

АННОТАЦИЯ

Бұл жұмыстың негізгі мақсаты радиобайланыс жүйелерінің радиожолдарындағы желі аймақтарын жобалау болып табылады. Дипломдық жұмыста, ұялы мобильді радиобайланыс жүйесін құру принципін, қозғалмалы байланыстың сандық ұялы желілеріне, радиобайланыстың ұялы мобильді жүйелеріне сипаттамалары беріліп, талдау жасалынды.

Тақырыпқа байланысты көптеген есептеулер берілді. Оның ішінде, жылдам және баяу тынып қалу жағдайының тығыздық ықтималдығының тәжірибелік функциясы үшін қисық сигналдың ықтимал тығыздығы, жылдам және баяу тынып қалу есебімен қисықтың тығыздық ықтималдығы есептелінді. Нәтижесінде ақпаратты тарату жүйесін модельдеу графиктері құрасырылды.

АННОТАЦИЯ

Основной целью данной работы является проектирование зон сети в радиосетях систем радиосвязи. В дипломной работе приведены и проанализированы принципы построения системы мобильной радиосвязи, цифровые мобильные сети подвижной связи и мобильные системы радиосвязи.

По теме было дано множество расчетов. В частности, для практической функции вероятности плотности условий быстрого и медленного дыхания рассчитана возможная плотность Кривого сигнала, вероятность плотности кривой с учетом быстрого и медленного дыхания. В результате составлены графики моделирования систем передачи информации.

ANNOTATION

The main purpose of this work is to design network zones in radio networks of radio communication systems. The thesis presents and analyzes the principles of construction of mobile radio, digital mobile mobile networks and mobile radio systems.

On the subject was given a variety of calculations. In particular, for the practical probability function of the density of the conditions of fast and slow breathing, the possible density of the signal curve, the probability of the density of the curve taking into account fast and slow breathing is calculated. As a result, the graphics modeling of information transmission systems.

МАЗМҰНЫ

	Кіріспе	9
1	Ұялы мобильді радиобайланыс жүйесін құру принципі	10
1.1	Ұялы байланыстың дамуын талдау	10
1.2	Қозғалмалы байланыстың сандық ұялы желілерінің сипаттамалары	13
1.3	Байланыстың ұялы мобильді желі құрылымы	15
2	Радиобайланыстың ұялы мобильді жүйелерінің сипаттамалары	19
2.1	Өшу нәтижесінде сигналдың әлсіреуін бағалау	20
2.2	Кідіріс интервалдары	28
2.3	Доплерлі жиілік интервалдары	29
2.4	Тынып қалатын сигналдың корреляция интервалы мен когеренттілік жолағы	30
3	Радиосигнал тынып қалуының математикалық моделі	34
3.1	Жылдам және баяу тынып қалу иілетін сигналдың статистикалық сипаттамалары	34
3.2	Жылдам және баяу тынып қалу есебімен қисықтың тығыздық ықтималдығы	34
3.3	Бірінші түрдегі радиосигналдың тынып қалу жағдайындағы моделі	36
3.4	Жылдам және баяу тынып қалу жағдайының тығыздық ықтималдығының тәжірибелік функциясы үшін қисық сигналдың ықтимал тығыздығы	39
3.5	Екінші түрдегі радиосигналдың тынып қалу моделі	41
3.6	Бірінші және екінші типті модельдермен тынып қалуды сипаттаудың нақтылығын бағалау	43
3.7	Жылдам және баяу тынып қалуда арналардағы байланыс сенімділігін талдау	45
3.8	Идеал және нақты синхронизацияда хабарды қабылдау сапасына тынып қалудың әсер етуінің имитационды модельдеу нәтижелері	52
	Қорытынды	55
	Пайдаланылған әдебиеттер	56

КІРІСПЕ

Заманауи теорияның және ақпаратты тарату техникасының дамуының приоритетті бағыты телекоммуникациялық жүйелердің өңделуі және зерттелуі жекелеген жағдайда жылжымалы байланыстың радиожүйесі: теңіздік, әуелік және жерлік болып табылады.

Бұл таратылатын хабарлардың номенклатурасының үлкейтілуімен сәйкестелетін байланыс желісінің абоненттерімен ұсынылатын қызметті жинау өзгерісімен келісілген. Шындығында заманауи арналар және көптеген жағдайлардағы байланыс желісі пішінделген компьютерлерге : хабар, текст, видео, графиктер – сондай-ақ телевизиялық және телефондық хабарлармен қосылатын мультимедиялық ақпаратты таратуды қамтамасыз етеді. Мультимедияны тарату үшін ақпарат түрінің тәуелділігінен 64 кбит/с-тан 2,048 мбит/с-қа дейін және одан да жоғары өткізу қабілеті бар байланыс арнасын талап етеді.

Өртүрлі жиілік диапазонында жұмыс істейтін жылжымалы байланыс радиожүйесінде тынып қалу өртүрлі себептерден туындайды, бірақ қабылдағыш кірісіндегі сигнал/шуыл қатынасы үлкейтілуін талап ететін компенсация үшін, сонымен қатар тынып қалумен күресудің арнайы әдістерін қолдану кезінде, мысалы, кодалау, оптималды қабылдау және тағы басқа хабарды қабылдау сапасының төмендеуіне әкеледі.

Иілгіш тынып қалу сигналының аппроксимациялайтын шартсыз тығыздық ықтималдылығы дипломда алынған және әдебиеттерде қолданылатын формулаларға негізделген жылжымалы байланыс радио арнасының кең классы үшін бір уақыттық жылдам және баяу тынып қалу радио жүйесінің бөгеуілге төзімділігіне әсер ету анализінің әдісі өңделген.

Байланыс сенімділігіне тәуелді энергетиканың қор коэффициент формуласы және сигнал/шуыл арақатынасынан орташа қателік ықтималдылығы тәуелділігіне байланысты алынған жылдам және баяу тынып қалу кезінде қабылдағыштың кірісінде иілгіш сигналдың ықтималдылығын бейнелейтін тынып қалудың екі үлгісі үшін аналитикалық әдістермен негізделеді.

Радиожүйенің өңделген үлгісінде, қабылдау синхронизациясының зерттелген сұлбасы және ақпараттық арнаның тынып қалу әсерінің сигнал/шуыл арақатынасының қателік ықтималдылығына тәуелді алынған статистикалық модельдеу әдістері және сигналдың тынып қалуы кезіндегі хабарларды қабылдаудың қателік ықтималдылығының синхронизация жүйесіне әсер етуін зерттеу берілген.

Бірдей белгідегі импульстің ұзартылған тізбектілігі кезінде және преамбула сигналын қабылдамай тұрып синхрондауға кіруге рұқсат ететін тактілік синхронизация жүйесінің зерттелмеген алгоритмі ұсынылған.

1 Ұялы байланыстың дамуын талдау

Барлық тілек білдірушілерге қызмет ұсынатын бірінші радиотелефонды байланыс жүйесі 1946 жылы АҚШ-та қызмет ете бастады. Бұл жүйеде қолданылатын радиотелефондарды қарапайым фиксирленген арналар қолданды. Егер арна бос болмаса, абонент қолмен баптау басқа бос желіге қосылатын болды. Аппаратура қолдануда өте ыңғайсыз болады. Техникалық дамуымен радиотелефонды байланыс жүйелері жетілдірілді: құрылғының габариттері кішірейтілді, жаңа жиіліктік диапазоңдар игерілді, базалық және коммутационды жабдықтар жақсартылды, сонымен қатар бос арнаны автоматты тоқтау функциясы пайда болады. Бірақ үлкен қолданыста болған радиотелефонды байланыс қызметтерінде көптеген мәселелерде туындады. Олардың ішіндегі ең бастысы – жиілік ресурсының шектеулілігі: фиксирленген желілік саны белгілі жиіліктік диапазоңда шектеусіз арта алмайды, сондықтан жиіліктері ұқсас жұмысшы каналдар өзара ұқсас кедергілерді құра бастайды.

Әр түрлі мемлекеттердің ғалымдары мен инженерлері бұл мәселені шешу үшін барлық қызмет етілетін шекараны кішігірім шекараларға бөлуді ұсынды, оны ұяшықтар деп атады. Әрбір ұяшық қызмет ету радиусы шектеулі және фиксирленген жиілік бергішімен қызмет етілуі қажет. Бұл ешбір кедергісіз сол жиілікті қайтадан басқа ұяшықты қолдануға мүмкіндік береді.

70 жылдың аяғында 5 солтүстік европалық елдеріне арналған ұялы байланыстың бірлік стандартын құру жұмыстары басталды – Швеция, Финляндия, Исландия, Дания мен Норвегия, NMT-450 (Nordic Mobile Telephone) атауын алды және 450 МГц диапазоңда жұмыс істейтін болды. Бұл стандарт 1981 жылы бірінші рет пайдаланыла бастады.

NMT-450 стандарты мен оның модификациялық нұсқаларының негізіндегі желілер Австрия, Голландия, Бельгия, Швейцария, сонымен қатар Оңтүстік – Шығыс Азия мен Таяу Шығыс елдерінде де кең қолданылды. Бұл стандарт бастамасымен 1985 жылы 900МГц диапазоңды NMT-900 стандарты жасалды, бұл жүйенің функционалды мүмкіншілігі мен абонент көлемін арттыруға мүмкіндік берді. 1983 жылы АҚШ-та көптеген жетістікті тәжірибелерден кейін коммерциялық қолдануы AMPS (Advanced Mobile Phone Service) стандарты кірді. Ұлыбританияда американдық AMPS стандарты негізінде жасалған ұлттық стандарт ретінде TACS (Total Access Communications System) қабылданды. Еуропаның басқа елдерге қарағанда Францияда 1985 жылы Radiocom-2000 стандарты қабылданды. 1986 жылы скандинавия елдерінде NMT-900 қолдана бастады.

Жоғарыда айтылған стандарттар аналогты болатын және біршама кемшіліктері бар ұялы байланыс жүйесінің бірінші кезеңіне жатады: басқа абоненттердің таңдауы, ландшафт пен ғимараттар әсерінен сигналдары қатып қалуымен күресудің тиімді әдістерінің болмауы. Ұялы байланыстың әртүрлі

стандарттарын қолдану мен белгіленген жиілік диапазонының жоғары жүктелуі оның кең қолданылуына кедергі жасады. Абоненттер санын тек екі тәсілмен ғана көбейтуге болады: жиілік диапазоны кеңейтумен (мысалы, Ұлыбританияда жасалған – EATCS) немесе бір жиілікті жиі қолданатын рационалды жиіліктік жоспарлауға көшу. Жаңа технологиялар мен ғылыми ашылуларды байланыс облысында қолдану 80 жылдың аяғына ұялы байланыс жүйесінің жаңа кезеңін дамытты, сигналдарды өңдеудің сандық әдісіне негізделген жүйені құрды. Сандық ұялы байланыстың бірлік еуропалық стандартын құру мақсатымен 1982 жылы 900 МГц жиілікпен Еуропада арнайы Groupe Special Mobile Communication) деп аталады. Бұл топтық жұмыс нәтижелері 1990 жылы жарияланған GSM ұялы байланыс стандартына қойылатын талаптар болды. Оларға көпарналардың уақытша бөлінуі, хаттарды шифрлеу мен абонент деректерін талдау блокты және орамды кодтауды қолдану, модуляцияның жаңа түрі GSMK (Gaussian Minimum Shift Keying) жатады.

АҚШ-та сандық ұялы байланыстың IS-54 ұлттық стандарты бекітілді. Бұл стандарт D-AMPS немесе ADC аббревиатура ретінде әйгілі болды. Еуропаға қарағанда АҚШ-та 11 жаңа жиілік диапазоны шығарылмады, сондықтан жүйе AMPS-пен бір жиілік жолағында жұмыс істеуі қажет болды. Сол уақытта Qualcomm американдық компаниясы ұялы байланыстың жаңа стандартын белсенді түрде өңдей бастады, ол шуылға сәйкес сигналдар мен арналардың кодтық бөліну технологиясына негізделген CDMA (Code Division Multiple Access).

1991 жылы Еуропада GSM стандарты негізінде құрылған DCS-1800 (Digital Cellular System 1800 МГц) стандарты пайда болды. Ұлыбритания оны бірден PCN концепциясын өңдеуге арналған бастама ретінде қабылдады. Жапонияда көрсеткіштері американдық D-AMPS стандартына ұқсас өзіндік JDC ұялы байланыс стандарты жасалды. 1993 жылы АҚШ-та көптеген сынақтардан кейін сандық ұялы байланыстың (IS-95) CDMA стандарты қабылданды. Ұялы қозғалмалы байланыстың ары қарай дамуы үшінші кезең жобасымен іске асырылады. Олар жерлік пен спутниктік байланыстың ақпаратты қызметімен байланысты жүйелердің біріктіретін унифицирленген жүйесімен ерекшеленеді. Оларда бірлік желі архитектурасы болады және абоненттерге әртүрлі жағдайларда қозғалмалы транспорт, офис тағы басқа байланыс қызметін көрсетеді. Еуропада мұндай концепция UMTS (әмбебап қозғалмалы байланыс жүйесі) деп аталып сандық байланыс жүйелерінің функционалды мүмкіндіктерін бірдей үшінші кезең FPLMTS (Future Public Land Mobile Telephone System) жүйесіне біріктіруді мақсат етті. Оған 1-3 ГГц жиілік диапазоны анықталған, 60 МГц енді жолақ стационарлы станция үшін, 170 МГц-те қозғалмалы станция үшін белгіленген жүйенің жерлік компоненттеріне сынақтар 2000 жылы жүргізіле бастады, ал 180-2010 мен 2170-2200 МГц жиілік жолағындағы FPLMTS спутникті жүйелер 2010 жылы жоспарланып отыр. Әлемдегі мобильді байланыс қарқынды даму көрсетілетін қызметтердің саны мен көлемін қолданушылардың жалпы қажеттіліктерін қанағаттандыруды

карастырады. Жаңа мүмкіндіктердің іске асуы желілердің жетілдірілуі мен жаңа техникалық шешімдердің жүзеге асырылуы мен ғаламдық желілердің инфрақұрылымын құрумен байланысты қамтамасыз етеді.

Өртүрлі технологияларының салыстырмалы сипаттамалары 1.1-кестеде келтірілген.

