - 4-QAM және 16-QAM (тиісінше E0 4-QAM және E0 16-QAM сигналдары) және DRM30 сигналы, режимнің бөгеуіл иммунитеті B, спектрді бөлу режимі 3, 207 қосалқы тасымалдаушы, қосалқы тасымалдаушы модуляция - 16-QAM (B3 16-QAM сигнал). Шекті коэффициентін төмендетудің барлық әдістері бойынша нәтижелерді дұрыс салыстыру үшін 10 000 OFDM символының қалыптасуын қамтамасыз ететін бірдей алдын ала жасалған өткізу қабілеттілігі пайдаланылды. Шекті факторының төмендеу деңгейі DRM + режимі үшін 21 ... 22 дБ шегінде, 30 ... 31 дБ үшін MER шарттарынан таңдалды.

DRM30 және диапазоннан тыс эмиссия сәйкестік маскасы [23].

Зерттеу барысында пик факторының минималды қол жеткізілетін орташа және максималды мәні және Шекті факторын азайтудың әрбір әдісі үшін оңтайлы параметрлер жиынтығы анықталды. Есептеу нәтижелері А қосымшасында көрсетілген. Жалпыланған нәтижелер 3.4-кестеде көрсетілген.

3.4 Кесте - Результаты исследований методов снижения шың-фактора сигналов DRM

Әдіс	В3 16-QAM				E0 4-QAM				E0 16-QAM			
	CR Прм. 2*	CR Прм. 2*	PAPR, дБ		C R	Прм. 2*	PAPR, дБ		CR Прм. 2*	CR Прм. 2*	PAPR, дБ	
			Орта ша	Мак с.			Орта ша	Мак с.			Орта ша	Ма кс
Қиып алу	1,99	-	6,38	7,18	1,52	-	4,71	5,35	1,52	-	4,71	5,31
Терең кесу	2,03	-0,1	6,38	6,92	1,56	-0,1	4,66	5,25	1,57	-0,1	4,71	5,25
Терезе салмағы, терезе:												
- Гаусса	1,96	7	6,49	7,37	1,57	9	4,74	5,26	1,58	9	4,67	5,31
- Хэмминга	2,01	9	6,49	7,09	1,60	11	4,75	2,26	1,54	9	4,75	5,33
- Ханна	1,98	9	6,46	7,23	1,58	11	4,74	5,26	1,59	11	4,77	5,30
- Блэкманна Харриса	2,00	13	6,48	7,12	1,58	15	4,76	5,27	1,58	15	4,75	5,29
Барлетта	1,98	9	6,49	7,24	1,58	11	4,77	5,29	1,58	11	4,79	5,33
ОЖ-мен терезені өлшеу, терезе												
- Гаусса	1,99	8	6,39	7,05	1,68	21	4,64	5,00	1,68	21	4,64	4,96
- Хэмминга	2,05	10	6,43	6,96	1,68	23	4,65	5,03	1,68	23	4,65	4,98
- Ханна	2,03	10	6,39	6,99	1,68	25	4,64	5,05	1,69	25	4,66	5,00
- Блэкманна Харриса	2,04	14	6,42	7,00	1,65	27	4,66	5,10	1,68	35	4,65	4,96
- Барлетта	2,04	10	6,41	6,92	1,68	25	4,65	4,98	1,66	21	4,65	5,00

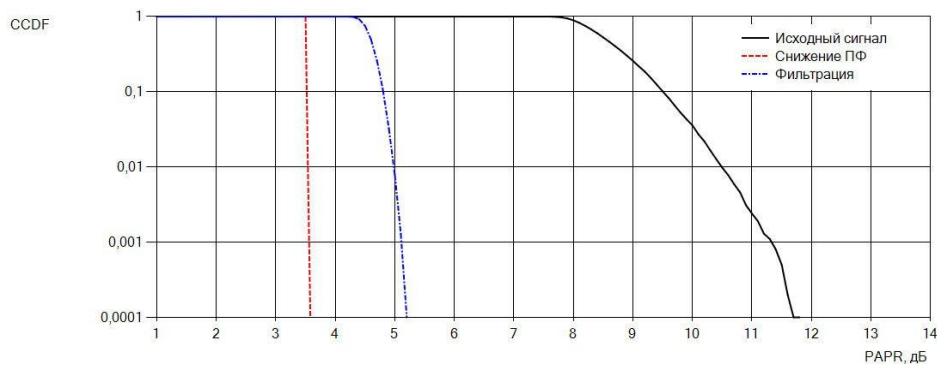
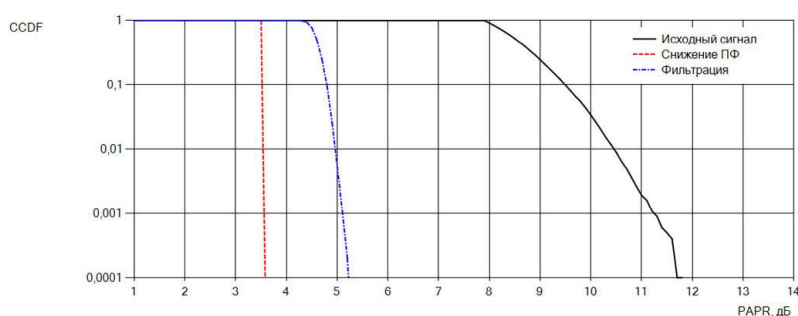
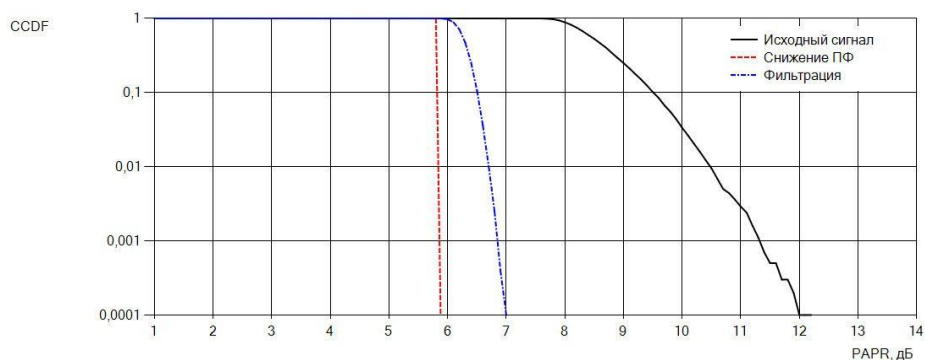
* Ескертпе: Прм.2-шынды төмендету әдісінің қосымша параметрі:

- терең клипинг үшін К сипаттамасының көлбеу коэффициенті;

- терезені өлшеуге арналған терезенің ұзындығы (OFDM таңбасының санауларында).

Классикалық кесу. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, классикалық кесу үшін CR кесу коэффициентін оңтайлы таңдау кезінде орташа/максималды PAPR мәні 6,38 / 7,18 дБ, 4,71 / 5,35 дБ және 16-QAM, E0 4-QAM және B3 сигналдары үшін 4,71 / 5,31 дБ болды. E0 16-QAM, сәйкесінше.

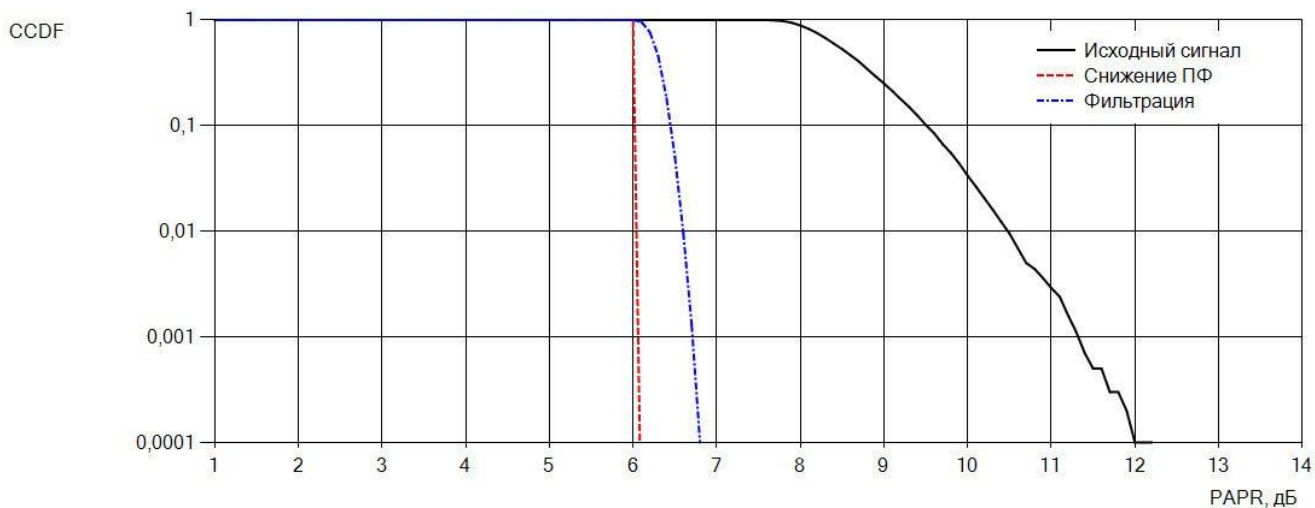
B3 16-QAM, E0 4-QAM және E0 16-QAM сигналдары үшін PAPR графиктері 3.11-суретте көрсетілген.