Кесте 1.1-Технологиялардың салыстырмалы сипаттамалары

Технологиялар	2G	2.5G	3G	4G
Бастапқы қызметтер	Сөз	сөз, мәліметтер	Сөз, мәліметтер, видеомәліметтер, Мультимедиа	Сөз, мәліметтер, мультимедиа, радиотасымал
Тарату жылдамдығы, кбит/с	9,6-14,4	1-ші фаза-115, 2-ші фаза-384	1-ші фаза-0482, 2-ші фаза-10 ³	(10-44)10 ³
Коммутация түрі	Каналдар коммутациясы	Араласқан (каналдар артықшылығы)	Араласқан (пакеттер артықшылығы)	Талабы анықталмаған
Радиоқолжетімнің базалық технологиялары	GSM, TDMA, PDC, cdmaOne	GPRS, EDGE, IS-136	Сериясының IMT сериясының стандарты	LTE, Wi-Fi, WiMAX
Пайдалану мерзімі	1995-2010	2000-2015	2002-2020	2012-2025

XX ғасыр аяғындағы өте әйгілі жобалардың бірі IMT-2000 концепциясы болып табылады. Оның негізінде сымсыз, ұялы және спутникті байланыс жүйелерінің жаңа кезеңін құру идеясы жатыр.

Қазіргі заманғы техника дамуы кезеңінде екі режимді терминалдарды дайындау жеңілдеді, олардың құны бір режимдімен салыстырғанда да көп емес. Бұл факт ұялы байланыс дамуында ауыспалы болды. Көпрежимді терминалдардың пайда болуы бірлік стандарт туралы сұрақ түсіп қалды десе болады. Болжамдардың көрсетуінше, болашақтың тенденциясын мобильді байланыстың басқа технологиялармен бірігуі анықтайтын секілді. Фиксирленген және мобильді байланыс қызметтерінің басталған конвергенция үрдісі орналасуды анықтау мен мобильді коммерциямен бірге жаңа облыстармен бірге жалғасуда. Үшінші кезең жүйелерінде қызметтерді екі топқа бөлуге қабылданған: мультимедиялы емес (жіңішке жолақты сөз, төмен жылдамдықты деректерді тарату коммутация арналы желі трафигі) және мультимедиялық(кең жолақты байланыстың ассиметриялы және интерактивті қызметтері, видеоны тарату мен Internetке мобильді кіру). Мобильді абоненттер үшін тез өсетін мультимедиялы қызмет қажеттілігі үшін 2-кезең жүйелерінде

қолданылатын жиіліктерге қарағанда, үлкен кең жолақты жиілік қажет. ИМТ-2000-ды жиілік диапазонының жоғарғы шекарасы 2,2 ГГц дейін арттырылған және соңғы жылдары оны 2,5 ГГц ке дейін көтеру жоспарланып отыр.

1.2 Қозғалмалы байланыстың сандық ұялы желілерінің сипаттамалары

Қазіргі уақытта радиалды жүйелерде байланыстың максимал ұзақтығына сәйкес келетін желілердің макроұяшық топологиямен ұяшық радиусты жүйелердің үш стандарты жасалған(35000 м-ге жуық):

- жалпыеуропалық стандарт Global System for Mobile Communication-GSM;

- американдық стандарт ADS (D-AMPS);

- сандық ұялы желінің жапониялық стандарты JDC.

GSM стандартының мобильді байланыс жүйелеріне маңызды қойылатын талаптарға жатады:

- 900МГц жиілік диапазонды жұмысқы көшу (бастапқы станция үшін – 890...915 МГц және мобильді үшін – 935...960МГц);

- барлық жүйелердің толық сәйкестігі мен қарпайым нөмірлерді теру арқылы әрбір абонентті шақыру мүмкіндігі;

- деректерді, телекса, телемәтін тарату мүмкіндігі;

- радио – спектрді қолданудың жоғары тиімділігі мен қабылдап таратушы аппаратураны массалы өндіру мүмкіндігі;

- қозғалмалы абонент станцияларының орналасуын анықтаудың тиімді әдістерін қолдану.

Ұялы байланыс желілерінде, мобильді станцияның желіге енуі қызмет көрсету шекарасының шегімен өзгеруі. Нәтижесінде, мобильді станция идентификаторы берілген станцияның орналасуы туралы ақпаратты бермейді. Орналасуды анықтау механизмі қоңырауларды тиімді жеткізу үшін қажет. Орналасуды басқаруға арналған стандарттар (соның ішінде GSM) әрбір мобильді станция (МС) желідегі орнын хабарлап тұруды қажет етеді.

Айтылған стандарттардың сипаттамалары 1.2-кестеде келтірілген.

Кесте 1.2 - Стандарттың сипаттамалары

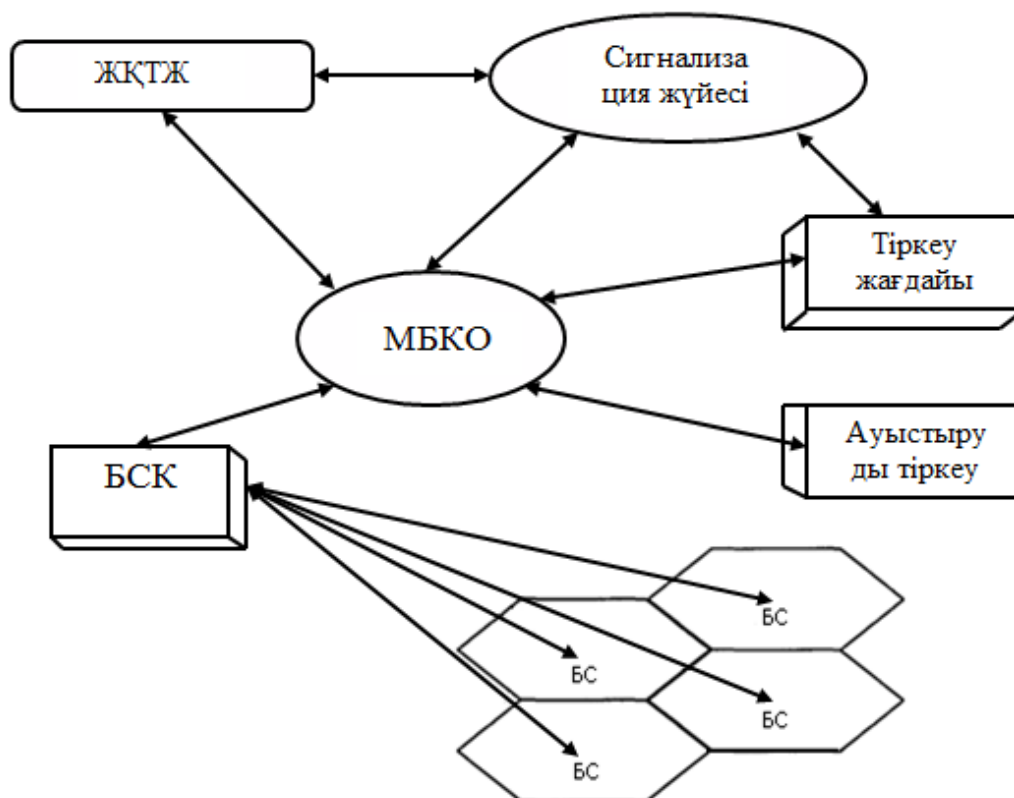
Стандарттың сипаттамалары	Стандарттың сипаттамалар мазмұны		
	GSM	ADS	JDS
Қолжетім әдісі	TDMA	TDMA	TDMA
Жиілік тасушы, кГц	200	30	25
Бір тасушыға сөз	8 [30]	3	3

арнаның саны			
Сөздің түрлену жылдамдығы, кбит/с	13[3]	8	11,21 [3]
Жалпы тарату жылдамдығы, кбит/с	270	48	42
Тасу әдісі	Ауыстыру, жиі тасу (жиілік бойынша секіру)	Ауыстыру	Ауыстыру, аумақтық ауыстыру
Сөз арнасына келетін иіліктің пайдалану жолағы, кГц	25	10	8,3
Тасушының талап етілген қатынасы, интерференция, дБ	9	16	13
Жұмыс жиілігінің диапазоны, МГц	935-тен 965 890-нан 915	824-тен 840 869-дан 894	810-нан 826,940-тан 956, 1429-дан 1441, 1447-ден 1489, 1453-тен 1465, 1501-ден 1513
Ұяшық радиусы, м	0,5-тен 20	0,5-тен 20	0,5-тен 20

Деректер базасы әрбір мобильді станцияның орналасуы туралы ақпаратты сақтайды және осы ақпарат әрбір шақыру кезінде ізделінеді. Тәжірибеде қолданылатын басқару әдістері берілген желіде терминалды ақпаратты сақтау мен оның орналасу орнын анықтауға арналған деректер базасын құрудың орталықтандырылған құрылымына негізделген.

1.3 Байланыстың ұялы мобильді желі құрылымы

Байланыстың ұялы мобильді жүйесінің қызмет ету аймағы ұяшықтарға бөлінеді және оның әрбіреуіне базалық қабылдап – таратқыш станция орнатылған. Мобильді станция ұяшық ішінде радиоканал көмегімен базалық станциямен байланысады. Ұяшық шекарасы базалық станцияның қуаты мен тасушы тербеліс жиілігімен анықталған, және көршілес ұяшық сигналдары шекараға жақын облыстарда орнатыла алады.



БС – базалық станция; КБС – базалық станцияның контроллері;
 ЦКМС – мобильді байланыстың коммутациялық ортасы;
 Тіркеу жағдайы "үйдік"; ТСОП – жалпы қолданыстағы телефондық желі;
 Сигнализа ция жүйесі; ауыстыруды тіркеу "визитный".

Сурет1.1- Жылжымалы байланыстың желілік жүйесінің жалпы архитектурасы

1.1– сурет. Көрініп тұрғандай:

- бастапқы қабылдап – таратқыш станциялар бастапқы базалық станцияның контроллері мен (БСК) қосылған, БСК негізгі қызметі бастапқы станциялардың радиоресурстарын басқару болып табылады. (радиоарналарды шығару мен тарату);
- бастапқы станцияның контроллері мобильді байланыс коммутация орталығымен (МБКО) қосылған, ол коммутация қызметін қозғалуды тіркеу мен қоңырауларды төрету мен негізгі сымды желіні (жалпы қолданыстағы телефонды желі) сигналды желімен байланыстырады.

Басқару сұлбалары орналасуымен деректер базасының екі деңгейлі иерархиясына негізделген, яғни регистрлі: жағдай регистрі және орын ауыстыру регистрі. Әрбір қолданушы туралы ақпарат (көрсетілген қызмет түрі, есептеулерді құру, абонентті орналасу және тағы басқа) жағдай регистрінде орналасқан файлда сақталады. Орналастыру мен орын ауыстыру регистрлерінің саны желіге байланысты өзгереді. Әрбір орын ауыстыру регистрі берілген желінің қызмет етілетін мобильді станция туралы ақпараты сақтайды. Қызмет

көрсетілетін шекараны ұяшықтарға екі тәсілмен бөлуге болады: байланыс жүйелерінде сигналдар таратылуының статикалық сипаттамаларын өлшеуге негізделген немесе нақты аудан үшін сигналдардың таратылу параметрлерін есептеу мен өлшеуге негізделген.

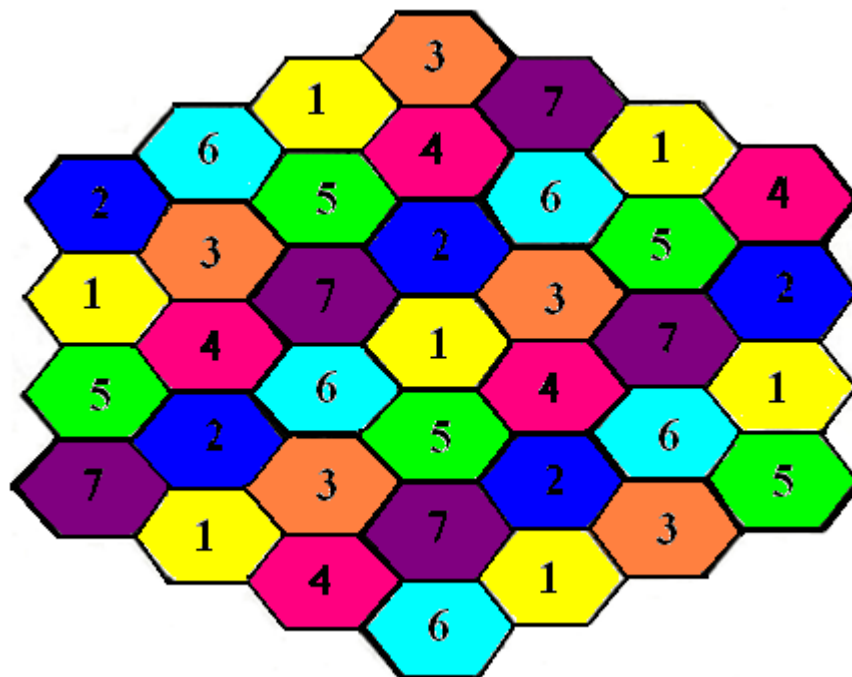
Бірінші әдісті іске асырудың барлық қызмет көрсеткіштерін шекара пішіні бойынша бірдей аймақтарға бөлінеді және аналитикалық түрде рұқсат етілетін өлшемдері мен басқа аймаққа дейінгі қашықтығы анықталады. Қолайлылық үшін, яғни аймақты жабындысыз немесе өткізбей бөлуде тек үш геометриялық фигура қолданылады: үшбұрыш, төртбұрыш және алтыбұрыш. Ең қолайлы фигура алтыбұрыш, себебі базалық станцияның ортасында орналасқан айнымалы диаграммамен бағытталған антеннасы ұяшықтардың барлық аймақтарына кіруді қамтамасыз ететін болады. Бірінші тәсілді қолданғанда бірдей жұмысшы каналдар қолданылған интервал сәйкес кедергілер деңгейін қамтамасыз етуден көп болады.

Аймақтарға бөлірудің екінші тәсілі пайдалы болып табылады. Бұл жағдайда барлық шекара бойынша абоненттерге қанағаттанарлық қызметті қамтамасыз ететін базалық станциялардың минимал санын анықтау үшін жүйе параметрлерін есептейді немесе өте мұқият түрде өлшейді, жергілікті рельеф есебімен базалық станцияның қолайлы орналасу жерін анықтайды, бағытталған антенналардың қолданылу мүмкіндігін, пассивті ретрансляторлар мен өте үлкен жүктеме кезіндегі орталықтандырылған станцияларды қарастырады. Арна саны аз қозғалмалы байланыс жүйесінде үлкен көлемді абоненттерді ұстап тұру үшін қазіргі заманғы қозғалмалы байланыс желілерінің жүйелерінде “ұялы” архитектура бар. Бұл сұлбаға сәйкес, сервисті облыс ұяшықтарға бөлінген және әрбір ұяшыққа белгілі арналар саны анықталған. Әрбір ұяшық ішіндегі белсенді қосылыстар саны рұқсат етілген арналар санынан аспайды. Бірақ сол арналар егер символаралық кедергінің минимал деңгейін қамтамасыз ететін қашықтыққа жойылса басқа қашықтарда қолдана алады.