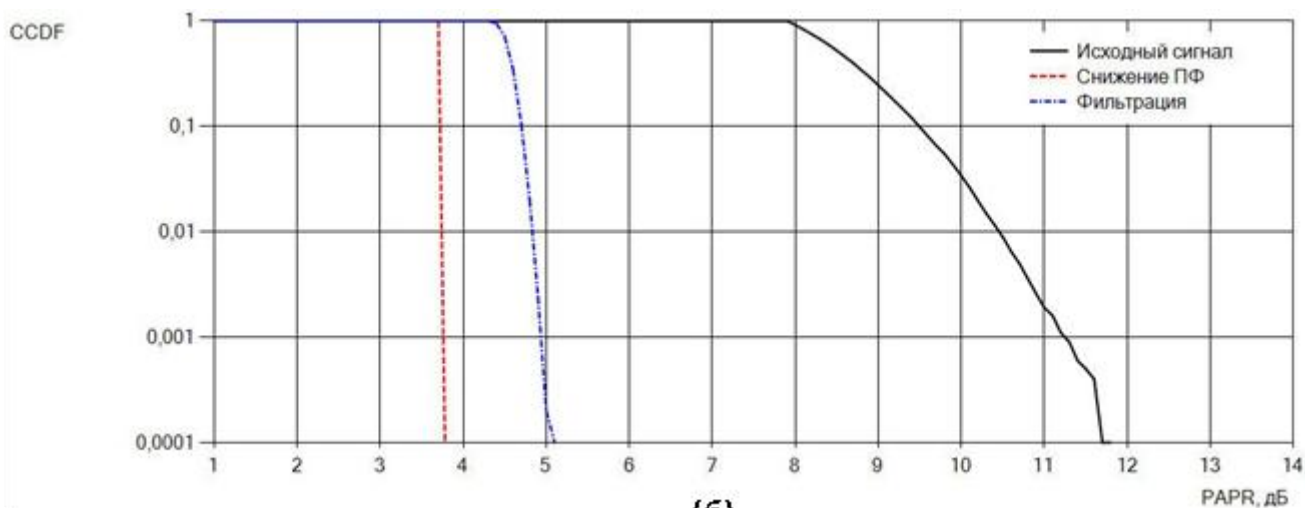
3.11-сурет - классикалық кесумен B3 16-QAM (a), E0 4-QAM (b) және E0 16-QAM (c) сигналдары үшін PAPR қосымша жинақтаушы тарату функциясының графиктері.

Терең кесу. Терең кесу сәл жақсырақ орындалды ВЗ 16-QAM, Е0 4-QAM және Е0 16-QAM үшін тиісінше Орташа / максималды PAPR 6,38 / 6,92 дБ, 4,66 / 5,25 дБ және 4,71 / 5,25 дБ. Классикалық кесумен салыстырғанда терең кесу кезінде Шекті коэффициентінің төмендеуін арттыру орташа есеппен шамамен 0,1 дБ құрайды.

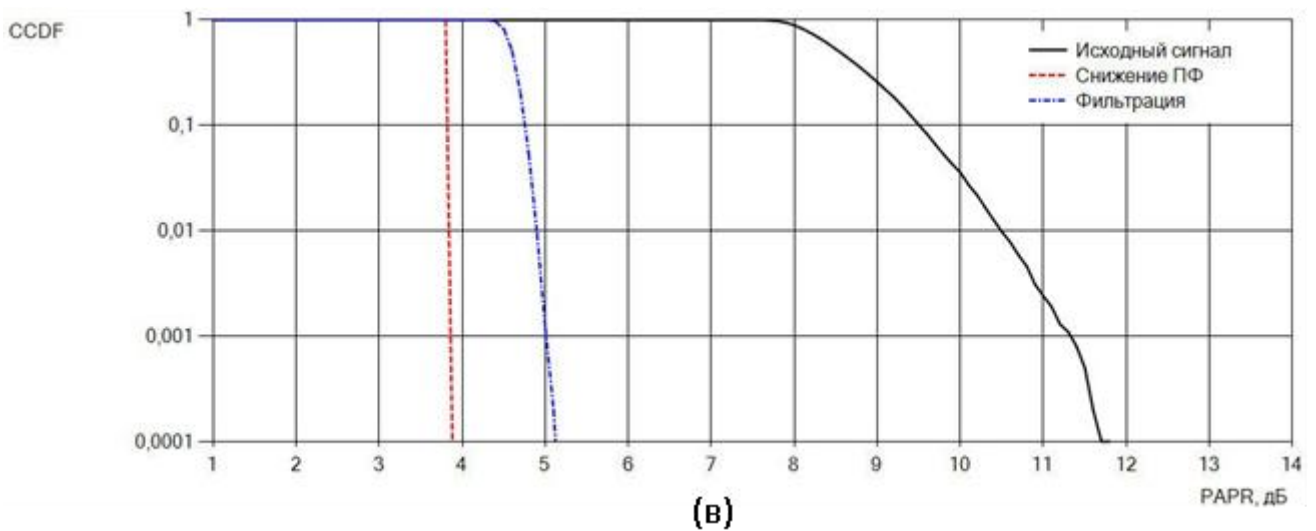
ВЗ 16-QAM, Е0 4-QAM және Е0 16-QAM сигналдары үшін PAPR графиктері 3.12-суретте көрсетілген.



(a)



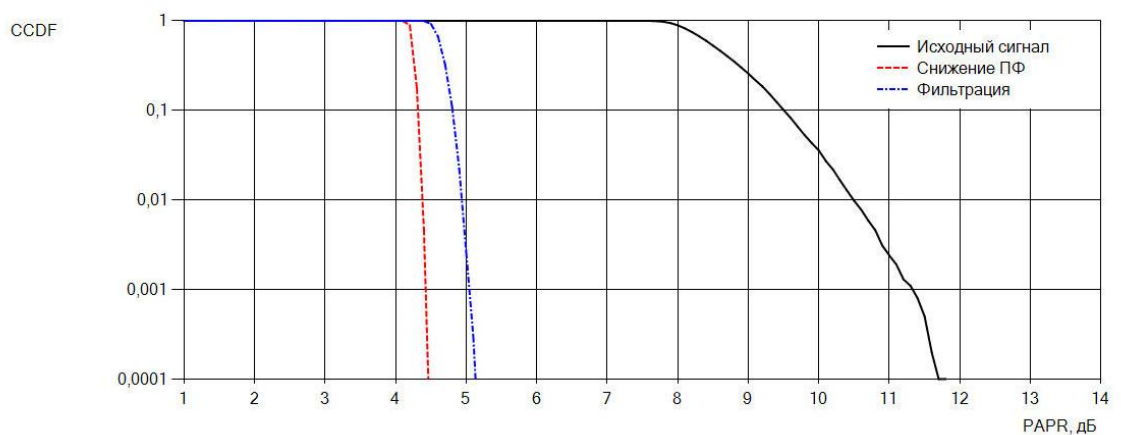
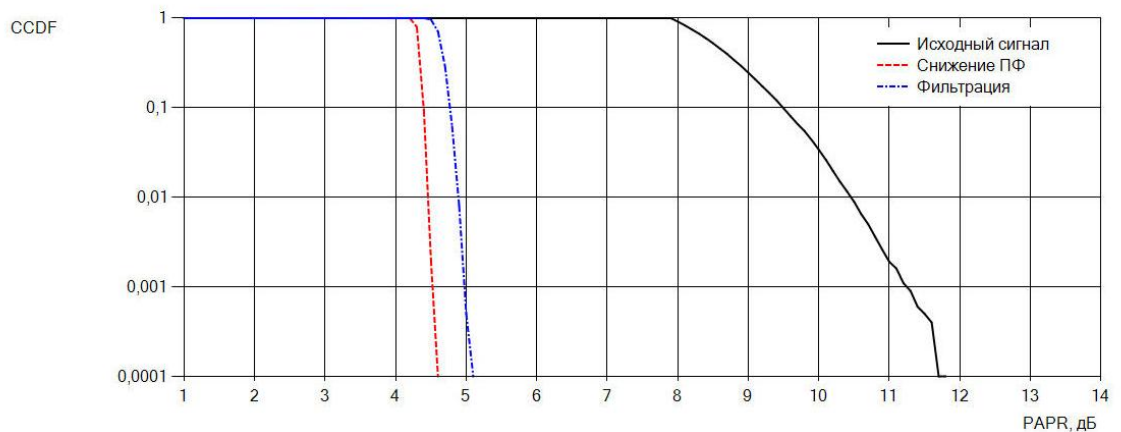
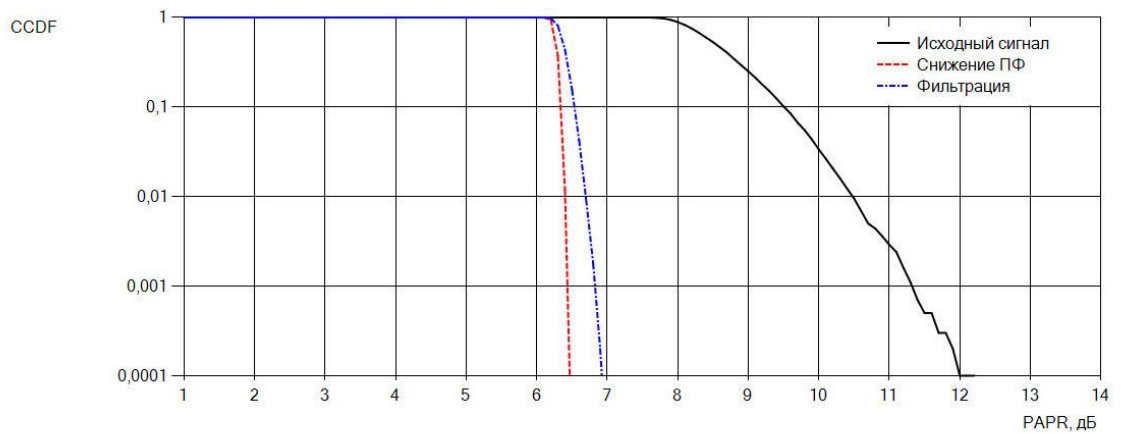
(б)



3.12-сурет - терең кесілген V3 16-QAM (a), E0 4-QAM (b) және E0 16-QAM (c) сигналдары үшін PAPR қосымша жинақтаушы тарату функциясының графиктері.