Қозғалмалы байланыстың сандық жүйелерінің құрылу принципі аналогты желілерге қарағанда, жиіліктердің қайта қолданылуының жаңа тиімді модульдерін қолдануға мүмкіндік береді. Нәтижесінде байланыс жүйесінің жалпы жиілік жолағын арттырмаса да, жүздіктерге арналар саны өсті. Бірінші кезекте ол GSM стандартына қатысты. GSM-де қабылданған байланыс арналарындағы модуляция, кодтау әдісі мен сигналдардың қалыптасуы $C/I=9$ дБ интерференциалау сигнал/кедергі қатынасымен сигналдардың қабылдануын қамтамасыз етеді, сол кезде аналогты жүйелерде осы көрсеткіш 18 дБ тең. Сондықтан сәйкес жиілікте жұмыс істейтін базалық станция таратқыштары хабарды жоғары сапамен жоғалтуларсыз қабылдап жүздіктерге жақын орналаса алады.

Қозғалмалы байланыстың сандық желі жүйелерінде антеннаны дөңгелек диаграмма бағытындағы жүздіктер үшін 7 немесе 9 станциядан тұратын модельді қолданады. 1.2-суретте жеті БС үшін қолданылатын жиіліктер моделі көрсетілген. Дөңгелек диаграммамен бағыттаушы антенна моделі барлық бағыт

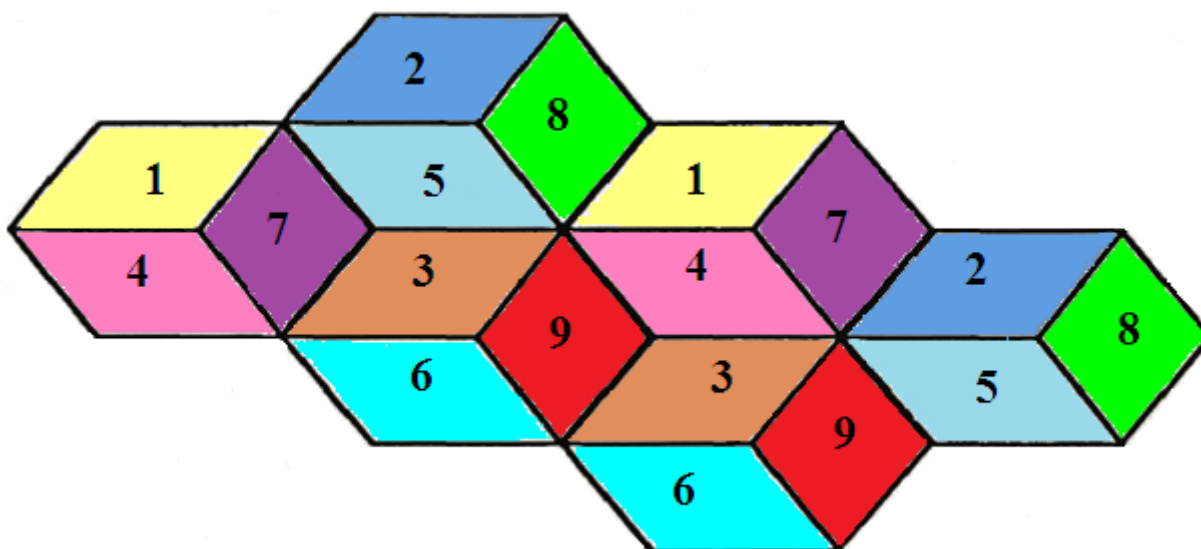
бойынша бірдей қуаттылықпен сигналдардың таратылуын қарастырады, бұл абоненттің станцияларға барлық бағыттан кедергіні қабылдауға эквивалент.



Сурет1.2 - Жеті ұяшық үшін қайталану моделінің жиілігін қолдану

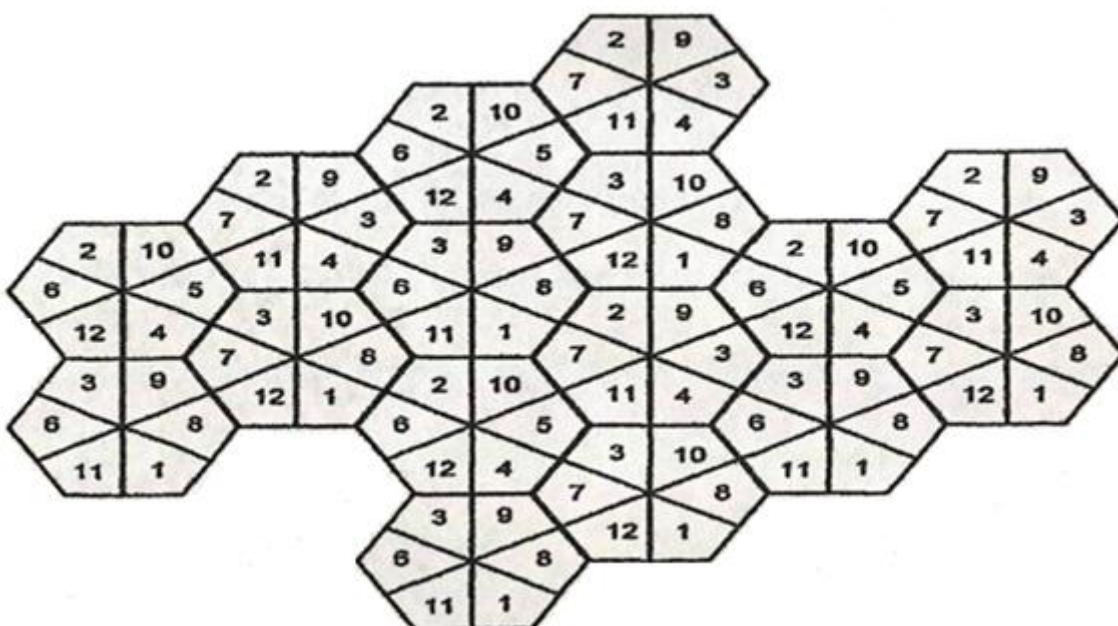
Бөгеуіл деңгейлерін төмендетудің тиімді әдісі секторлы антенналарын қолдану бойынша алады. Бағытталған антеннаның секторында сигнал бір жаққа сәулеленеді, ал сәулелену деңгейі қарама-қарсы бағытта минимумға дейін қысқартылады. Ұяшықтардың секторизациясы бөгеуіл деңгейінде бірлік төмендеуінде жиіліктерді жиі, қайта-қайта қолдануға мүмкіндік береді. Жиіліктердің қайта қолдануының жалпыға белгілі моделі секторланған ұяшықтары үш ұяшық пен үш БС тұрады. Бұл жағдайда 1.3-суретте көрсетілгендей тоғыз топ жиіліктің қалыптасуымен БС үш 120 – градусты антенналар әрекет етеді.

Жиілік жолақтарының қолданылуының ең жоғарғы тиімділігі, яғни белгіленген жиілік жолағындағы желі абоненттерінің ең көп саны, екі БС қосып, жиіліктердің қайта қолданылу моделін қамтамасыз етеді.



Сурет1.3 - Үшсекторлы ұяшықтармен қайталану моделінің жиілігін қолдану

1.4-суретте көрсетілген сұлбадан қарасақ, әрбір жиілік модель шегінде екі рет қолданылады. Осының нәтижесінде әрбір БС төртеуінен 60 – градусты алты антеннаның шегінде 12 – топты жиілік жұмыс істей алады.

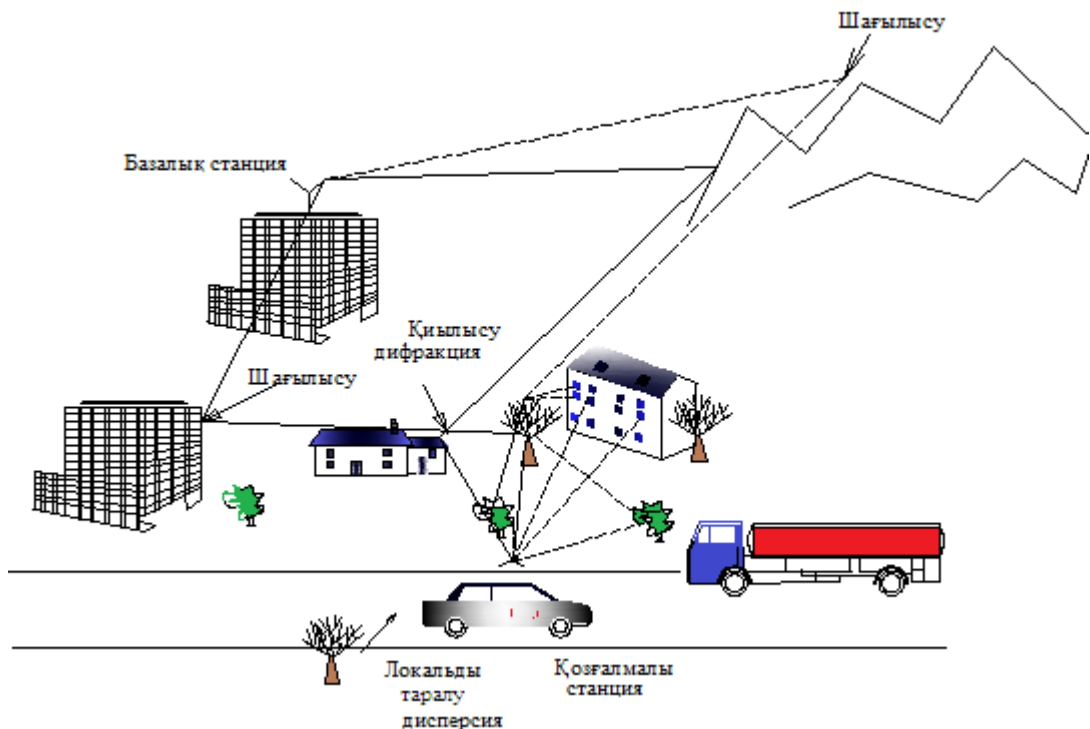


Сурет1.4 - Екі көршілес ұяшықтарды қайталау моделінің жиілігін қолдану

2 Радиобайланыстың ұялы мобильді жүйелерінің сипаттамалары

Радиотолқындардың таратуының физикалық ортасынан тұратын ұялы жүйелердегі мобильді байланыстың радиоканалдарының өзінің спецификациясы бар.

- сигналдың мобильді станцияны қоршаған заттар мен құрылымдардан айналуының көпсәулелі таралуы терең түсім өтіс интенсивтілігінің кеңістіктік таралуында пайда болатын интерференциямен көрсетіледі. Қабылдағыштың кірісінде көбінесе тек қайта шағылысу сигналдар ғана болады, себебі қалалық жағдайларда қабылдағыш пен таратушы арасындағы тікелей көру жоқ (2.1-сурет). Мысалы, 900МГц жиілікте толқын ұзындығы $\lambda=30\text{см}$ құрайды, яғни 0,5 λ уақыты қозғалысымен келген екі сигнал қарсыфазада орнатылады. Сондықтан, қозғалмалы объекті толқын ұзындығының жарты арақашықтығына ауыстыруында сигнал қуаттылығының үлкен түсімдері байқалады [5].



Сурет2.1- Қозғалмалы байланыс жүйесінде сигналдың таратылуы

- егер қозғалмалы станция байланысты іске асыру моментінде қозғалыста болса, онда Доплер эффектісінің нәтижесінде тасушы сигналдың жиілігінің ығысуы мен спектр енінің өзгерісі пайда болады. Мысалы, 900МГц-те қозғалмалы объектінің радиалды жылдамдығы 10^4м/с кезінде қозғалу жиілігі 100Гц құрайды.

- қалалық жағдайларда мобильді станцияның жағынан өтетін транспорт қабылдағыш кірісінде сигнал деңгейінің өзгерісін шақырады – тынып қалу

эффектісі. Бұл эффекттің іс әрекеті көп сәулелену таралуда байқалатын эффектiгe ұқсас.

-трассадағы кедергімен сәулеленетін электромагнитті өрістің әсерлесуі нәтижесінде $r^{-(3-4)}$ -ке пропорционал r – қашықтықтың артуымен сигнал деңгейінің төмендеуі байқалады.

- ұялы байланыс іс әрекетінің зонасы – қалалар мен қалалық елді мекендер – әртүрлі тығыздықты аудандар, сигнал қуаттылығының әлсіреуінің әртүрлі деңгейін анықтайды.

Осылайша, мобильді станция көптеген интерферирулейтін сигналдарды қабылдайды. Белгіленген ерекшеліктер нәтижесінде арнада келесі көріністер қаралады [1]:

- сигналдың өшуі;
- сигналдың баяу тынуы;
- сигналдың жылдам тынуы;

2.1 Өшу нәтижесінде сигналдың әлсіреуін бағалау

Сигналдардың өшуі базалық пен мобильді станция таралуының аралығындағы трассада қуаттың орташа жоғалуымен сипатталады. Математикалық түрде бұл жоғалулар қатынаспен сипатталатын әлсіреумен сипатталады:

$$L = \frac{P_n}{P_c}$$

P_n таратқыш қуатының P_c сигналдың орташа қуаты қабылдағыш кірісінде немесе децибелмен $L = 10 \lg P_n - 10 \lg P_c$. Ағымдағы қуат P_c (Т, Q) Т уақытының кездейсоқ функциясы болып табылады және БС мен МС станциясының кеңістіктегі сәйкес жағдайы Q ықтималдық тығыздығының логнормальды функциясымен сипатталады. Кейде [1] сигнал қуаттылығының орташа медианнасы деп аталатын көлем $a_1 = 10 \lg P_c$ тәжірибе нәтижесінде анықталып, қабылдағыштан r қашықтықта орналасатын, қабылдау нүктесінен 50%-да және бақылау уақытында 50% аспайтын, децибелмен берілетін сигнал қуатының P_c мәніне сәйкес келеді. Уақыты шексіз және көптеген интервалдар бойынша орташа көлем $\sqrt{P_c}$ сәйкес логарифмдер негіздемесін есептеуде логнормальды таралудың медианды мәніне ұмтылады [9]:

$$W(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma x}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} (\ln x - a)^2\right), x \geq 0. \quad (2.1)$$

Анықтама бойынша x_m көлеміне $x = x_m$ мәні сәйкес келеді, келесі теңдік дұрыс болады:

$$\int_0^{x_m} w(x) dx = 0.5 .$$

Логарифмдік қалыпты таралу мен стандартты түрлену мәндерін формулаға қойып, ықтималдық интегралдың қажет мәнін көрсетуге болады:

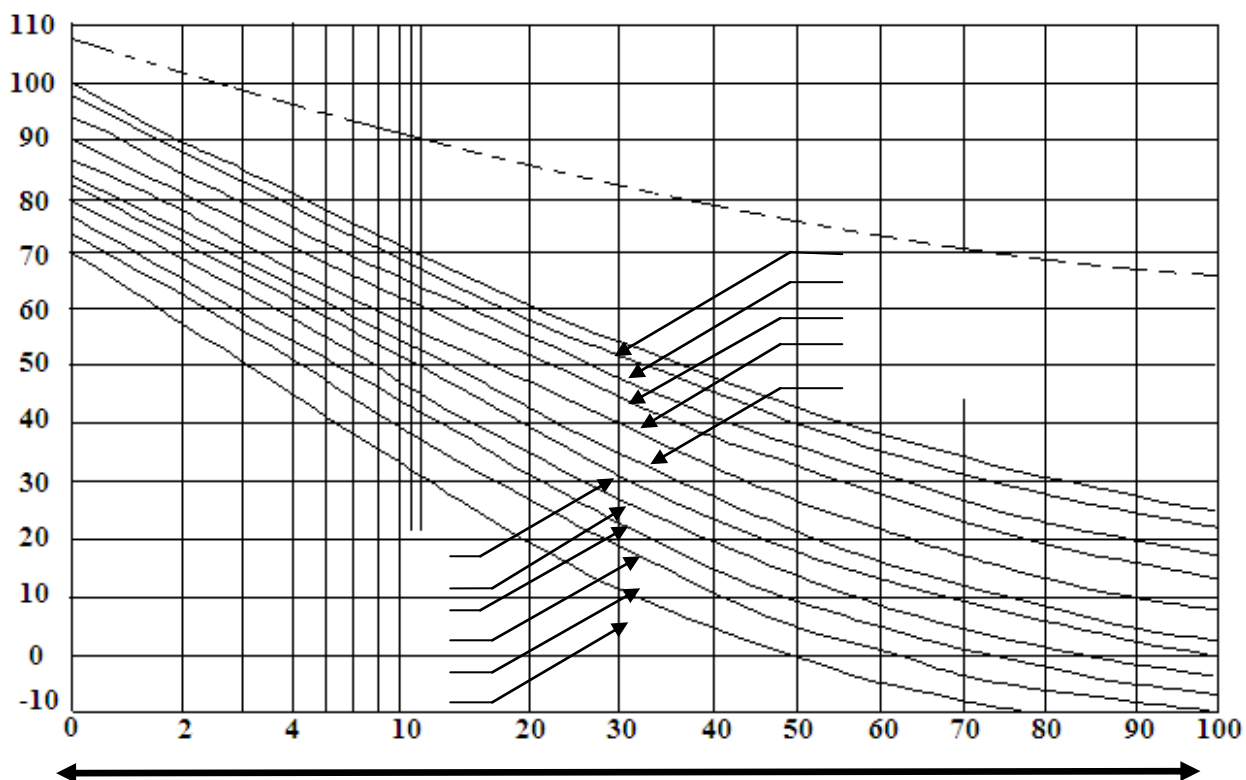
$$F\left(\frac{\ln x_m - a}{\sigma}\right) = 0.5.$$

$$a = \ln x_m. \quad (2.2)$$

кезінде қол жеткізілетін $\frac{\ln x_m - a}{\sigma}$ аргументінің мәнінде қамтамасыз етіледі. Осылайша, [11] сәйкес $\ln(x)$ функциясы гаусстық таралуға ие және бұл таралудың $a = \{\ln(x)\}$ математикалық күтімі $a = \ln x_m$ сәйкес x_m медианасын есептеу нәтижесінде алынуы мүмкін. Ықтималдық тығыздық функциясында [11] басқа логарифмдік негіздеме қолданылуы мүмкін, мысалы, $\lg(x)$. Бұл жағдайда келтірілген $a = \{\lg(x)\} = \lg x_m$ түрленуіне сәйкес келсе, a параметрі децибелде өлшенген медианды мән көмегімен шығарылуы мүмкін. Логарифм түбірін өзгертуде ықтималдық тығыздығының функциясы параметрлері жай ғана қайта есептеледі. Жоғалулар көлемі ұзақтыққа, типке, құру тығыздығына және көптеген басқа факторларға байланысты.

Ереже бойынша, байланыс ұзақтығына байланысты сигнал қуаттылығы 20-40 дБ/декада жылдамдықпен өшеді, яғни ұзақтықта 10 есе өсірумен, жоғалулар 10^2 - 10^4 артады. Осыдан, қала аумағында еркін кеңістік үшін классикалық квадратты тәуелділік орындалмайды, ол ұзақтықтың r артуымен $P_c \approx (1/r^2)$ сигнал қуаттылығының төмендеуін анықтайды. Нақты жағдайларда сигнал қуаттылығы тезірек азаяды $P_c \approx (1/r^n)$, мұнда дәрежелік мән $n=2...4$ аралығында өзгереді, тәжірибе көрсетуі бойынша, $n=5$ жетуі мүмкін. Қуаттың мұндай төмендеуі көптеген факторлар санының бірге әсер етуімен түсіндіріледі: көше конфигурациясы, ғимарат типі мен биіктігі, антенна биіктігі мен орналасуы және тағы басқа. Толық көлемде барлық факторлардың әсер етуімен теориялық әдістеме мүмкін емес болса, онда нақты жағдайлар үшін тәжірибелік деректерге негізделген есептеулер болып табылады. Тәжірибелер нәтижесі МККР есеп беруінде келтіріледі және нақты нұсқаулар ретінде қолданылуы мүмкін. Мысалы, 2.2-суретте 900 МГц диапазондағы Жапонияда алынған қабылдау нүктесіндегі әртүрлі ұзақтығындағы өріс тәуелділігі көрсетілген.

2.2-суретте уақыттың 50% (ансамбл мен уақыт бойынша орташаланған) мен локалды зонада 50% бақыланатын өріс кернеулігінің медианды мәндері келтірілген. Суретте көрсетілген тәуелділіктер бізге қажетті көрсеткіштері келесі түрде есептеу үшін пайдаланылуы мүмкін.



Сурет 2.2- Базалық станцияның антенна көтерілу биіктігі мен ұзақтығына байланысты қаладағы өріс кернеулігі бойынша тәжірибелік деректер. Қала шегінде байланыс үшін көптеген тәжірибелік деректер санын өңдеу нәтижесі бойынша

Еркін кеңістікте өріс кернеулігінің белгілі мәні негізінде, күшею коэффициенті $G=1$ идеал изотропты антеннамен сәулеленетін:

$$E = 173 \frac{\sqrt{P_{\Pi}}}{r}, \quad (2.3)$$

мұндағы, P_{Π} – сәулелену қуаты кВт; r – таратқыш пен қабылдағыш арасындағы қашықтық м.

1кВт сәулеленетін қуат үшін еркін кеңістікте мкВ/м-де өріс кернеулігінің 2.2-суретте келтірілген тәуелділігі, мынадай түрде беріледі мкВ/м:

$$E_1 = 104.76 - 20 \lg r. \quad (2.4)$$

$r=20 \cdot 10^3$ м ұзақтықта [9] сәйкес алынған $E_1 \approx 78,76$ дБ мәні 20 дБ көлемде дәл сол $E_1 \approx 81$ ұзақтық үшін 2.2-суретте келтірілгеннен ерекшеленеді. Айырмашылық тәжірибе нәтижесі таратушы антенна ретінде күшею коэффициенті $G_{\Pi}=2.15$ дБ жарты толқынды вибраторды қолданатын радиожеліде алынуымен түсіндіріледі. Изотропты антеннаны қолдануда тәжірибе нәтижелері $G_{\Pi}=2.15$ дБ көлемге азаю жағына түзелуі тиіс – есептеу мәні $E_1=78,76$ дБ-ге дейін. Егер, радиожилілігінің таралу соңында күшею

коэффициенті $G_{\Pi}=2,15$ дБ жартылай толқынды вибратор қолданылса, еркін кеңістікте r қашықтықта өріс кернеулігі келесі түрде анықталады:

$$E_1=173\frac{\sqrt{P_{\Pi}G_{\Pi}}}{r}. \quad (2.5)$$

немесе децибелде аналогты (2.4):

$$E_1=106.91 - 20\lg r. \quad (2.6)$$

Еркін кеңістік үшін қабылдағыш антенна шығысындағы қуат келесі формуламен анықталады:

$$P_c = \frac{P_n G_{\Pi}}{4\pi r^2} S_{\Pi\Pi},$$

мұнда, P_{Π} – сәулелену қуаты;

G_{Π} – таратқыш антеннаның күшейту коэффициенті;

$S_{\Pi\Pi} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_{\Pi\Pi}$ – қабылдағыш антеннаның эффективті аймағы;

$G_{\Pi\Pi}$ – қабылдағыш антеннаның күшейту коэффициенті;

$\lambda = c/f$ – толқын ұзындығы.

Изотропты антенна үшін $G_{\Pi}=G_{\Pi\Pi}=1$ сигнал әлсіреуі еркін кеңістікке: $L_{\text{Бсв}} = \frac{P_{\Pi}}{P_c} = \left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right)^2$, немесе децибелде $L_{\text{Бсв}} = \frac{P_{\Pi}}{P_c} = 20\text{Log}\left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right)$. Толқын ұзындығын сигнал жиілігіне ауыстырып, еркін кеңістік үшін алатынымыз [22]:

$$L_{\text{Бсв}} = 32.45 + 20\lg f + 20\lg r, \text{ мұнда } f \text{ МГц және } r \text{ м.} \quad (2.7)$$

Жалпы түрде еркін кеңістік үшін қабылдағыш антенна шығысындағы сигнал қуаттылығы келесі түрде шығарылады:

$$P_c = \frac{P_{\Pi} G_{\Pi} G_{\Pi\Pi}}{L_{\text{Бсв}}}.$$

2.2-суретте келтірілген қисықтар үшін, изотропты антенналар арасындағы сигнал әлсіреуі, [30] көрсетілген, келесі түрде анықталады:

$$L_0 = 139.4 + 20\lg f_{\text{МГц}} - E_1, \quad (2.8)$$

мұндағы, E_1 еркін кеңістік үшін (2.6) формуламен анықталады, себебі таратқыш антенна жарты толқынды вибратор түрінде орындалған.

(2.6)-ға $L_0 = 32.49 + 20\lg f + 20\lg r$ мәнің қою нәтижесінде (2.7) сәйкес келеді. Осылайша, (2.8) қарапайым мәні әр түрлі жиілік, ұзақтық пен антеннаның орналасу биіктігі үшін нақты тәжірибелер нәтижесі бойынша сигнал әлсіреуін есептеуге мүмкіндік береді. Тәжірибелік деректерді ғана

қолдануда жиіліктің дискретті мәні мен антенна биіктігі үшін алынатын өлшенген көлемдер жинағының шектелуімен байланысты біршама кемшіліктер пайда болады. Көптеген жағдайда олар қажетті мәндермен сәйкес келмейді. Өлсіреуді есептеуде әртүрлі параметрлер мәнін тәжірибелік мәнге жақын мән алуға мүмкіндік беретін аналитикалық есептеу әдістерін қолданған дұрыс. Қазіргі уақытқа жоғарыдағы факторларды әртүрлі дәрежеде есепке алатын L_0 мәнін анықтайтын бірнеше аналитикалық есептеу әдістері жасалған [1, 2].

Инженерлік тәжірибеде трассадағы қуаттың орташа жоғалуын есептеуде Окамуры-Хата [2, 3,5] әдісі кең таралған. Берілген әдіс тәжірибелік өлшеулер нәтижесіндегі аналитикалық аппроксимацияға негізделген. Мұндай аппроксимация нәтижесінде алынған түзету коэффициенттері мен эмпирикалық формулалар жиыны әр түрлі аумақтарға арналған орташа жоғалуларды есептеуге мүмкіндік береді. Типтік қалалық құрылымды аудандарды жоғалулар келесідей анықталады[1]:

$$L_1 = 69.55 + 26.16 \lg f - 13.82 \lg h_{BC} - a(h_{MC}) + (44.9 - 6.55 \lg h_{BC}) \lg r \text{ дБ} \quad (2.9)$$

мұндағы, f – тасушы жиілік, МГц; h_{BC} мен h_{MC} – БС мен МС антенналарының биіктігі, м; $a(h_{MC})$ – түзету коэффициенті; r – БС мен МС арасындағы қашықтық, м.

Түзету коэффициенті $a(h_{MC})$ байланыс жүйесі әрекет ететін аумақ типіне тәуелді.

Кішкентай және орташа қалалар үшін [1]:

$$a(h_{MC}) = (1.1 \lg f - 0.7) h_{MC} - (1.56 \lg f - 0.8) \quad (2.10)$$

Үлкен қалалар үшін [1]:

$$a(h_{MC}) = 8.29 [\lg(1.54 h_{MC})]^2 - 1.1 \quad f \leq 200 \text{ МГц}$$

$$a(h_{MC}) = 3.2 [\lg(11.75 h_{MC})]^2 - 4.97 \quad f \geq 400 \text{ МГц}$$

Қалалық аудандарының жоғалту көлемі [1]:

$$L_2 = L_1 - 2[\lg(f/28)]^2 - 5.4 \text{ дБ}. \quad (2.11)$$

Ауылдық аудандарда [1]:

$$L = L_1 - 4.78 (\lg f)^2 + 18.33 \lg f - 40.94 \text{ дБ}. \quad (2.12)$$

Келтірілген формулалар $f=150...1500$ МГц, $h_{BC}=30...200$ м, $h_{MC}=1...10$ м, $r=1...20 \cdot 10^3$ м берілген нақтылықты қамтамасыз етеді. [1, 2] көрсетілгендей (2.9) формула дұрыс және 2,2 ГГц жиілікке дейін. 2,2 ГГц жиілік, $r=10^3$ м байланыс

ұзақтығы мен мобильді терминалдық антеннаның биіктігі $h_{MC} = 1,5\text{м}$ мәндері үшін (2.9) мен (2.11) формулаға сәйкес алынған, қалалық жағдайларға арналған L_1 сигналының әлсіреу мәні 2.1-кестеде келтірілген.

Кесте 2.1- L_1 сигналының әлсіреу

$h_{BC}, \text{М}$	10	20	30	70	100	
$L_1, \text{дБ}$	181.2	175	171.4	164	161	$r=10^3 \text{м}$
$L_2, \text{дБ}$	148.1	141.9	138.3	130.9	127.9	
$L_1, \text{дБ}$	192.7	186	182.3	173	170.6	$r=20 \cdot 10^3 \text{м}$
$L_2, \text{дБ}$	159.6	152.9	148.9	139.9	137.5	

2.1-кестеде келтірілген $L_1=181.1\text{дБ}$ мәні (2.8) формуласына сәйкес алынған, [25] келтірілген тәжірибелі қалалық елді мекендердің қалаға таралу жағдайын ескеретін 10км ұзақтық, мобильді терминал биіктігі 1,5м және қосымша түзету 12,3дБ мәніне сәйкес келеді. h_{BC} , $m=30$ бен $r=20 \cdot 10^3 \text{м}$ ұзақтақ үшін көлемді есептеу нәтижесі $E_1=27,2$ мәнін (2.8) формулаға қою нәтижесінде алынған $L_2=179,1\text{дБ}$ көлемінен асады. $h_{BC}, \text{м}$ мен r 3дБ көлем мәндері 2.1 – суретте келтірілген тәжірибелік тәуелділіктерге сәйкес.

Жоғарыда көрсетілгендей, есептеу жолымен изотропты антенна үшін алынған әлсіреу көлемінің мұндай артуы күшею коэффициенті $G_{\Pi}=2,15\text{дБ}$ әлсіз бағытталған тарату антеннасын тәжірибелік деректер E_1 (2.1-сурет) алу үрдісінде қолданумен түсіндіріледі. E_1 тәжірибелік нәтижесін 2,15дБ кішірейтуде әлсіреу көлемі тең: $L_{OC}=181.15\text{дБ}$ және есептеу көлеміне жақындайды: $L_1=182,3$.

[12] сәйкес ауылдық жерде сигнал әлсіреу көлемі $L_2= L_1 - L_3$ қалалық жағдай үшін (2.9) анықталатын әлсіреуден: L_2 көлемге:

$$L_3 = 40.94 + 4.78(\lg f)^2 - 18.33 \lg f, \quad (2.13)$$

$f=2200\text{МГц}$ жиілік үшін $L_3=33,1\text{дБ}$ тең.

Өртүрлі параметрлер үшін L_2 есептеулер нәтижесі 2.2-кестеде жинақталған. $f=220\text{МГц}$ қолдану диапазонында 220-400МГц жатқан, жоғарыда қарастырылған h_{MC} мен h_{BC} сәйкес мәндері үшін (2.13) формулаға сәйкес әлсіздікті есептеу нәтижелері 2.2-кестеде келтірілген.

Кесте 2.2- $L_2, \text{дБ}$ үшін

$h_{BC}, \text{М}$	10	20	30	70	100	
$L_1, \text{дБ}$	155.4	149	145.7	138	135	$r=10^3 \text{м}$
$L_2, \text{дБ}$	131.2	125	121.5	114	110.8	
$L_1, \text{дБ}$	166.9	160.2	156.3	148	144.6	$r=20 \cdot 10^3 \text{м}$
$L_2, \text{дБ}$	142	136	132.1	123.8	120.4	

(2,13) формулада көлемі $a(h_{MC})=0,01$ және аздық нәтижесінде есептеулер ескерілмейді.

Ауылдық жердегі әлсіздік (2.12, 2.13) формулаға сәйкес есептеледі, $f=220\text{МГц}$, көлемі $L_3=24.2\text{дБ}$ мәндері L_2 мәндері 2.2-кестеде келтірілген. Окамура-Хата моделі жиіліктің жоғары мәндерін қолданатын, мысалы, $1,81\text{ГГц}$, мобильді байланыс жүйелерінде қолданылады. Бұл жағдайда қосымша түзету коэффициенттерін енгізеді.

Қарастырылған модельдің бір кемшілігі, байланыс желісінің ашылу зонасының спецификасын назарға алмайды (қабаттық құрылымдар, көше енінің) Кся–Бертони [21] моделі қосымша параметрлер ретін ескеруге мүмкіндік береді және сол арқылы есептеудің үлкен нақтылығын қамтамасыз етеді. Берілген модель толқынды оптика теңдеуінің негізінде құрылып, қалалық құрылыс жағдайында радиотолқындардың әртүрлі таралу механизмдерін қарастырады: еркін кеңістікке таралу, ғимарат төбесіндегі дифракция, ғимарат қабырғасынан бейнелеу. Әртүрлі жолмен келген сәулелер қабылдау нүктесінде интерфирленіп, қосынды сигнал қалыптастырады. БС антенна ғимарат төбесінің орташа биіктігінен жоғары орналасқанда БС-дан МС-ға екі сәуле келеді: біріншісі – ғимарат төбесіндегі дифракция нәтижесінде, екіншісі – қабырғадан қайта бейнеленгеннен. Бұл жағдайда орташа жоғалулар көлемі:

$$L = -10\lg\left[\left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2\right] - 10\lg\left[\frac{\lambda}{4\pi^2 r_1}\left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi + \theta}\right)^2\right] - 10\lg\left[2.23^2 \left(\frac{\Delta h_B}{r} \sqrt{\frac{d}{\lambda}}\right)^{1.8}\right] \text{дБ},$$

$$\lambda = C/f, C=3\cdot 10^8 \text{М/с}, \Delta h_B = h_{BC} - h_0, \theta = \tan^{-1}(\Delta h_M/x), \Delta h_M = h_0 - h_{MC}, x = W/2,$$

$r_1 = \sqrt{\Delta h_M + x^2}$, r – БС мен МС арасындағы қашықтық, м; $\Delta h = h_{BC} - h_0$ – БС антенна мен төбенің сәйкес орташа деңгейінің биіктік айырмасы, м; $\theta = \tan^{-1}(\Delta h_M/x)$, мұндағы, $\Delta h_M = h_0 - h_{MC}$ – сәйкесінше төбенің биіктігінің орташа деңгейі мен МС антеннаның айырмашылығы, м, ал x – МС мен төбе арасындағы горизонталь бойынша ара қашықтық, м. Әдетте, $x = W/2$, мұндағы W – көшенің орташа ені, м; $r_1 = \sqrt{\Delta h_M + x^2}$; d – кварталдар арасындағы орташа интервал.

4-қабатты құрылысты қалауы (этаж биіктігі шамамен 3м), көше ені 30м мен квартал арасындағы интервал 80м $h_0=12\text{м}$, $h_{MC}=1,5\text{м}$, $\Delta h_M=10,5\text{м}$, $W=30\text{м}$, $d=80\text{м}$, және сигналдың өшуі:

$$L = 38\lg(R) - 18\lg(\Delta h_B) + 21\lg(f) + 81.5\text{дБ},$$

2-қабатты қалалық мекенде, көше ені 50м мен квартал арасындағы интервал 80м $h_0=12\text{м}$, $h_{MC}=1,5\text{м}$, $\Delta h_M=4,5\text{м}$, $W=50\text{м}$, $d=80\text{м}$, және сигналдың өшуі:

$$L = 38\lg(r) - 18\lg(\Delta h_B) + 21\lg(f) + 71.7\text{дБ}.$$

Соңғы екі мәннің талдауы келесіні көрсетеді:

- сигнал қуаттылы БС-МС қашықтығына байланысты 38дБ/декада жылдамдығымен өшеді;
- тасушы жиілікке байланысты сигнал қуаттылығы 21дБ/декада жылдамдықпен өшеді;
- қабылдау нүктесінде сигнал қуаттылығы БС антеннасының биіктеуіне байланысты ғимараттың орташа деңгейіндегі 18дБ/декада жылдамдығы артады;
- қаланың сыртында трассадағы таралудың жоғалуы қалаға қарағанда 9,8дБ аз.

Кся-Бертони моделі БС антенна төбе деңгейінен төмен немесе жоғары орналасқан жағдайда да жоғалулардың орташа деңгейін бағалауға мүмкіндік береді. Бұл жағдайларда өшу көлемдері үшін келесі мәндер болады:

- төбе деңгейіндегі БС антенна:

$$L = -10\lg\left[\left(\frac{\lambda}{2\sqrt{2\pi}r}\right)^2\right] - 10\lg\left[\frac{\lambda}{2\pi^2r_1}\left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi+\theta}\right)^2\right] - 10\lg\left[\left(\frac{d}{r}\right)^2\right] \text{ дБ.}$$

$\Delta h_M=10,5 \text{ м, } W=30\text{м, } d=80\text{м}$ кезінде:

$$L = 40\lg(r) + 30\lg(f) + 49\text{дБ.}$$

- төбе деңгейінен төмен БС:

$$L = -10\lg\left[\left(\frac{\lambda}{2\sqrt{2\pi}r}\right)^2\right] - 10\lg\left[\frac{\lambda}{2\pi^2r_1}\left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi+\theta}\right)^2\right] - 10\lg\left[\left(\frac{d}{2\pi(r-d)}\right)^2 \frac{\lambda}{\sqrt{\Delta h_B^2 + d^2}} \left(\frac{1}{\varphi} - \frac{1}{2\pi+\varphi}\right)^2\right] \text{ дБ,}$$

$$\varphi = \tan^{-1}(\Delta h_B/d). \quad (2.14)$$

$h_B=5\text{м, } \Delta h_M=10,5\text{м, } W=30\text{м, } d=80\text{м}$ кезінде:

$$L = 40\lg(r) + 40\lg(f) + 35\text{дБ.}$$

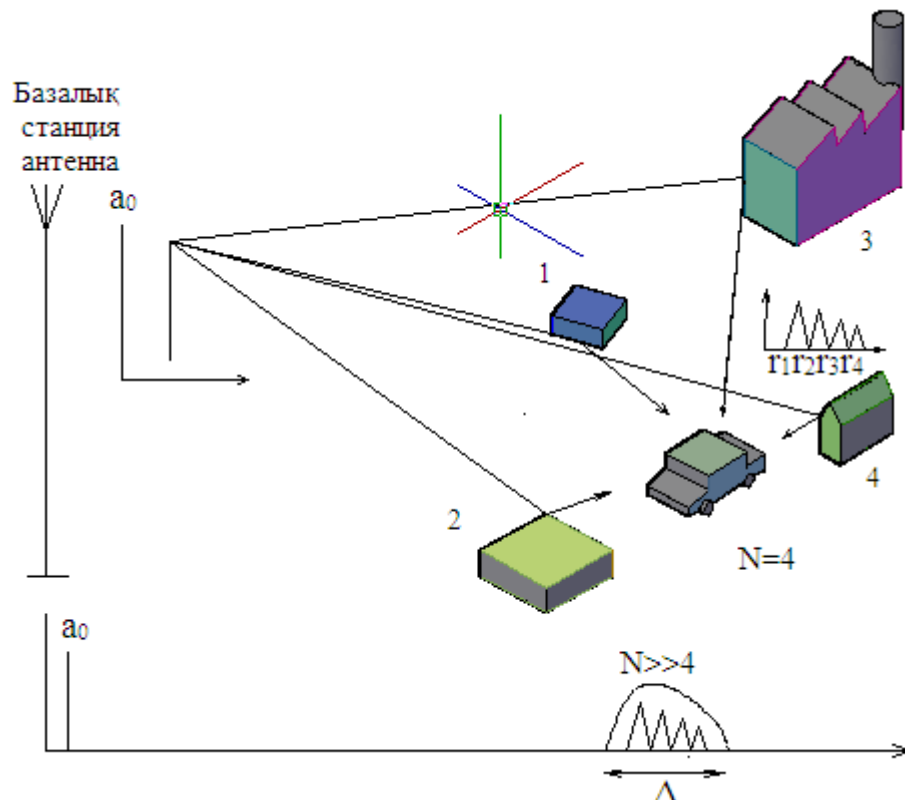
Кся-Бертони біршама маңызды параметрлерді ескермесе де (құрылыс материалдарының түрі, көшенің әртүрлі бейімделуі және тағы басқа) олар байланыс арнасында орташа жоғалу деңгейінің алдын-ала бағалануының қарапайым, әрі қолайлы әдісін береді.

2.2 Кідіріс интервалдары

Кідіріс кеңдігінің құбылысы (көпсәулелену диапазоны) – базалық станция мобильді станцияға импульсті сигнал бергенде $S_0(t)=a_0 \delta(t)$ және көпсәулелі таралуда қабылданатын сигнал уақыт бойынша біраз созылуда пайда болады. Кідіріс кеңеюінің механизмі 2.2-суретте көрсетілген. МС-да қабылданатын импульсті сигнал түрі:

$$S(t) = a_0 \sum_{i=1}^n a_i \delta(t - \tau_i) e^{i\omega t} = E(t) e^{i\omega t}. \quad (2.15)$$

ω жиілікте дискретті импульстердің реттілігін көрсетеді, МС келіп түсетіндерді (2.3а-сурет) қабылдайды. Таратқыштардың автомобильге қатысты жақындығы санының көбеюіне байланысты дискретті импульстер қосылып Δ ұзақтықты үзіліссіз импульс қалыптасады, оны тоқтаудың кеңеюі деп аталады ν (2.3б-сурет). Кідірістің кеңеюі базалық станциядан келесі импульс берілуі мүмкін уақытқа сәйкес күту уақытын анықтайды. Бұл ақпаратты таратудың жылдамдығын $1/\Delta$ дейін төмендеуін қамтамасыз етеді, ол рэлееттік қатулармен ортасында символаралық интерференциялы жою үшін қолданылады [9, 25, 30].

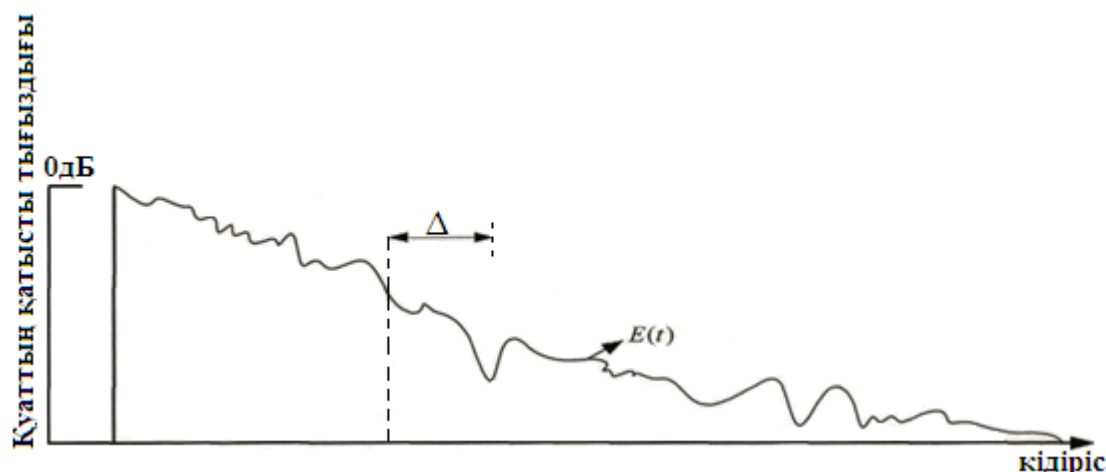


Сурет 2.3а- Таратқыш кезінде кідірістің кеңею механизмі

2.3б-суретте көрсетілген параметрлер орташа кідіріс мәнінің d уақыт пен кідірістің Δ анықталатын стандартты кеңеюі немесе ауытқуына тәуелділігін көрсетеді:

$$d = \int_0^{\infty} tE(t)dt, \Delta^2 = \int_0^{\infty} t^2 E(t)dt - d^2. \quad (2.16)$$

мұндағы, $t=0$ $S(t)$ сигналының $E(t)$ иілуінің бастапқы мәніне сәйкес келеді.