Терезе салмағының орташа коэффициенті бойынша DRM сигналының Шекті факторын басудың нәтижелері алдыңғы екі әдістің нәтижелерінен орташа 0,1 дБ-ге сәл нашар болып шықты. Максималды Шекті коэффициенті әдетте кесу әдістерімен салыстырылады. Ең жақсы нәтижелерді V3 16-QAM және E0 4-QAM сигналдары үшін Хамминг терезесі (тиісінше 7,09 және 5,25 дБ) және E0 16-QAM сигналы үшін Блэкман-Харрис терезесі (5,29 дБ) көрсетті.

Hamming терезесінің салмағы бар V3 16-QAM, E0 4-QAM сигналдары және Блэкман-Харрис терезесінің салмағы бар E0 16-QAM үшін PAPR графиктері 3.13-суретте көрсетілген.

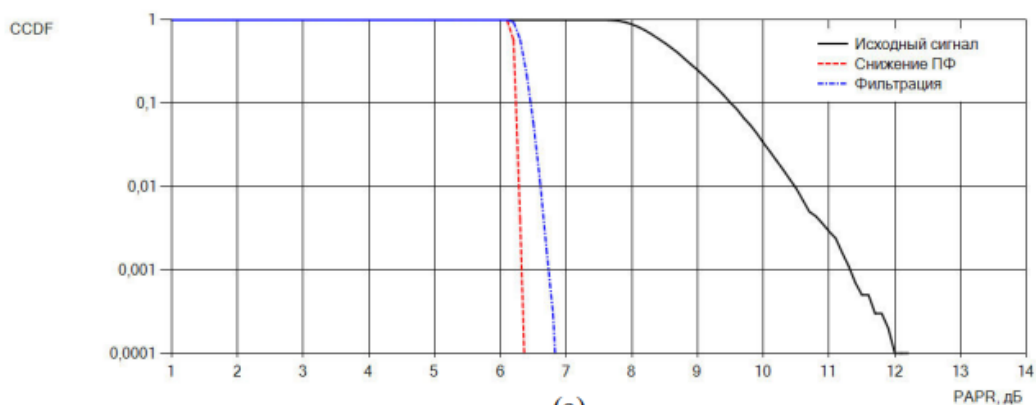


3.13-сурет - Хэмминг терезесі арқылы терезелік салмақтауы бар V3 16-QAM (a), E0 4-QAM (b) сигналдары үшін және Блэкман арқылы терезелік салмақтауы бар E0 16-QAM (c) сигналдары үшін PAPR қосымша жинақтаушы тарату функциясының графиктері. Харрис терезесі.

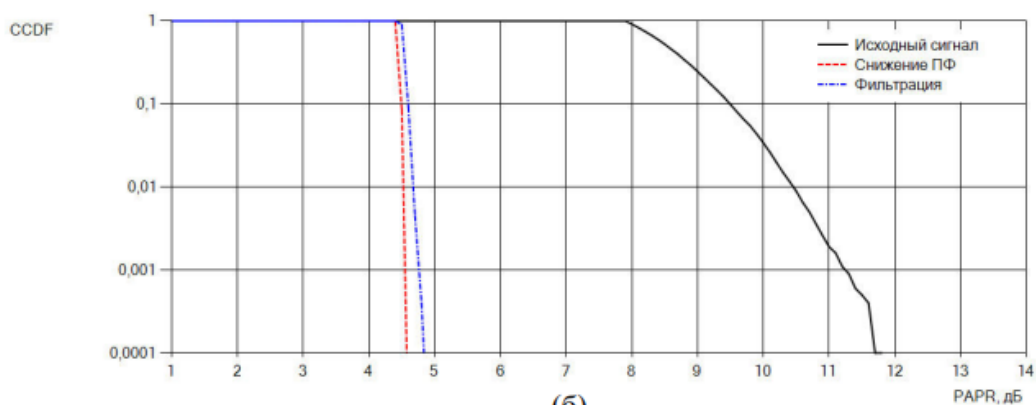
Жабық контурлы терезе салмағы. DRM Шекті факторын қабылдамау үшін жабық цикл терезесінің салмақтау нәтижелері әдетте алдыңғы әдістерге қарағанда жақсырақ. E0 4-QAM және E0 16-QAM сигналдары үшін ең жоғары Шекті коэффициенті кесу әдістерінен шамамен 0,25 дБ төмен болды. V3 16-QAM сигналы үшін орташа шыңы коэффициенті кесу әдістерімен салыстыруға болатын және әдеттегі терезені өлшеу әдістерінен 0,1 дБ төмен болды. Тұтастай

алғанда, барлық терезелер салыстырмалы нәтижелерді көрсетті, E0 16-QAM сигналы үшін Гаусс терезесі және B3 16-QAM және E0 4-QAM сигналдары үшін Барлетт терезесі максималды Шекті коэффициенті бойынша аздап ерекшеленеді.

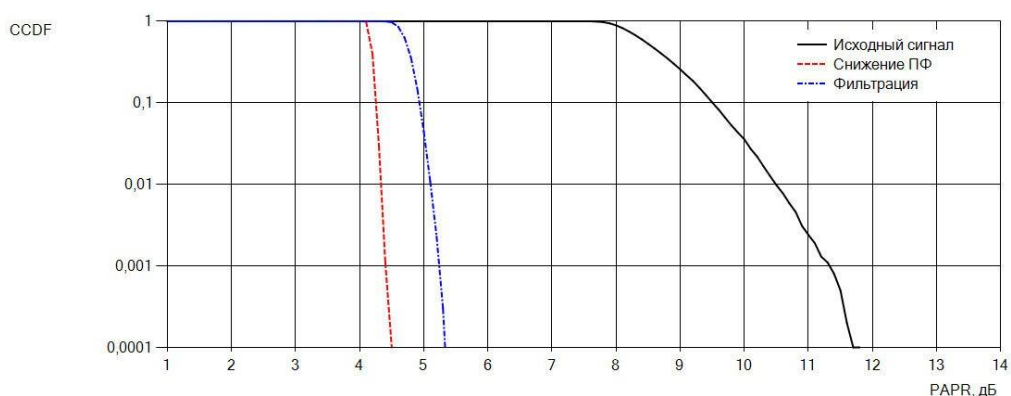
B3 16-QAM, E0 4-QAM сигналдары үшін жабық контурлы Барлеттта терезе салмағы бар және E0 16-QAM жабық контурлы Гаусс салмағы бар PAPR графиктері 3.14-суретте көрсетілген.



(a)



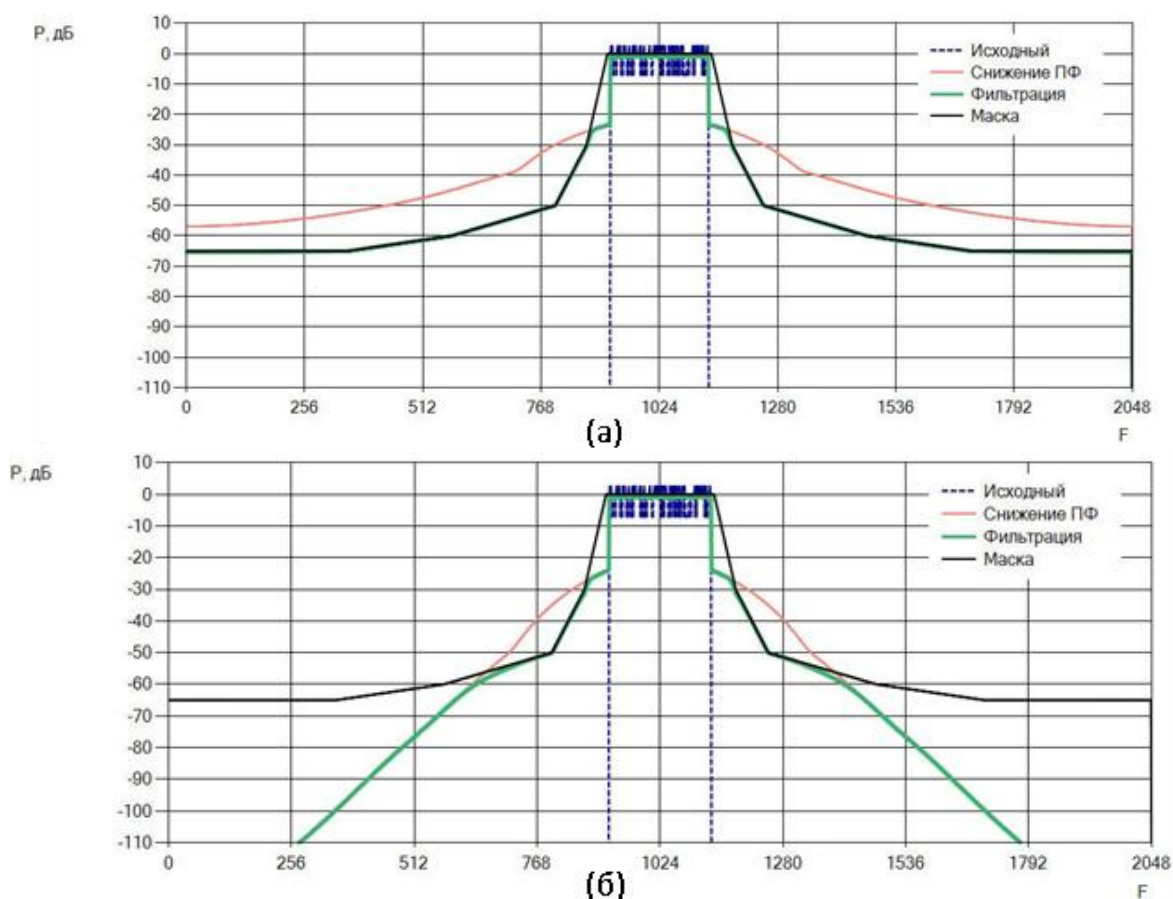
(б)