Сурет2.3б - Иілу сигналының кідірісі

Бұл параметр өзгерістерінің типтік диапозондары мынадай [25]:

Кесте2.3 -Өзгерістердің типтік диапозондары

Параметр	Қала	Елді мекен
Орташа кідіріс уақытының мәні, мкс	1.5-2.5	0.1-2.0
Сәйкес жолдың ұзындығы, м	450-750	30-600
Максимальды кідіріс (-30дБ) уақыты, мкс	5.0-12.0	0.3-7.0
Сәйкес жолдың ұзындығы, м	1.5-3.6	0.9-2.1
Таралу кідірісінің диапозоны, мкс	1.0-3.0	0.2-2.0
Таралу кідірісінің орташа мәні, мкм	1.3	0.5

2.3 Доплерлі жиілік интервалдары

Автомашинаның қозғалысы a_1 әртүрлі бұрышпен қабылдағыштың кірісіне түсетін сигнал жиіліктерінің доплерлі ығысуына DF_d алып келеді. Доплерлі ығысудың DF_d диапозоны таралу облысының көлеміне, қабылданатын сигналдың келу бағытына қатысты абоненттік станцияның қозғалу бағыты мен қозғалыс жылдамдығына тәуелді болады. Әлсіз

бағытталған қабылдау антенналарын қолдануда максимал ығысқан сигнал сәулелерін қабылдау ықтималдылығы зор, сондықтан $D F_d$ көлемін бағалау үшін – $f_{\max} J D F_d J f_{\max}$, диапазоны қабылданады, мұндағы $f_{\max} = f_0 v / c a_i = 0$ кезінде. $f_0 = 2 \text{ ГГц}$ пен $v = 120 \cdot 10^3 \text{ м/сәғ}$ үшін көлемі $f = 222 \text{ ГГц}$ -ке тең. Доплерлік кеңею $f_d = v/l$ тікелей абоненттің қозғалыс жылдамдығына байланысты. 2.4-кестеде 900 МГц пен 1800 МГц тасушы жиіліктері үшін қозғалмалы құрылғы қозғалысының жылдамдығына байланысты доплерлік кеңею көрсетілген.

Кесте 2.4-Доплерлік кеңею

Жылдамдық м/сәғ	Доплерлік кеңею (Гц) 900МГц (l=33см)	Доплерлік кеңею (Гц) 1800МГц (l=16.6см)
5	4	8
32	27	54
60	66	132
108	106	212
192	160	320

2.4 Тынып қалатын сигналдың корреляция интервалы мен когеренттілік жолағы

Таралу трассасында орташа жоғалу көлемімен жылдам және баяу тынып қалудың параметрлері байланыс арнасының нақты сипаттамасын бермейді. Байланыс арнасындағы сигналдардың жиіліктік-уақыттық қозғалыстары уақыт пен жиілік бойынша селективті тынуларды шақырады, ол қазіргі сандық мобильді байланыс жүйелері мен жоғары жылдамдықты ақпаратты тарату шамасын біршама күрделендіреді. Әрбір сәуле өзінің уақыттық қозғалысымен келетін сигналдардың көпсәулелі таралуы қабылданатын символдардың уақыт пен жиілікті-селективті тынуының ұзаруына алып келеді. Уақыт бойынша ұзаруы қабылданатын сигналдар ұзақтығы, таралған сигнал ұзақтығына қарағанда үлкен болуымен шығарылады. Осы кезде хабардың көршілес символдары бір-бірін жабады.

Жиілікті-селективті сигнал тынып қалуы сигнал фильтрациясының эквиваленттері, мұнда сигнал спектрінің компоненттері әртүрлі әлсіздікті иеленеді. Аз жиілікті интервал шегінде спектральды құраушылар бір-біріне жақын әлсіздікті сезінеді, бірақ жиілікті таралудың артуымен тыну сипаты басқаша болады. Сигнал жолағының ені үлкен болған сайын, ол жиілікті-селективті тынып қалу жағдайына ұшырайды. Қабылдағыш символдың уақыттың созылуын анықтай алатын жолақтың ені $\Delta F_{\min} \approx 1/4\tau_m$ [1], мұндағы τ_m —бірінші мен соңғы келген сәулелерде сигнал қозғалыстарының уақыттық айырмасы.

Сигнал жолағының үлкен жеткілікті енінде қабылдағыш әртүрлі уақыттық сәулелерді айыра алады. Бұл қабылдағыштың уақыт бойынша рұқсат етілген қабілеттілігі i -м мен j -м сәулелердегі сигналдардың өзара уақыттық қозғалысы азайғанда жүреді:

$$\tau_{\text{res}} < |\tau_i - \tau_j|. \quad (2.17)$$

Қарапайымдылық үшін, қабылдағыштың рұқсат ету қабілеттілігі элементар символ ұзақтығына тең және сигнал жолағының еніне кері пропорционал деп есептеуге болады:

$$\tau_{\text{res}} \approx \Delta\tau \approx \frac{1}{\Delta F}. \quad (2.18)$$

Әртүрлі сәулелерде сигналдардың максимал уақыттық қозғалысы ($\max |\tau_i - \tau_j| > \Delta\tau$) символ ұзақтығынан артса, қабылданатын сигналдың көршілес символдары бір-бірін алмастырады. Бұл жағдайда символаралық интерференция САИ (МСИ) құбылысы айтылады. Жиілікті-селективті тынып қалулар сигнал спектрінің формасының бұзылуына алып келеді, яғни, таратылған сигнал формасының бұзылуы. Бұл бұзылулар таралатын сигнал жолағының ені байланыс арнасының когоренттік жолағы артық болғанда шыға бастайды. Когоренттілік жолағы күшею коэффициенті мен фазаның сызықты өзгерісіне тең барлық спектралды компоненттерді өткізетін арна бойынша жиілік диапазонының статистикалық өлшемі болып табылады. Осылайша, когоренттілік жолағы сигналдың жиіліктік компоненттері өзара корреляция коэффициентінің мәні жоғары шегіндегі жиілік диапазонын көрсетеді:

$$\rho(\Delta f, \Delta t) = \frac{\langle a_1 a_2 \rangle - \langle a_1 \rangle \langle a_2 \rangle}{\sqrt{[\langle a_1^2 \rangle - \langle a_1 \rangle^2][\langle a_2^2 \rangle - \langle a_2 \rangle^2]}}, \quad (2.19)$$

мұндағы, $\langle . \rangle$ – іске асыру ансамблі бойынша орташалау операциясы; a_1 мен a_2 жиіліктеріндегі сигнал амплитудалары; $(|f_1 - f_2| = \Delta f)$ - t_1 мен t_2 уақытында өлшенген моменттер; $(|t_1 - t_2| = \Delta t)$ – сәйкесінше.

Корреляция коэффициентінің шектік мәнін әрқалай анықтайды: 0.9[30]с, 0.5[30] мен 0.37. Жүйе берілген сапалықты қамтамасыз ететін рұқсат етілген бұзылу корреляция коэффициентінің әртүрлі мәніне сәйкес келеді және кодек мен модемдегі сигналдарды өңдеу әдістеріне тәуелді. Бөлек жүйелер сигнал жолағының ені $\rho(\Delta f, 0) = 0.9$ болғанда, жұмыс тоқтауы мүмкін, онда күрделі адаптивті әдістерді қолдану $\rho(\Delta f, 0) = 0.37$ кезінде қажетті сипаттамаларды қамтамасыз етуі мүмкін.

[30] көрсетілгендей, белгілі статистикалық рұқсат етулердер $\rho(\Delta f, 0) = \frac{1}{1 + (2\pi\Delta f)^2 \sigma^2}$, мұндағы σ^2 – байланысты арнасындағы кездейсоқ

кідіріс дисперсиясы. Егер корреляция коэффициентінің шектік мәні 0.5 тең деп қабылдасақ, байланыс арнасының когеренттік жолағы:

$$B_C = \frac{1}{2\pi\sigma}. \quad (2.20)$$

Қала үшін типтік стандартты девиацияда кездейсоқ 2мкс кідірістерде байланыс арнасының когеренттілік жолағы 80кГц құрайды. Жолақ ені үлкен сигналдар жиіліктік-селективті тыну немесе символаралық интерференциямен ақауға ұшырайды [1].

Уақыт өтумен байланыс арнасы сипаттамасының өзгерісі кезінде уақыттық селективті тынып қалуларды айтады. Уақыттың селективті тынып қалулар таралатын хабардың жіберілу формасының бұзылуын шақырады, себебі байланыс арнасының сипаттамалары сигналдық БС-дан МС трассасы бойынша өту уақытында өзгереді. Мобильді байланыстың арнаның тарату коэффициенті өзгерісінің себебі доплерлі жиіліктік қозғалыс болуы мүмкін: олар сигналдың спектрі жиілігінің ұзаруына алып келеді және уақыттың селективті тынып қалу жағдайына шақырады.

Жіберу ұзақтығы салыстырмалы көп болмаса, сигнал байланыс арнасы бойынша оның алдыңғы және артқы фронттары бірдей өзгерістерге ұшырайтындай өтіп үлгереді. Жіберу ұзақтығының артуымен уақыттық тынып қалулардың селективтілігі өседі және алдыңғы мен артқы фронттардың өзгеру сипаты өте әртүрлі болып кетуі мүмкін. Қабылдағыш спектрдің доплерлі созылуын байқайтын жіберудің минимал ұзақтығы [30],

$T_{\min} \approx \frac{1}{4f_m}$, мұндағы, f_m – сигнал спектрінің максимал созылуы (тынып қалу спектріндегі максимал доплерлік жиілік). Жүйенің өткізгіштік қабілеті жиілік бойынша i -m мен j -m сәулелерінде сигналдардың жиіліктік қозғалысынан аз болғанда, қабылдағыш әртүрлі доплерлік қозғалысты сәулелерді айыра алады:

$$V_{\text{res}} < |f_1 - f_2|.$$

Қабылдағыштың жиілік бойынша өткізу қабілеттілігі таралатын сигнал спектрінің еніне тең және элементар символдың ұзақтығына кері пропорционал:

$$V_{\text{res}} \approx \Delta f \approx \frac{1}{T}.$$

Үлкен базалы сигналдардың негізгі артықшылықтарының бірі – жиілік пен уақыт бойынша біруақыттың жоғары өткізгіштікті қамтамасыз етеді:

$$\tau_{\text{res}} V_{\text{res}} \approx \frac{1}{f} \frac{1}{T} \ll 1.$$

Жиілікті-селективті тынып қалу жағдайындағыдай, уақыттық селективті тынып қалумен шақырылатын бұзылу T_c уақыт бойынша байланыс арнасының корреляция интервалының көмегімен ақпараттық хабар ұзақтығы көп болғанда пайда бола бастайды. Когоренттілік жолақты аналогия бойынша корреляция интервалы деп сигнал тынып қалуы шекараларда $\rho(0, \Delta t)$ корреляция коэффициентінің белгілі мәнімен сипатталатын уақыт бөлігі аталады. Белгілі рұқсат етумен [1,30] көрсетуге болады:

$$\rho(0, \Delta t) \cong J_0^2(2\pi f_m \Delta t),$$

мұндағы, $J_0(y)$ – бірінші текті 0-ші ретті Бессель функциясы.

Егер корреляция коэффициентінің шектік мәнін 0,5 тең болса, онда байланыс арнасының когоренттілік интервалы:

$$T_c \cong \frac{9}{16\pi f_m}. \quad (2.21)$$

мысалы, мобильді абонеттің радиалды жылдамдығы 30 м/с (108 км/сағ) 1,75 ГГц диапазонда байланыс арнасының когоренттілік интервалы 1 мс құрайды.

3 Радиосигнал тынып қалуының математикалық моделі

3.1 Жылдам және баяу тынып қалу иілетін сигналдың статистикалық сипаттамалары

Тропосфералы, ионосфералы, мобильді байланыс арнасының УКВ қалаларға және тағы басқа көпсәулелі арналарды радиосигналдардың таралуы жылдам және баяу тынып қалумен ұштасады, оларды радиоарналарды тарату коэффициентінің μ кездейсоқ өзгерісінің нәтижесі деп қарастыруға болады. Ары қарай, қабылдағыш кірісіндегі сигнал өзгерісін пайдалы сигнал қуатына тәуелсіз деп есептейміз және ол тек радиоарна параметрлерімен ғана анықталады.

Жұмыста сандық хабарды қабылдаудың бөгеулікке тұрақтылығына жылдам және баяу тынып қалудың біруақыттық әсері зерттеледі, ол олармен күресуде қолданылатын әдістер тиімділігін бағалауға және радиожүйені жобалауда тарату-қабылдау құрылғыларының параметрлерін таңдауға мүмкіндік береді.

3.2 Жылдам және баяу тынып қалу есебімен қисықтың тығыздық ықтималдығы

Қалалық жағдайларда, сигнал қисығының тығыздық ықтималдығының функциясы таралу жағдайына байланысты өзгереді. Осында функция түрі Релеядан Райсқа дейін ғана өзгермей, моменттердің сандық мәндері де өзгереді. Бұл жағдайда сигналдардың жылдам флуктуациясының тығыздық ықтималдығын сипаттау үшін m – таралуда [23] қолданған дұрыс, әртүрлі арналар үшін аппроксимирлейтін тәжірибелік зерттеулер нәтижелері мен кең қолданылатын таралулар:

$$W(z) = \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1}\right)^{m_1} z^{2m_1-1} \exp\left(-\frac{z^2}{\Omega_1} m_1\right), \quad (3.1)$$

мұндағы, $\Gamma(m_1)$ – гамма функциясы [6], $m_1 \geq 0,5$; $\Omega = (z^2)$ – таралу параметрлері.

[23] белгілі, m_1 параметрлерінің өзгеруімен m – таралу белгілі заңдарды жақсы сипаттайды: $m_1=1$ кезінде Релей заңын аламыз, $m_1=2 \div 3$ үшін Райс таралуын жеткілікті түрде нақты аппроксимирлейді. Тынып қалуды жалпы деп аламыз. Жылдам тынып қалумен қатар арнада баяулары да бар, олар сигнал мәнінің орташа квадраттық кездейсоқ өзгерісімен $u = \sqrt{\Omega_1}$ шақырылған, 1.4 көрсетілгендей логарифмдік қалыпты заңға бағынады.