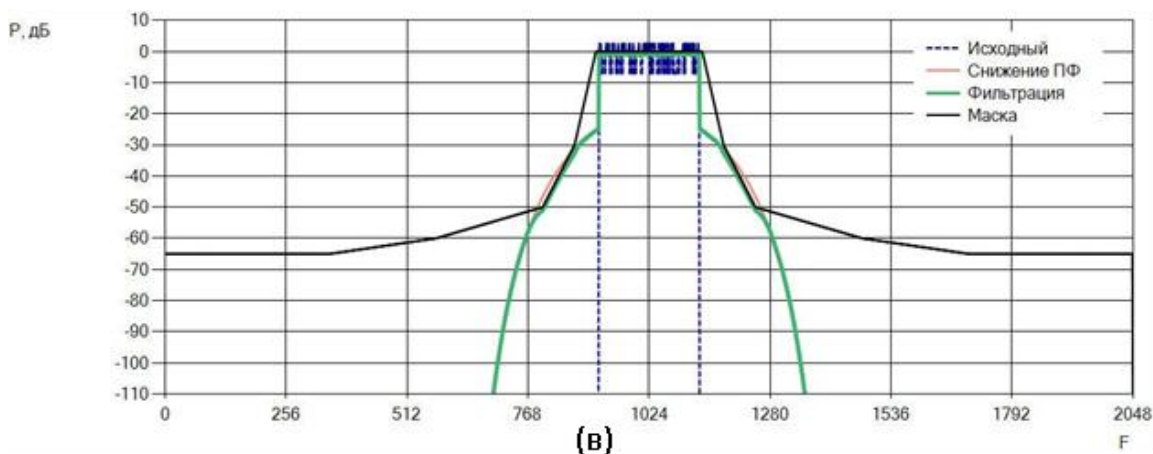


(в)

3.14-сурет - Кері байланысы бар Барлеттта терезесі бар терезелік салмағы бар B3 16-QAM (a), E0 4-QAM (b) сигналдары үшін және терезелік салмақпен E0 16-QAM (c) сигналдары үшін PAPR қосымша жинақтаушы тарату функциясының графиктері. Кері байланыс бар Гаусс терезесі .

Терезені салмақтау әдістеріне тән комплементарлы жинақтаушы үлестіру функциясының PAPR ерекшелігін атап өткен жөн. Сүзгілеуден кейін Шекті коэффициентінің жоғарылауы кесу әдістеріне қарағанда әлдеқайда аз екенін байқау оңай. PAPR қосымша жинақтаушы тарату функциясының бұл әрекеті, ең алдымен, сигнал тегіс кесілген және кесілгеннен кейін өткір жиектері болмаған кезде, терезені салмақтау әдістеріндегі шыңды шектеу принципімен байланысты, бұл өз кезегінде шығыстың күрт өсуін тудырмайды. диапазоннан тыс эмиссиялар, демек, сүзгілеу сигналға азырақ әсер етеді. Мысал ретінде, 3.15-суретте кесуге арналған 16-QAM E0 сигналының спектрлері, Блэкман-Харрис терезелік салмақтау және Блэкман-Харрис жабық контурлы терезелі салмақтау. Кесілгеннен кейін диапазоннан тыс эмиссиялардың өсуі жеткілікті кең жиілік диапазонында орын алады, ал терезені салмақтаудан кейін сигналдың жақын өріс аймағында шамалы ғана өсу байқалады. Диапазоннан тыс шығарындылардың ең аз өсуі жабық циклды терезенің салмақтау әдістерін пайдаланған кезде орын алады, өйткені бұл әдістер әдеттегі терезе салмағын өлшеу әдістеріне тән аз немесе шектен тыс шектеулерді болдырмай, сигнал шыңдарының амплитудасын дәлірек шектеуді қамтамасыз етеді.





Сурет 3.15 - Қиып алу жағдайлары үшін E0 16-QAM сигналының спектрлері (а), Блэкмен-Харрис терезесі арқылы терезені салмақтау (b) және кері байланысы бар Блэкман-Харрис терезесі арқылы терезені өлшеу (c)

Шекті факторын азайту әдістерін талдау DRM30 сигналдары үшін терең кесу ең жақсы нәтиже беретінін көрсетеді, ал DRM + сигналдары үшін жабық цикл терезесінің салмағын таңдауға артықшылық беріледі. Бұл айырмашылық, ең алдымен, DRM30 стандарты үшін ең аз рұқсат етілген MER 30 дБ, ал DRM стандарты үшін + 21 дБ болатындығына байланысты, сондықтан Шекті факторын азайту процесінде DRM + сигналы неғұрлым қарқынды шектеуге ұшырайды. , бұл сигналды ең аз бұрмалайтын әдістерді қолдануға мәжбүр етеді.

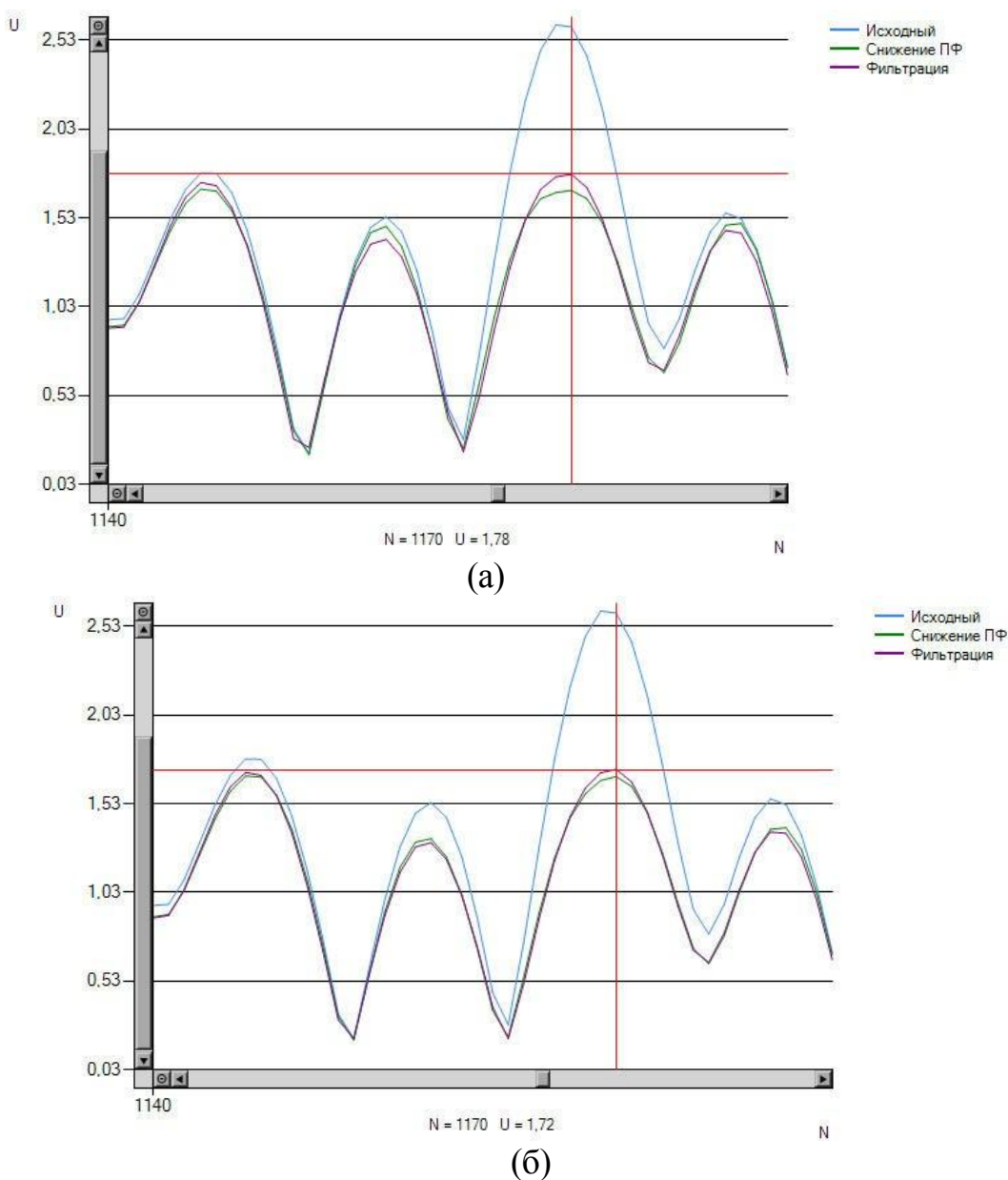
Дегенмен, әртүрлі Шекті факторын шектеу әдістерін қолдану арқылы орташа PAPR таралуы шамамен $\pm 0,13$ дБ болды. Бұл өте үлкен мән емес екенін ескере отырып, белгілі бір жабдықта пайдалану үшін Шекті факторын азайтудың сол немесе басқа әдісін таңдағанда, осы жабдықты пайдалану шарттарын да, басқа да нақты әдістерді ескеру қажет, мысалы орташа және максималды PAPR қатынасы, диапазоннан тыс шығарындылардың ұлғаю шамасы, MER функциясының таралулары, іске асырудың күрделілігі және т.б.

3.4 Төмендетілген шекті факторы бар модификацияланған DRM сигналын қалыптастыру алгоритмін әзірлеу және зерттеу

Өзгертілген DRM Шекті факторын азайту алгоритмі. Осы жұмыста ұсынылған максималды факторды азайтудың модификацияланған алгоритмі бейімделгіш өзгертін параметрлермен кері байланысы бар терезе өлшеуге негізделген. Қазіргі заманғы DRM стандартты модуляторларында жоғары жиілікті сигналдың қалыптасуы I және Q негізгі жолағының (baseband) сигналдарынан тікелей квадратуралық модуляторда жүзеге асырылатындықтан, шыңы факторды азайту мақсатында аталған сигналдардың барлық Цифрлық

өңдеулері негізгі жолақта, квадратуралық модуляторға дейін орындалады [18].

Алдыңғы бөлімде көрсетілгендей, кері байланысты өлшеу әдісі жақсы нәтиже береді. Алайда, өңделген сигналды мұқият зерттей отырып, кейбір OFDM таңбалары бар екенін байқауға болады сүзуден кейін Шекті факторының өсуі байқалады. Терезе ұзындығының аздап өсуі шыңның өсу мәселесін шешеді. 3.16-суретте E0 4-QAM сигналының шыңы терезенің ұзындығы әртүрлі жағдайларға арналған кері байланысы бар Барлетт терезесімен өлшеу әдісі мен сүзгіленгеннен кейін өсу мысалы көрсетілген.



3.16-сурет - Терезе ұзындығы 25 үлгі (а) және 32 үлгі (б) бар кері байланысы бар Барлетта терезесі арқылы терезені салмақтау жағдайлары үшін сүзгіден кейін E0 4-QAM сигналының шыңының өсуі.

Бірінші жағдайда сигналдың Шекті коэффициенті 4,98 дБ құрайды. Терезенің ұзындығын 32 үлгіге дейін ұлғайту Шекті коэффициентін 4,73 дБ (яғни, 0,25 дБ) төмендетеді, ал MER шамамен 0,6 дБ төмендейді.

MER стандартты шектерде ұстау үшін терезе ұзындығының мұндай ұлғаюы проблемалы OFDM таңбаларына таңдамалы түрде қолданылуы керек. Атап айтқанда, талдау көрсеткендей, OFDM символдарының Шекті коэффициентінің өсуі E0 4-QAM және E0 16-QAM сигналдары үшін 0,45 дБ және B3 16-QAM сигналы үшін 0,6 дБ жетеді. E0 сигналдары үшін мұндай белгілер үшін Шекті коэффициентінің өсуін 0,2 дБ дейін азайту үшін терезе ұзындығын 4-QAM модуляциясы бар 32 үлгіге және 16-QAM модуляциясы бар 27 үлгіге дейін арттыру жеткілікті, ал MER төмендеуі 0,6 дБ аспайды. 16-QAM B3 сигналы үшін терезе ұзындығын 18 үлгіге дейін ұлғайту 1,3 дБ MER деградациясымен ең жоғары фактордың көтерілуін 0,3 дБ дейін азайтады. Төменгі төбе факторының өсуі бар таңбалар үшін терезе ұзындығы өсумен бірге шамамен сызықты түрде қысқартылуы мүмкін. MER нашарлауы да азайды.

Зерттеу нәтижесінде, E0 4-QAM сигналы үшін Шекті коэффициенті 0,086 дБ-ден астам шегінде өсетін OFDM таңбаларының саны E0 16-QAM сигналы үшін 0,126 дБ және E0 16-QAM сигналы үшін 0,19 дБ жоғары екені анықталды. B3 16-QAM 30%-дан аспайды. Осылайша, егер белгілердің 30%-ы үшін сигналды өңдеу нәтижесінде MER E0 сигналы үшін 0,6 дБ-ге және бастапқы 21,5 және 30,5 дБ-ге қатысты B3 сигналы үшін 1,3 дБ-ге төмендейді деп есептесек, орташа MER E0 және B3 сигналдары үшін тиісінше 21,05 дБ дейін және 30,13 дБ дейін төмендейді, бұл қолданыстағы стандарттар шегінде.

Өңдеуден бұрын бастапқы сигналды зерттеу бір OFDM символының шекарасындағы бастапқы сигналдың кейбір параметрлері мен фильтрлеуден кейін Шекті коэффициентінің жоғарылауы арасында корреляция бар екенін көрсетті. Зерттеулер 3.5-кестеде көрсетілген алдыңғы бөлімде ең жақсы нәтижелерді көрсеткен параметрлері бар жабық контурлы терезенің таразы әдісі бойынша жүргізілді.

Кесте 3.5 - Терезені кері байланыспен өлшеу әдісінің параметрлерін орнату

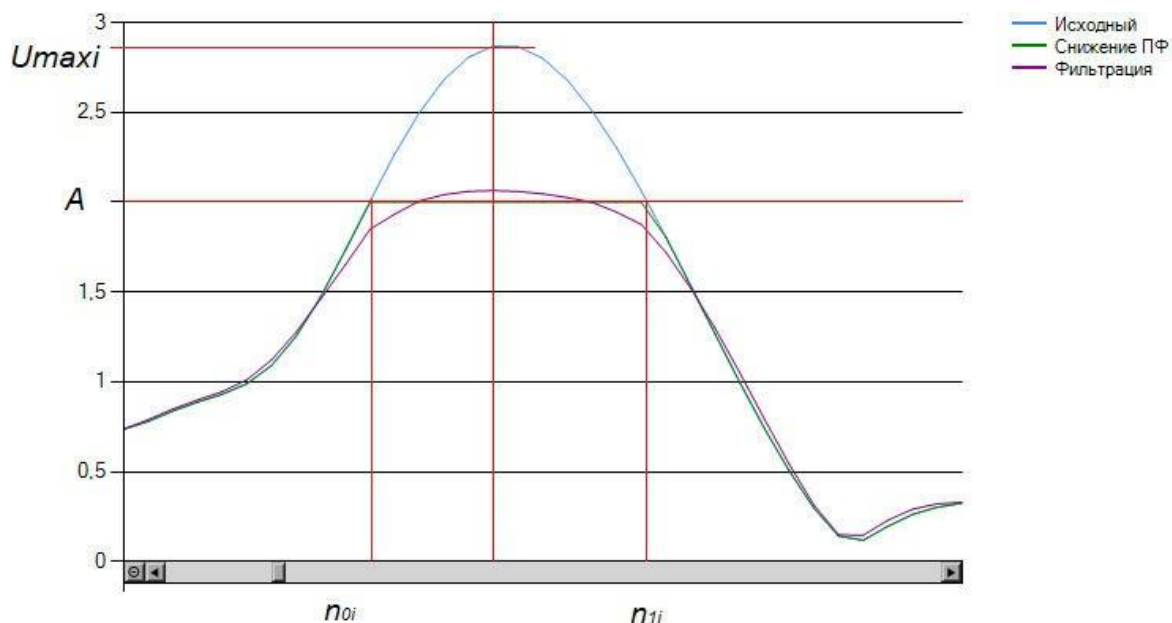
Сигнал түрі	Шектеу деңгейі CR	Терезе көрінісі	Терезе ұзындығы
B3 16-QAM	2,04	Барлетта	10
E0 4-QAM	1,68	Барлетта	25
E0 16-QAM	1,68	Гаусса	21

Ресурсты қажет ететін есептеулерге жүгінбей-ақ тез анықтауға болатын келесі параметрлер бойынша зерттеулер жүргізілді:

- бастапқы сигналдың Шекті коэффициенті болып табылады;
- Шекті табалдырық деңгейіндегі сигналдың максималды өзгеру жылдамдығы A ;
- сигнал шыңының максималды энергиясы Шекті шегінен A жоғары;
- Шекті шек A деңгейіндегі шыңның максималды ұзақтығы;

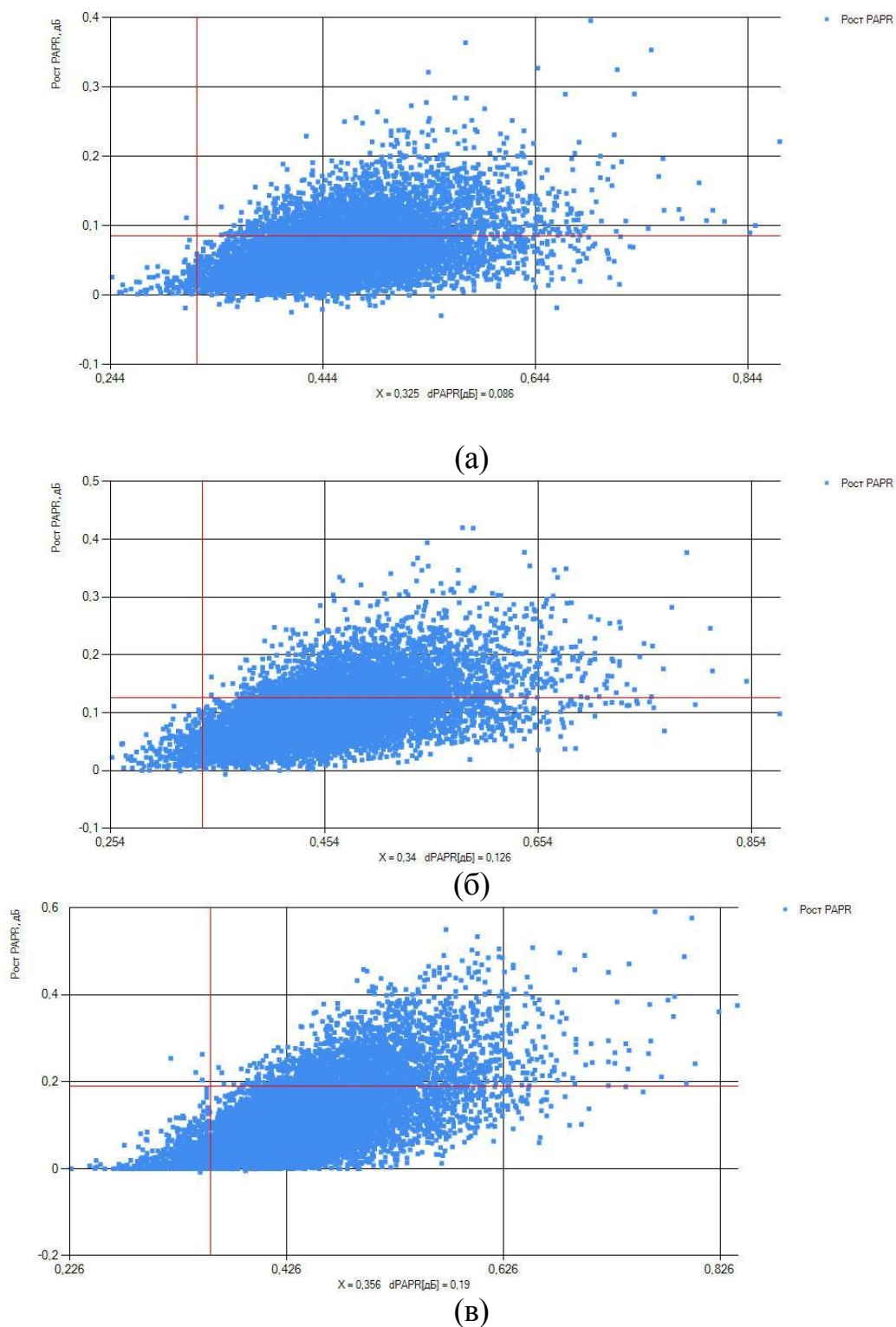
- Шекті шегінен жоғары Шекті амплитудасының максималды қатынасы A_k -ға Шекті шек деңгейіндегі шыңның ұзақтығы.