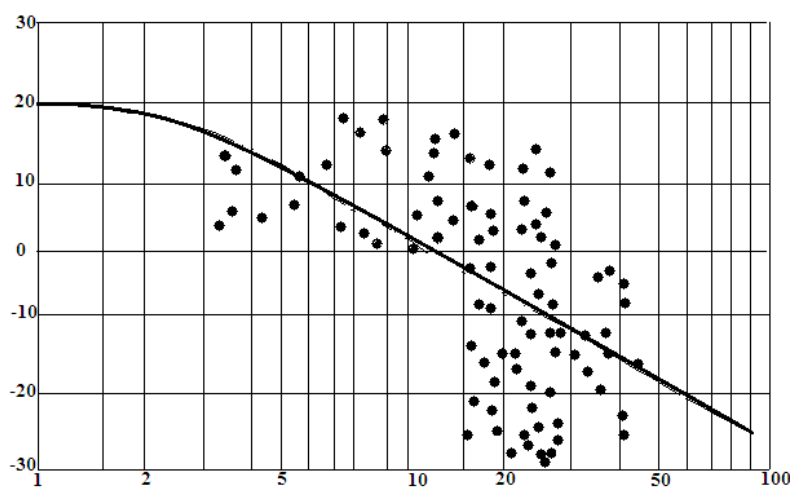
$$W(u) = \frac{1}{\Omega_1 \sqrt{2\pi}} \frac{1}{u} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_1^2} (\ln u - a)^2\right), 0 < u < \infty. \quad (3.2)$$

мұндағы, $a = (\ln u)$, $\sigma_1^2 = [(\ln u)^2] - [(\ln u)]^2$ – математикалық күтім мен кездейсоқ шаманың дисперсиясы $\ln u$.

Ереже бойынша, тәжірибе нәтижелерін өңдеуде МККР құжаттарында сандық мәндер, соның ішінде a мен τ , [дБ] беріледі. Бұл жағдайда (3.2) формулада логарифм негізі өзгереді және дисперсия үшін мән келесі түрде болады:

$$\sigma_2^2 = ((20 \lg u)^2) - [(20 \lg u)]^2 = 400 \sigma_3^2, \text{ мұнда } \sigma_3^2 = ((\lg u)^2) - [(\lg u)]^2.$$

Өріс кернеулігінің девиациясының тәжірибелік деректері негізінде ірі қалаларда, 3.1-суретте келтірілгені бойынша орташа квадратты ауытқудың максимал мәні $\sigma_2 = 10$ дБ және МККР нұсқаған деректермен сәйкес [30].



Сурет 3.1- Медианды мәнге қатысты өріс кернеулігінің девиациясы

дБ берілген σ_2^2 мәнінен непермен нп берілген σ_1^2 дисперсия мәніне көшуін орындаймыз, ол (3.2) формулада қолданылады. Логарифмдік негізде белгілі ережеге сәйкес $\lg x = 0.4343 \ln x$ түрлендіріп, өткелдің тәуелділігін аламыз:

$$\sigma_2, \text{ дБ} = 8.68 \sigma_{1, \text{ нп}}, \sigma_3 = 0.4343 \sigma_1,$$

$$\sigma_2 = 10 \text{ дБ максимал мәні үшін } \sigma_1 = 1.152 \text{ нп.}$$

Ереже бойынша, мобильді терминалдың орналасуына байланысты шамасы σ_2 3.1-кестеде көрсетілген.

Кесте 3.1 - Мобильді терминал орналасуы

	Ірі қалаларда	Елді мекендерде	Ауылдық жерлерде
σ_2 биіктігі	$\sigma_2 \cong 10$ дБ	$\sigma_2 \cong 6$ дБ	$\sigma_2 \cong 2-3$ дБ

Кездейсоқ шаманы u медианды мәнге u_m енгізіп (3.2) формуланы түрлендіреміз. Белгілі түрлендіру негізінде $0.5 = \int_0^{u_m} W(u) du$ (3.2) функциясы үшін $a = \ln u_m$ жағдайында келтірілген теңдік орындалады. (3.2) формулаға $a = \ln u_m$ өзін қойып және жаңа $y = u \setminus u_m$ айнымалысына көшіп түрлену мәнін аламыз:

$$W(y) = \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \frac{1}{y} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_1^2} (\ln^2 y)\right), \quad 0 < y < \infty. \quad (3.3)$$

Баяу флуктуациясы қисық сигналдың (3.1) тығыздық ықтималдығы шарты болады $W\left(\frac{z}{\Omega_1}\right)$, яғни Ω_1 берілген мән үшін анықталған. Шартсыз тығыздық $W(z)$ барлық Ω_1 бойынша $W(z, \Omega_1)$ тығыздық ықтималдығына сәйкес функцияның орташалануымен табылуы мүмкін:

$$W(z) = \int_0^\infty W(z, \Omega_1) d\Omega_1 = \int_0^\infty W(z/\Omega_1) W(\Omega_1) d\Omega_1. \quad (3.4)$$

(3.1) мен (3.3)-ті (3.4)-ке қойып, $W(z)$ функциясының аналитикалық мәнін математикалық қиындықтарға байланысты алу мүмкін емес. Тапсырма аппроксимация функциясы (3.2) жолымен шешіледі.

3.3 Бірінші түрдегі радиосигналдың тынып қалу жағдайындағы моделі

Бірінші түрдегі тынып қалу моделін m – таралумен $W(y)$ (3.3) логарифмдік-қалыпты заңмен тығыздық ықтимал функциясын аппроксимирлейміз, (3.1) формулаға сәйкес берілген жағдайда m мен Ω параметрлерімен қабылданатын сигналдың баяу тынуын сипаттайды. Мұндай аппроксимация [23] таралуда көрсетілген бірінші екі моменттің теңдік шартында мүмкін. m – таралу мен логқалыпты заң үшін бастапқы моменттерді табамыз. m – таралудың бастапқы моменттері [23] мәнімен анықталады:

$$M_1 = \sqrt{\frac{\Omega}{m}} \frac{\Gamma(m+0.5)}{\Gamma(m)}, \quad M_2 = \Omega.$$

Логқалыпты таралудың бастапқы моменттерін жалпы жағдайға сәйкес $M_1 = \int_0^\infty y W(y) dy$ пен $M_2 = \int_0^\infty y^2 W(y) dy$ есептеуге болады. Есептеу нәтижесінде аламыз:

$$M_1' = \exp\left(\frac{\sigma_1^2}{2}\right), \quad M_2' = \exp(2\sigma_1^2).$$

Екі таралудың бастапқы моменттерін теңестіреміз:

$$\exp(\frac{\sigma_1^2}{2}) = \sqrt{\frac{\Omega}{m}} \frac{\Gamma(m+0.5)}{\Gamma(m)}, \exp(2\sigma_1^2) = \Omega.$$

Аппроксимация мүмкін болатын параметрлердің шекаралық мәнін анықтаймыз. Теңдеу жүйесін шешіп, теңдікті аламыз:

$$\exp(-\frac{\sigma_1^2}{2}) = \frac{1}{\sqrt{m}} \frac{\Gamma(m+0.5)}{\Gamma(m)}$$

Ең минимал мүмкін мәнді аламыз $m=0,5$, $\sigma_1^2=0.446$ нп – ең максимал мәнді шығарамыз, m – таралу аппроксимациясы жоғары болуы мүмкін емес. нп-дан дБ-ға көшуге сәйкес формуламен аппроксимация кезінде максимал орташа квадратты ауытқу мәні $\sigma_2=5.8$ дБ тең. Осылайша, 3.1-кестеден, аппроксимация елді мекендер мен ауылдық жерлерде баяу тынып қалуды сипаттауда қолданылуы мүмкін. Бірінші (3.4) формулаға сәйкес m –таралумен $u=\sqrt{\Omega_1}$ шамасында (3.5) аппроксимацияның таңдалған логонормальды таралуында $\sigma_2 \leq 6$ дБ, әлсіз және орташа тыну жағдайы үшін $W(z)$ функциясының мәнін анықтаймыз:

$$W(u) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m u^{2m-1} \exp(-u^2 \frac{m}{\Omega}).$$

Жаңа айнымалыға көшуді іске асырып $y=u^2 = \Omega$, алатынымыз:

$$W(y) = \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m y^{m-1} \exp(-y \frac{m}{\Omega}).$$

Алынған функцияны (3.4) қоямыз, сонымен қатар тығыздық ықтималдығының функциясын (3.1). Нәтижесінде [6] сәйкес кестелі интегралды аламыз:

$$W(z) = \frac{4}{\Gamma(m)\Gamma(m_1)} \left(\frac{mm_1}{\Omega}\right)^{m+m_1/2} z^{m+m_1-1} K_{m-m_1}(2\sqrt{z^2 \frac{mm_1}{\Omega}}), \quad (3.5)$$

мұндағы, $K_\nu(x)$ – Бессельдің модифицирленген функциясы [6].

Бақыланатын таралуларға сәйкес m және m_1 параметрлерінің нақты мәндері үшін таралуды (3.5) қарастырамыз. $m_1=1$ кезінде қисықтың тығыздық ықтималдығы жылдам тынып қалу жағдайында Релея заңымен сипатталады және $W(z)$ функциясының түрі:

$$W_1(z) = \frac{4}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^{m+1} z^m K_{m-1}(2\sqrt{z^2 \frac{m}{\Omega}}). \quad (3.6)$$

Екі шекаралық жағдайда қарастырамыз $m = 0,5$, $m = 2,5$.

$m=0,5$ кезінде ($\sigma_2 \approx 6$ дБ) Бессель функциясымен анықталады [6]:

$$K_{-0,5}(\chi) = \frac{\pi}{2\chi} e^{-\chi},$$

мұндағы, $\chi = 2\sqrt{z^2 \frac{m}{\Omega}}$.

Берілген мәнді (3.9) формулаға қою нәтижесінде, қисықтың тығыздық ықтималдық функциясы мынадай түрге түрленеді :

$$W_2(z) = \sqrt{\frac{2}{\Omega}} \exp(-z \sqrt{\frac{2}{\Omega}}). \quad (3.7)$$

Ω есептеу үшін (3.11) формулада $\Omega = \exp(2\sigma_1^2)$ мәні қолданады. $\sigma_2 = 8,68$ дБ $\sigma_{1,нп}$ формулаға сәйкес логарифмдік негіздемені түрлендіріп, $\sigma_2 = 5,8$ дБ мәнін қойып, $\Omega = 2,44$ аламыз. Тығыздық ықтималдығының (3.11) бірінші және екінші бастапқы моменттері $M_1 = \int_0^\infty y W(y) dy$ пен $M_2 = \int_0^\infty y^2 W(y) dy$ жалпы мәндеріне сәйкес есептелінеді. Есептеу нәтижесінде алатынымыз:

$$M_1 = \sqrt{\frac{\Omega}{2}} = 1.1, \quad M_2 = \Omega = 2.44.$$

$m = 2,5$ ($\sigma_2 \approx 3$ дБ) кезінде Бессель функциясы келесі түрге түрленеді [6]:

$$K_{1,5}(\chi) = \sqrt{\frac{\pi}{2\chi}} e^{-\chi} \left[\frac{\chi+1}{\chi} \right]. \quad (3.8)$$

Берілген мәнді (3.6) формулаға қойып, қисықтың тығыздық ықтималдығы мына түрге түрленеді:

$$W_3(z) = \frac{2\sqrt{\pi}}{\Gamma(2.5)} \left(\frac{2.5}{\Omega}\right)^{3/2} (z^2 + z) / \left(2\sqrt{\left(\frac{2.5}{\Omega}\right)}\right) \exp\left(-2\sqrt{\left(\frac{2.5}{\Omega}\right)} z\right). \quad (3.9)$$

Ω есептеу үшін (3.9) формулада $\Omega = \exp(2\sigma_1^2)$ мәні қолданылады. Логарифм негіздерін σ_2 , дБ $= 8,68 \sigma_{1,нп}$ сәйкес түрлендіріп, $\Omega = 1,269$ мәнін аламыз. (3.9) тығыздық ықтималдығы үшін моменттерді есептейміз. Есептеулер нәтижесінде алатынымыз:

$$M_1 = \frac{\Omega}{5} = 0.253, \quad M_2 = \frac{\Omega}{2} = 0.634.$$

Жоғарыда айтылғандай, сигналдың терең баяу тынып қалуында $6\text{дБ} < \sigma_2 \leq 10\text{дБ}$ жүргізілген аппроксимация $\sigma_2 \leq 6\text{дБ}$ үшін әділ, бірақ қолданылмайды. $\tau_2 \leq 10\text{дБ}$ үшін қисық сигналдың тығыздық ықтималдығының

аппроксимация функциясында басқаша түрде қолданамыз, $W(z)$ орнына, $W(y)$ деп белгілейміз.

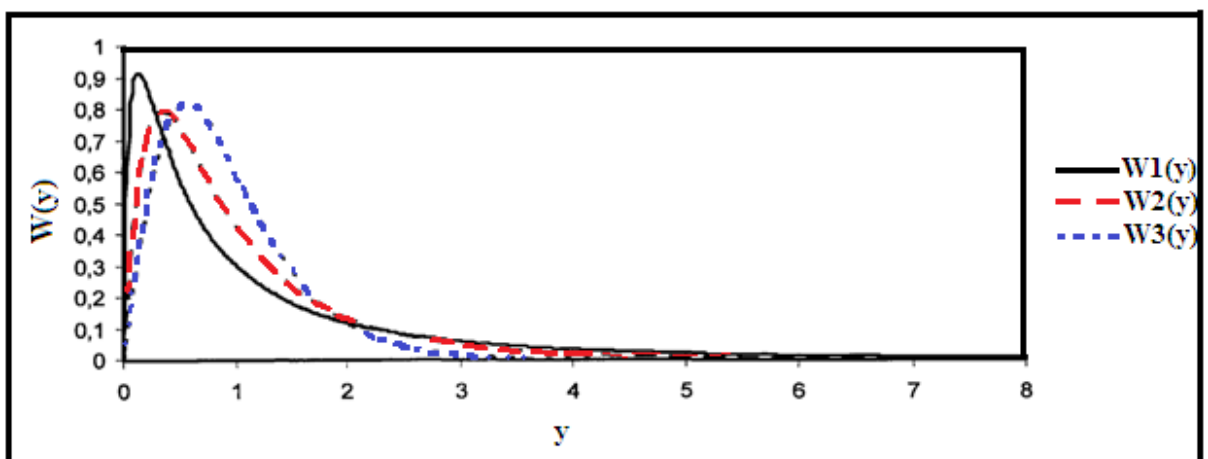
3.4 Жылдам және баяу тынып қалу жағдайының тығыздық ықтималдығының тәжірибелік функциясы үшін қисық сигналдың ықтимал тығыздығы

Қисықтың ықтимал тығыздықтың шартсыз формуласында жылдам, әрі баяу тынуында (3.4) тәжірибелік зерттеулер нәтижесінде алынған ықтимал тығыздықтың нақты функциялары қолданылады. Жылдам тынып қалуды сипаттау үшін Релей заңы қолданылады, баяу тынып қалуларды сипаттауда логарифмді – қалыпты заң (3.3) қолданылады. (3.1) формуласымен сипатталатын ықтимал тығыздықтың шартты функциясын $W(y/z)$ (3.4) қою нәтижесінде $m_1=1$ мен (3.3) формуламен сипатталатын $W(z)$ логқалыпты функция заңы арқылы интеграл аламыз:

$$W(y) = \frac{2y}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \int_0^\infty \frac{1}{z^3} \exp\left(-\frac{y^2}{z^2}\right) \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_1^2}(\ln z)^2\right) dz. \quad (3.10)$$

Берілген интеграл стандартты бағдарлама көмегімен $z_0=1000$ көлемдегі интегрирленетін жоғарғы шекті $\Delta y=0,1$ тең y шамамен дискреттеу қадамымен компьютерде есептелінеді. Есептеу нәтижелері кесте түрінде 3.2 және 3.3-суретте келтірілген.