Фильтрлеуден кейінгі Шекті факторының өсуінің максималды корреляциясы Шекті шек деңгейіндегі шыңның ұзақтығына Шекті шегінен жоғары A шыңының амплитудасының максималды қатынасымен табылады. Бұл мән өрнектерге сәйкес есептелді. 3.17-суретке сәйкес.



3.17 Сурет – A Шекті шегінің деңгейіне сәйкес шыңның амплитудасы және шыңның ұзақтығы.

Сызықтық Пирсон корреляция коэффициенті E0 сигналы үшін 0,45 болды 4-QAM, E0 16-QAM үшін 0,55 және V3 16-QAM үшін 0,65. Бірінші жағдайда Чаддок шкаласы бойынша қосылым күшін орташа, байқалатынға жақын деп түсіндіруге болады, қалған екі жағдайда қосылымның беріктігін айтарлықтай деп түсіндіруге болады, бұл осы параметрді оңтайлы бағалауға мүмкіндік береді. терезе ұзындығы. E0 4-QAM, E0 16-QAM және V3 16-QAM сигналдары үшін қию шегінен жоғары Шекті амплитудасының максималды ұзақтығына A қиып алу шегінен асатын шыңның амплитудасының максималды қатынасына шың факторының өсуінің тәуелділігінің таралуы келесідей: 3.18-суретте көрсетілген.



3.18-сурет – Шекті факторының өсу тәуелділігін бөлу

E0 4-QAM (a), E0 16-QAM (b) және B3 16-QAM (c) сигналдары үшін кесу табалдырығынан жоғары Шекті амплитудасының кесу шегі деңгейіндегі шыңның ұзақтығына максималды қатынасы.

Осылайша, сызықтық жуықтауды қолдану арқылы жеткілікті жоғары сенімділікпен фильтрациядан кейінгі Шекті факторының өсуінің Шекті шегінен

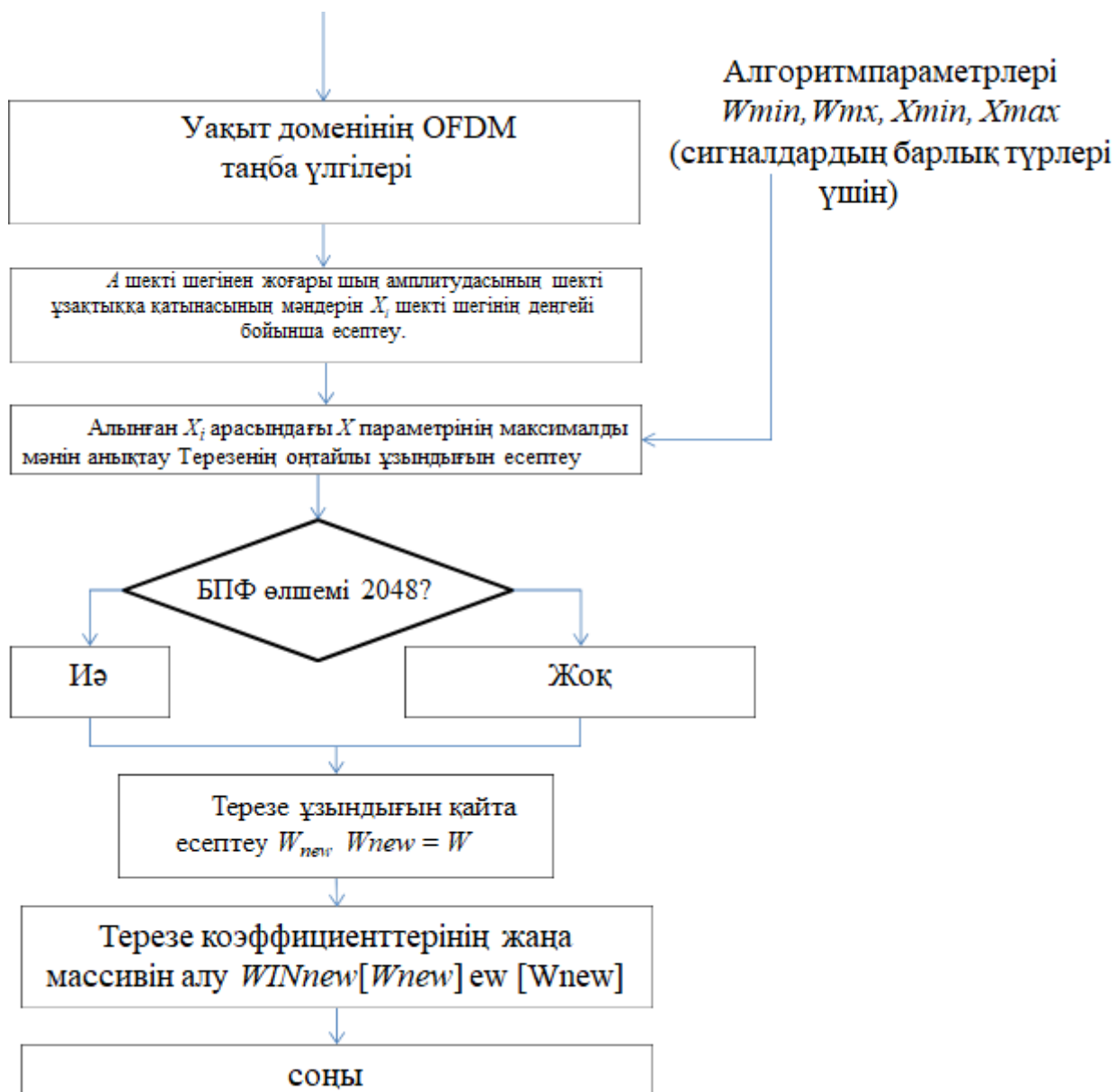
А шыңының амплитудасының Шекті шектегі шыңның ұзақтығына максималды қатынасына тәуелділігін алуға болады. деңгейінде және осы тәуелділікке негізделген адаптивті алгоритмді құру.

Ұсынылған алгоритмнің бүйірлік диаграммасы 3.19-суретте көрсетілген.

Ұсынылған алгоритм келесідей жұмыс істейді. DRM сигналының әрбір OFDM символы үшін қию шегінен жоғары А шыңының амплитудасының қию шегінің деңгейіне сәйкес шыңның ұзақтығына максималды қатынасы есептеледі. Терезенің ұзындығы алынған мәнге пропорционалды түрде есептеледі. көрсетілген параметр. Параметрдің тым кішкентай немесе тым үлкен кездейсоқ ауытқуларының әсерін болдырмау үшін терезе ұзындығы максималды және ең аз мәндермен шектеледі.

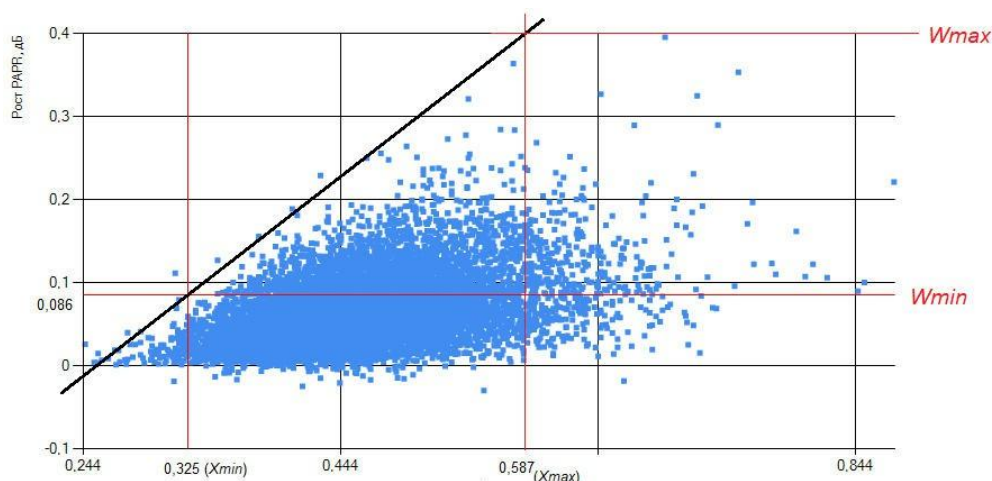
Алгоритмнің X_{\min} параметрі шың-фактордың өсу деңгейімен шың-фактордың таралуының жоғарғы шекарасы бойымен жуықталған түзу сызықтың қиылысу нүктесінде таңдалады, ол үшін OFDM символдарының үлесі ұлғаюымен көрсетілген мәннен жоғары шың-фактор 30%-дан аспайды. Алгоритм параметрлері W_{\min} , W_{\max} ,

X_{\min} , X_{\max} (сигналдардың барлық түрлері үшін)



3.19-Сурет - Бейімделетін айнымалы терезе ұзындығымен жабық циклды терезе салмағына негізделген Шекті коэффициентін азайту алгоритмінің бүйірлік диаграммасы

X_{max} параметрі шың-фактордың максималды өсу деңгейімен Шекті -фактор таралуының жоғарғы шекарасы бойымен жуықталған түзу сызықтың қиылысу нүктесінде таңдалады. Параметрлерді таңдау 3.20-суретте көрсетілген.



3.20-Сурет - Алгоритм параметрлерінің шекаралық мәндері.

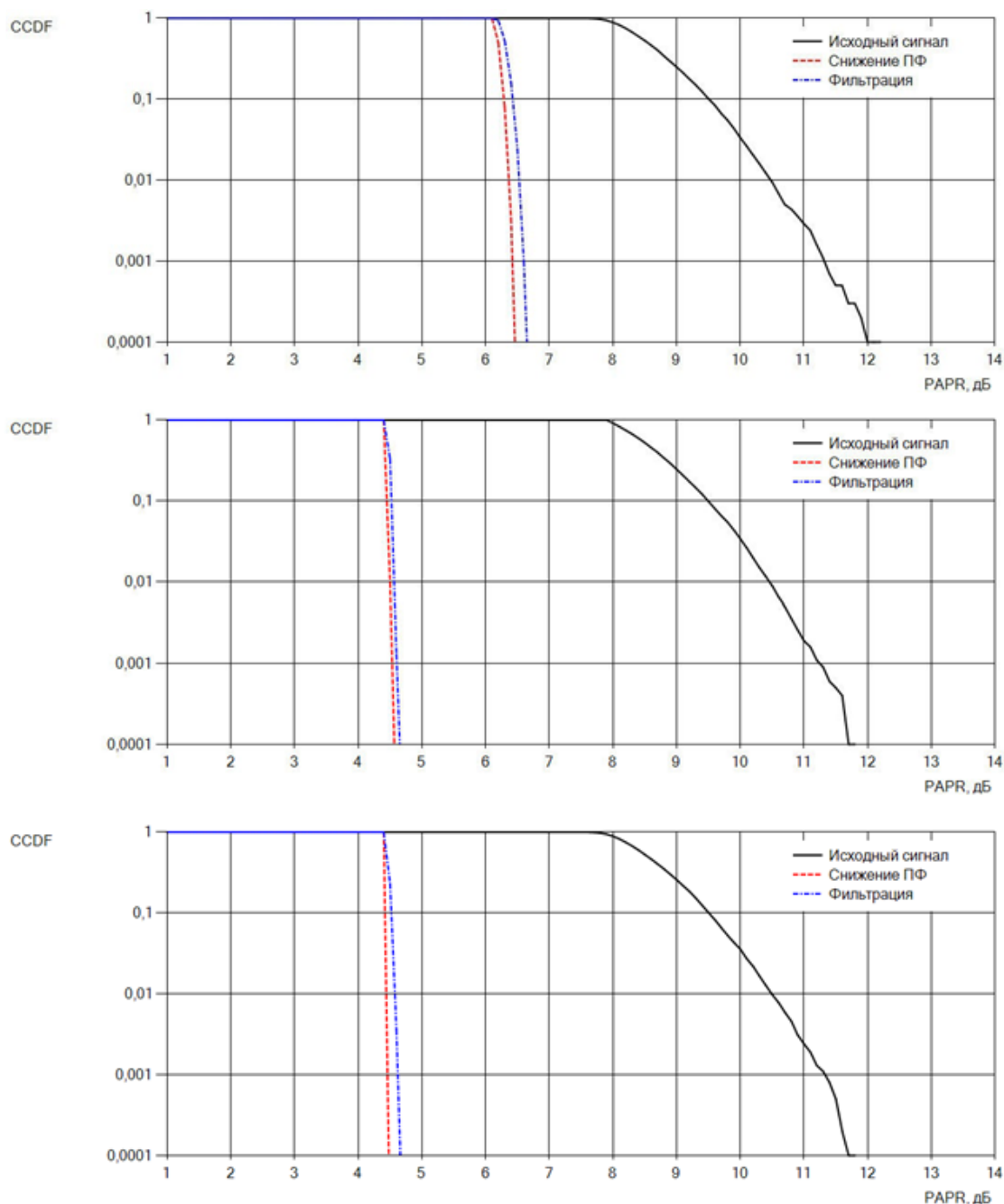
Терезе ұзындығының ең аз мәні W_{min} , шектеу деңгейі CR және терезе түрі 3.5-кестедегі оңтайлы мәндерге тең таңдалған. Терезе ұзындығының W_{max} максималды мәні бұрын алынған эксперименттік деректер негізінде таңдалады.

Алгоритмнің көрсетілген параметрлері сигналдың әрбір түрі үшін модуляторды әзірлеу кезеңінде бір рет анықталуы керек, онда алгоритм іске асырылуы керек. В3 16-QAM, E0 4-QAM және E0 16-QAM сигналдары үшін алынған ұсынылған алгоритмнің параметрлері 3.6-кестеде көрсетілген.

Кесте 3.6 - Шекті факторын азайту үшін ұсынылған алгоритмнің параметрлері

Сигнал түрі	Шектеу деңгейі CR	Терезе көрінісі	W_{min}	W_{max}	X_{min}	X_{max}
В3 16-QAM	2,04	Барлетта	10	18	0,356	0,586
E0 4-QAM	1,68	Барлетта	25	32	0,325	0,587
E0 16-QAM	1,68	Гаусса	21	27	0,34	0,593

Бейімделетін айнымалы терезе ұзындығы бар кері байланысы бар терезе салмағы бар В3 16-QAM, E0 4-QAM және E0 16-QAM сигналдары үшін қосымша кумулятивтік тарату функциясының PAPR графиктері 3.21-суретте көрсетілген. Алынған Шекті коэффициентінің мәндері кестеде көрсетілген. 3.7.



3.21-Сурет - B3 16-QAM (a), E0 4-QAM (b) және E0 16-QAM (c) сигналдары үшін PAPR таралу графиктері

Кесте 3.7 - Бейімделетін айнымалы терезе ұзындығы бар терезелі жабық контурлы салмақ үшін Шекті коэффициентінің мәндері

Сигнал түрі	Шың-фактор, дБ	
	Орташа	Максимум
B3 16-QAM	6,4	6,7
E0 4-QAM	4,59	4,73
E0 16-QAM	4,58	4,76

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, ұсынылған адаптивті айнымалы терезе ұзындығының кері байланыс терезесін салмақтау алгоритмі әдеттегі кері байланыс терезесінің салмақтау алгоритміне қарағанда шың-факторды азайтуды 0,2-ден 0,25 дБ-ге дейін қамтамасыз етеді. Бұл жақсартуды таратқыштың тиімділігінің артуы немесе сәулеленген сигналдың орташа шығыс қуатының 5% ұлғаюы ретінде түсіндіруге болады, бұл жақсы нәтиже.

Ұсынылған алгоритмнің есептеу күрделілігі итерациялық тәсілге қарағанда әлдеқайда төмен, өйткені сигналды талдау үшін ресурсты қажет ететін процедураларсыз қарапайым есептеулер қолданылады.

Жоғарыда келтірілген сынақ нәтижелеріндегі PAPR мәндері негізгі жолақ сигналына арналғанын атап өткен жөн. Сигналдың PAPR жоғары жиілікті толтыру сигналы үшін орташа қуат мәнінің төмендеуіне байланысты (бір деңгейде шынды сақтау кезінде) 3 дБ артады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Дипломдық жұмысты зерттеу аясында цифрлық хабар тарату жүйелеріне қолданылатын OFDM сигналының шың-факторын азайту әдістерін салыстырмалы бағалау кесу әдісін әзірлеу және жаңарту негізінде шың-факторды азайту әдістері мен алгоритмдерін одан әрі жетілдірудің орындылығы мен перспективасын көрсетті.

Желілер мен цифрлық хабар тарату жабдықтарын жетілдірудің перспективалық жолдарын бағалау нәтижелері бойынша дипломдық зерттеудің негізгі мақсаттары мен нақты міндеттері келесі бағыттар бойынша зерттеулерді қамтитын тұжырымдалды:

-цифрлық хабар тарату таратқыштарына қойылатын талаптарды негіздеу әдістемесін әзірлеу;

- төмендетілген шың коэффициенті бар DRM стандартының цифрлық хабар тарату сигналдарын қалыптастырудың модификацияланған алгоритмін құру;

- DRM сигналдарының энергетикалық және ақпараттық сипаттамаларын зерттеу мақсатында модельдеу әдістерін өзгерту және енгізу.

Өртүрлі жағдайларда сигналды қабылдау сапасына DRM стандартының цифрлық радиохабар тарату жүйесінің параметрлерінің әсерін зерттеу жүргізілді. Жүйе параметрлерін дұрыс таңдау типтік сценарийлер – стационарлық қабылдау сценарийі және жылжымалы қабылдау сценарийі үшін сигналды қабылдау сапасын айтарлықтай жақсартуға болатыны көрсетілген.

Бір жиілікті цифрлық хабар тарату желілерін құру нұсқаларын зерделеу жүргізілді.

Цифрлық хабар тарату желілерін құру кезінде абоненттік қабылдағыштардағы EWF функционалдығын қамтамасыз ету талаптары, контент-сервердегі уәкілетті қызметтің авариялық хабарламаларды белсендіруіне қойылатын талаптар, сондай-ақ олардың құрамына қойылатын талаптар әзірленуі тиіс екені анықталды.

DRM жүйесін модельдеудің қолданыстағы әдістері мен құралдарын талдау жүргізіледі. Төмендетілген шың факторы бар DRM сигналдарын қалыптастыру процестерін модельдеу әдістемесі әзірленді. Модель C# тіліндегі SharpDevelop 5.1 тегін әзірлеу ортасында әзірленген «ПИК-ЦХТ» меншікті бағдарламалық пакеті ретінде жүзеге асырылады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. В.В., Зиновьев Н.В. Влияние нелинейности передатчика на сигналы с OFDM // Научно-практические исследования. – 2019. - №8-2 (23). – С.31- 34.
2. Дворкович А.В., Дворкович В.П., Иртыга В.А., Митягин К.С. Стандарт цифрового мультимедийного вещания РАВИС 2.0 // Цифровая обработка сигналов и ее применение.: Докл. 19 Междун. конф. (DSPA-2017, Москва, 29-31 марта 2017г.). – М.: 2017. – Выпуск XIX-1. –С. 222-225.
3. Ишмияров А.А. Повышение помехоустойчивости систем связи с ортогональным частотным уплотнением на основе метода предкодирования поднесущих частот: дисс. канд.тех.наук. – Уфа: УГАТУ, 2019. – 113 с.
4. Варламов О.В. Разработка требований к приемному оборудованию сетей цифрового радиовещания стандарта DRM // T-Comm – Телекоммуникации и Транспорт. – 2013. – №9. – С.39–42.
5. Владыко А.Г., Ковалгин Ю.А., Мышьянов С.В. Первые шаги стандарта DRM+ в Российской Федерации// Электросвязь. – 2016. – № 5. – С. 60–66.
6. Горегляд В.Д., Ковалгин Ю.А., Мышьянов С.В., Соколов С.А.О выборе системы цифрового радиовещания для России // «Broadcasting». Телевидение и радиовещание. – 2015. – № 8. – С. 42–47.
7. ETSI EN 300 401 V2.1.1 (2017-01) Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers. – 124 p.
8. ГОСТ Р 54462–2011 Система цифрового радиовещания DRM. Требования и параметры. – М.: Стандартиформ, 2013. – 416 с.
9. Дворкович В.П., Дворкович А.В. Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика) // Москва: Техносфера. – 2012. – 1008с.
10. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения. –М.: СОЛОН – Пресс, 2004. – 768 с.
11. Ершов А.Н., Березкин В.В., Петров С.В., Петров А.В., Почивалин Д.А. Особенности расчета и проектирования высокоскоростных радиолиний космических аппаратов ДЗЗ // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. – 2018, т.5. – Вып.1. – С.52-57.
12. Кацнельсон Л.Н. Системы цифрового радиовещания DAB, DAB+, DMB.Современное состояние // «Broadcasting». Телевидение и радиовещание. – 2015. – № 1. – С. 25.
13. Ковалгин Ю.А., Сантуш В. Цифровое радиовещание: состояние, перспективы, тенденции в использовании радиочастотного ресурса // Труды учебных заведений связи. – 2017. – Т. 3. № 1. – С. 48–56.
14. Ле Ван Ки Повышение эффективности систем цифрового вещания при ОФДМ-модуляции радиосигнала: дисс. канд. тех наук. – М.: МФТИ (ГУ), 2018. – 133 с.
15. Ле Ван Ки, Динь Тхи Хуен Чанг.Комбинированные методы снижения пик-фактора в системе РАВИС // Цифровая Обработка Сигналов. – 2018. – №4. – С.35-39.
16. Макаров С.Б. Применение блочного кодирования для снижения пик-

факторов сигналов с OFDM. – СПб: Санкт-Петербург, 2009. 174 с.

17. Митасов И.Ю., Саткенов Р.Б. Исследование методов снижения пик-фактора сигналов с ортогональным частотным мультиплексированием // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. - 2018. -№4 (15). – URL: <http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2018/4/00638.pdf>. - ISSN 2413-4066.

18. Назаров Л.Е.,Зудилин А.С. Влияние нелинейностей передатчика на многочастотные сигналы с ортогональным частотным мультиплексированием // Журнал радиоэлектроники. – 2010. - №12. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/dec10/2/text.pdf>

19. Паршин Ю.Н. Повышение энергетической эффективности передачи сигналов в нелинейном радиотракте // Радиотехника. 2018. № 3. С. 48-53.

20. Пукса А.О. Уменьшение пик-фактора OFDM сигнала с помощью методов, основанных на ограничении сигналов // Международный научно-исследовательский журнал. – № 12 (66). – Часть 5. – Декабрь 2017. – С.127-127.

22. ETSI EN 301 234 V2.1.1 (2006-01) Digital Audio Broadcasting (DAB); Multimedia Object Transfer (MOT) protocol. – 79 p.

23. Рашич А.В. Снижение пик-фактора случайных последовательностей многочастотных сигналов путем применения блочного кодирования и спектрально-эффективных методов манипуляции: дисс. канд. тех. наук. – СПб: СПбГПУ, 2009. - 171 с.

24. Рекомендации МСЭ-R BS.1660-8 (06/2019) Техническая основа для планирования наземного цифрового звукового радиовещания в полосе ОВЧ. – 86 с.

25. Сарапульский радиозавод. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://srzudm.ru/index.php> (дата обращения: 16.06.2020).

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ
ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫСҚА

Мақсатұлы Руслан

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Тақырыбы: «Цифрлық радиохабар желілерін жетілдіру жолдарын талдау»


«Цифрлық радиохабар желілерін жетілдіру жолдарын талдау» тақырыбындағы дипломдық жоба радиохабар тарату және цифрлық технологиялар саласының дамуына елеулі үлес қосады.

Студент қолданыстағы цифрлық хабар тарату желілеріне кең талдау жүргізді, олардың негізгі проблемалары мен жақсартудың ықтимал бағыттарын анықтады. Жұмыста жаңа технологияларды енгізудің экономикалық және әлеуметтік салдарына байланысты техникалық аспектілер де, мәселелер де қамтылған.

Студенттің цифрлық хабар тарату желілерін жетілдірудің мүмкін жолдарын талдауы ерекше назар аударуға тұрарлық. Ол ұсынған ұсыныстар мен стратегиялардың практикалық маңызы бар және жаңа технологиялық шешімдерді әзірлеу мен енгізуге негіз бола алады.

Студенттің жұмысы радиотехника және цифрлық технологиялар саласындағы терең білімімен, сондай-ақ күрделі мәселелерді шешу үшін аналитикалық әдістерді қолдану қабілетімен ерекшеленеді. Бұл жоба жоғары бағалауға лайық және ғылыми қоғамдастық үшін де, радиохабар тарату саласындағы практикалық мамандар үшін де пайдалы болатынына сенімдімін.

Студент, Мақсатұлы Руслан дипломдық жұмысты жазу барысында жетекші нұсқаулығымен өз бетінше жұмыс істеу қабілетін көрсетті. Дипломдық жұмыс **«95/A/ өте жақсы»** деп бағаланды, ал **Мақсатұлы Русланды** 6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы бойынша «Ақпараттық коммуникациялық технологиялар» бакалавры академиялық дәрежесіне ұсынамын.

Ғылыми жетекші
ЭТЖҒТ каф. қауымдастырылған,
профессоры, ф-м.ғ.к.

Жунусов К.Х.
«25» 05 2024 ж.



Дипломдық жұмысқа
РЕЦЕНЗИЯ

Мақсатұлы Руслан

6B06201 Телекоммуникация

Тақырыбына: «Цифрлық радиохабар желілерін жетілдіру жолдарын талдау»
Орындалды:

- а) графикалық бөлім 13 парақ;
б) түсініктеме 58 бет.

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ

«Цифрлық радиохабар желілерін жетілдіру жолдарын талдау» тақырыбындағы дипломдық жұмыс радиохабар тарату технологияларын дамыту саласындағы маңызды зерттеу болып табылады. Жоба авторлары жетілдірудің әлеуетті бағыттарын анықтау мақсатында қолданыстағы цифрлық хабар тарату желілеріне ауқымды талдау ұсынады.

Бұл жұмыстың басты артықшылықтарының бірі оның байланыс және медиа технологияларын үнемі дамыту контекстіндегі өзектілігі болып табылады. Сандық хабар тарату желілері ақпаратқа қол жетімділік пен ойын-сауықты қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады және олардың мүмкіндіктері мен мәселелерін талдау оларды одан әрі жақсарту үшін үлкен маңызға ие.

Айта кету керек, жұмыс цифрлық хабар тарату желілерінің техникалық, ұйымдастырушылық және экономикалық аспектілерін қамтитын кешенді зерттеу болып табылады. Бұл желілердің бар мәселелері мен мүмкіндіктері туралы толық түсінік алуға және оларды жақсартудың нақты жолдарын ұсынуға мүмкіндік береді.

Графикалық және мәтіндік материалдар МСТҚ талабына сәйкес жазылған. Бұл дипломдық жоба жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай.

ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

Жалпы, дипломдық жұмыс «өте жақсы» (95%) деген баға, ал студент Мақсатұлы Русланын 6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасының «Ақпараттық коммуникациялық технологиялар бакалавры» дәрежесіне лайықты деп санаймын.

Рецензент:

ҚазҰАЗУ, PhD, «Энергияны үнемдеу және автоматика» кафедрасының меңгерушісі

А.К. Молдажанов

« 29 » «ИНЖЕНЕРЛІК» 2024 ж.
ФАКУЛЬТЕТИ

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Мақсатұлы Руслан

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Цифрлық радиохабар желілерін жетілдіру жолдарын талдау

Научный руководитель: Канат Жунусов

Коэффициент Подобия 1: 2.1

Коэффициент Подобия 2: 1.1

Микропробелы: 2

Знаки из других алфавитов: 18

Интервалы: 28

Белые Знаки: 2

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

27.05.2024
Дата


проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Максатұлы Руслан

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Цифрлық радиохабар желілерін жетілдіру жолдарын талдау

Научный руководитель: Канат Жунусов

Коэффициент Подобия 1: 2.1

Коэффициент Подобия 2: 1.1

Микропробелы: 2

Знаки из здругих алфавитов: 18

Интервалы: 28

Белые Знаки: 2

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

27.05.2024

Дата

Заведующий кафедрой



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагияттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Мақсатұлы Руслан

Тақырыбы: Цифрлық радиохабар желілерін жетілдіру жолдарын талдау

Жетекшісі: Канат Жунусов

1-ұқсастық коэффициенті (30): 2.1

2-ұқсастық коэффициенті (5): 1.1

Дәйексөз (35): 0.7

Әріптерді ауыстыру: 18

Аралықтар: 28

Шағын кеңістіктер: 2

Ақ белгілер: 2

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

27.05.2024
Күні

Кафедра меңгерушісі