$N_v=10$ (яғни 100 таңдау үшін) кезінде $W(y_1)$ функциясының дискретті мәндері $\sigma_2=10$ дБ, $\sigma_2=6$ дБ, $\sigma_2=3$ дБ сәйкесінше $W_1(y_1)$, $W_2(y_1)$, $W_3(y_1)$ жағдайлары үшін 3.2 кестеде келтірілген.



Сурет 3.2 - 3 жағдай үшін $W(y)$ қисығының ықтимал тығыздығы ($W_1(y)\sigma_2=10$ дБ, $W_2(y)\sigma_2=6$ дБ, $W_3(y)\sigma_2=3$ дБ)

Кесте 3.2-Есептеу нәтижесі

Y	$W_1(y_1)\sigma_2=10\text{дБ}$	$W_2(y_1)\sigma_2=6\text{дБ}$	$W_3(y_1)\sigma_2=3\text{дБ}$
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.10000	0.90006	0.46148	0.25028
0.20000	0.87603	0.70402	0.47112
0.30000	0.76911	0.78655	0.64166
0.40000	0.66402	0.78317	0.75338
.....			
0.80000	0.38336	0.54503	0.73681
0.90000	0.33945	0.48444	0.67113
1.00000	0.30228	0.42945	0.59927
.....			
1.90000	0.12863	0.14871	0.14048
2.00000	0.11881	0.13320	0.11705
2.10000	0.10999	0.11952	0.09739
2.20000	0.10205	0.10743	0.08095
.....			
2.90000	0.06357	0.05330	0.02205
3.00000	0.05978	0.04852	0.01834
.....			
9.00000	0.00543	0.00085	0.00000
9.10000	0.00528	0.00081	0.00000
.....			
9.90000	0.00425	0.00054	0.00000
10.00000	0.00414	0.00052	0.00000

Ықтимал тығыздық функция моменттерінің (3.10) $\tau_2=3\text{дБ}$, $\tau_2=6\text{дБ}$, $\tau_2=10\text{дБ}$ мен $z_0=1000$ жағдайларының есептеу нәтижелері 3.3-3.5-кестеде келтірілген.

Кесте 3.3 - Ықтимал тығыздық функция моменттерін есептеу нәтижелері

$\sigma_2=3\text{дБ}$ $\sigma_1\approx 0.345\text{дБ}$	N_y	10	15	100	1000	1500
	M_1	0.940	0.940	0.940	0.940	0.940
	M_2	1.268	1.268	1.268	1.268	1.268

Кесте 3.4-Ықтимал тығыздық функция моменттерін есептеу нәтижелері

$\sigma_2=6\text{дБ}$ $\sigma_1\approx 0.668\text{дБ}$	N_y	10	15	100	1000	1500
	M_1	0.097	1.105	1.107	1.107	1.107
	M_2	2.299	2.399	2.441	2.441	2.441

Кесте 3.5- Ықтимал тығыздық функция моменттерін есептеу нәтижелері

$\sigma_2=10\text{дБ}$ $\sigma_1\approx 1.152\text{дБ}$	N_y	10	15	100	1000	1500
	M_1	1.340	1.486	1.713	1.720	1.720
	M_2	4.579	6.366	13.131	14.207	14.211

Кестеде $\Delta y = 0,1$ кадаммен y және $N=N_y/\Delta y$ орнатылатын y көлемнің N_y – интервалы. Ықтимал тығыздық функциясының моментінде (3.10) $z_0=2000$ үшін есептеу нәтижелері 3.6-3.8-кестелерде келтірілген.

Кесте 3.6- $z_0=2000$ үшін есептеу нәтижелері

$\sigma_2=3\text{дБ}$ $\sigma_1\approx 0.345\text{нп}$	N_y	10	15	100	1000
	M_1	0.940	0.940	0.940	0.940
	M_2	1.268	1.268	1.268	1.268

3.3-3.8-кестеде келтірілген нәтижелер көрсеткендей $z_0\geq 1000$ таралу моменттері өзгермейді, ол $z_0=1000$ мәнінде (3.10)-ғы z өлшемінің шектелу мүмкіндігін дәлелдейді. Орташа квадратты мәндері $\sigma_2\leq 6\text{дБ}$ орта және аз өлшем үшін келтірілген нәтижелерден $N_y\geq 100$ кезінде момент мәндері өзгермейді.

Кесте 3.7- $z_0=2000$ үшін есептеу нәтижелері

$\sigma_2\approx 6\text{дБ}$ $\sigma_1=0.668\text{нп}$	N_y	10	15	100	1000
	M_1	1.097	1.105	1.077	1.1077
	M_2	2.299	2.399	2.441	2.441

Кесте 3.8- $z_0=2000$ үшін есептеу нәтижелері

$\sigma_2=10\text{дБ}$ $\sigma_1\approx 1.152\text{нп}$	N_y	10	15	100	1000
	M_1	1.340	1.486	1.713	1.720
	M_2	4.579	6.366	13.131	14.207

3.5 Екінші түрдегі радиосигналдың тынып қалу моделі

Екінші түрдегі тынып қалу моделінде (3.10) формуланы сандық интегрирлеу нәтижесінде алынған $W(y)$ ықтимал тығыздық функциясының аппроксимациясын қолданамыз. [23] көрсетілгендей, $0 \leq y \leq \infty$ аргументінің оң мәнінде болатын $W(y)$ ықтимал тығыздық функциясы гамма – таралумен сәйкес келетін Лагер тізбегінің бірінші нүктесімен жеткілікті нақты аппроксимирленеді:

$$W_{\Gamma}(y) = \frac{1}{\beta^{\alpha+1}\Gamma(\alpha+1)} y^{\alpha} \exp(-\frac{y}{\beta}), \quad (3.11)$$

мұнда, $\alpha > -1$ мен $\beta > 0$ нақты сандар таралу параметрлерін көрсетеді және $\Gamma(\alpha+1)$ – гамма функция.

Гамма – таралу α мен β [23] сәйкес m_y орташа мәні мен σ_y^2 дисперсия арқылы формула бойынша анықталады:

$$\alpha = \frac{m_y^2}{\sigma_y^2} - 1 \text{ және } \beta = \frac{\sigma_y^2}{m_y}.$$

$z_0=1000$ функциясының (3.11) мәні үшін (3.10) формуланы сандық интегрирлеу нәтижесінде алынған ықтимал тығыздық функциясын аппроксимирлейміз. Бұрын айтылғандай, аппроксимацияда сандық әдіспен алынған M_1 мен M_2 және M_1^1 пен M_2^1 таралу моменттеріндегі бастапқы таралу моменттерін теңестіреміз (3.11). Қарапайым түрлендірулерден кейін аламыз:

Кесте 3.9-Есептеу нәтижелері

$\sigma_2=3\text{дБ}$ $\sigma_1 \approx 0.345\text{нп}$	N_y	10	15	100	1000	1500
	M_1	0.940	0.940	0.940	0.940	0.940
	M_2	1.268	1.268	1.268	1.268	1.268
	α	1.303	1.303	1.303	1.303	1.303
	β	0.408	0.408	0.408	0.408	0.408

Кесте 3.10-Есептеу нәтижелері

$\sigma_2 \approx 6\text{дБ}$ $\sigma_1 = 0.668\text{нп}$	N_y	10	15	100	1000	1500
	M_1	1.097	1.105	1.107	1.107	1.107
	M_2	2.299	2.399	2.441	2.441	2.441
	α	0.098	0.038	0.0107	0.0107	0.0107
	β	0.998	1.064	1.095	1.095	1.095

Кесте 3.11-Есептеу нәтижелері

$\sigma_2=10\text{дБ}$ $\sigma_1 \approx 1.152\text{нп}$	N_y	10	15	100	1000	1500
	M_1	1.340	1.486	1.713	1.720	1.720
	M_2	4.579	6.366	13.131	14.207	14.211
	α	-0.354	-0.468	-0.711	-0.736	-0.736
	β	2.076	2.798	5.949	6.537	6.539

$$\beta = \frac{M_2 - M_1^2}{M_1}, \quad \alpha = \frac{M_1 - \beta}{\beta}. \quad (3.12)$$

Кесте 3.12-Есептеу нәтижелері

$\sigma_2=15\text{дБ}$ $\sigma_1\approx 1.93\text{нп}$	N_y	10	15	100	1000	1500	2000
	M_1	1.338	1.718	3.805	5.348	5.408	5.420
	M_2	5.82	10.54	104.44	574.49	646.32	665.8
	α	-0.55	-0.61	-0.83	-0.94	-0.95	-0.95
	β	3.013	4.419	5.911	102.065	114.085	117.4

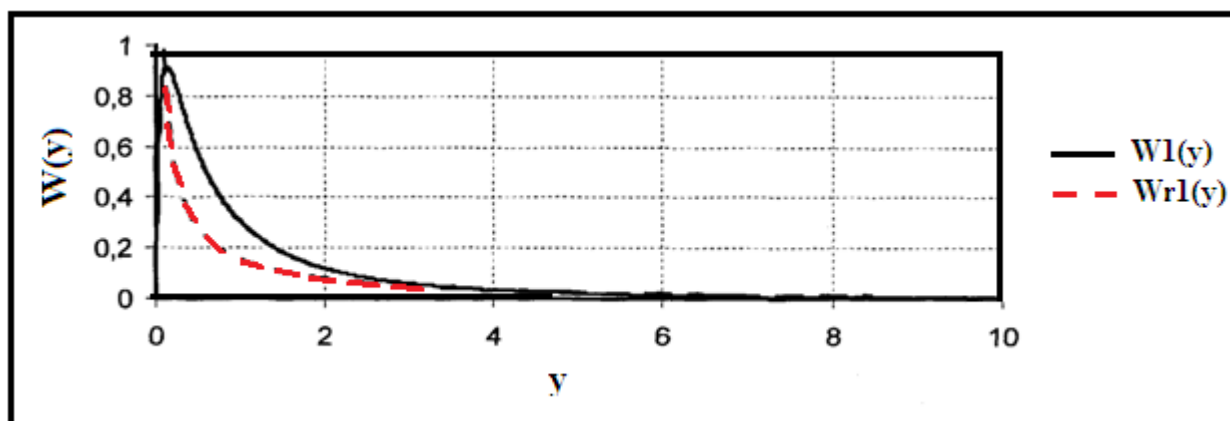
$\sigma_2=3\text{дБ}$, $\sigma_2=6\text{дБ}$, $\sigma_2=10\text{дБ}$ жағдайлары үшін (3.12) есептеу нәтижелері 3.9-3.12 кестеде келтірілген.

3.6 Бірінші және екінші типті модельдермен тынып қалуды сипаттаудың нақтылығын бағалау

$\sigma_2=10\text{дБ}$, $\sigma_2=6\text{дБ}$, $\sigma_2=3\text{дБ}$ үшін екінші модель аппроксимациясы қаншалықты тиімді екенін көрсету үшін (3.10) формуласы аппроксимирленетін гамма – таралу $W_{\Gamma}(y)$ (3.11) мен интегралды сандық есептеу нәтижесінде алынған $W(y)$ (3.10) ықтимал тығыздық функциясының салыстыруын жүргіземіз. Екі функцияның сәйкес жақындығын бағалау үшін орташа квадрат критерийін пайдаланамыз:

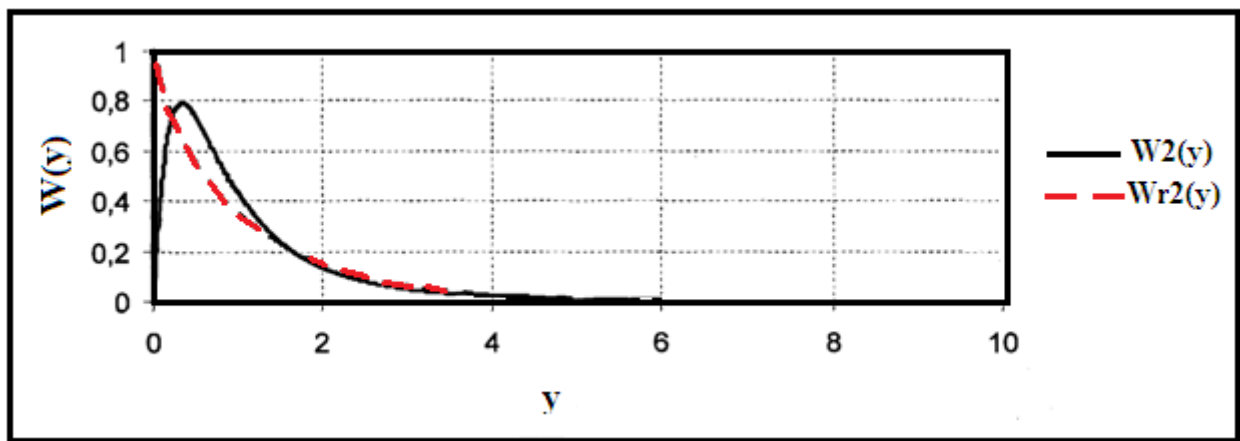
$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N [W(y_i) - W_{\Gamma}(y_i)]^2. \quad (3.13)$$

$m_1=1$ жағдайы үшін, орташа квадратты мән $\sigma_2=10\text{дБ}$, $N_v=1000$, $\Delta y=0,1$ кадаммен, қателік шамасы $\sigma^2=7*10^{-4}$ тең.



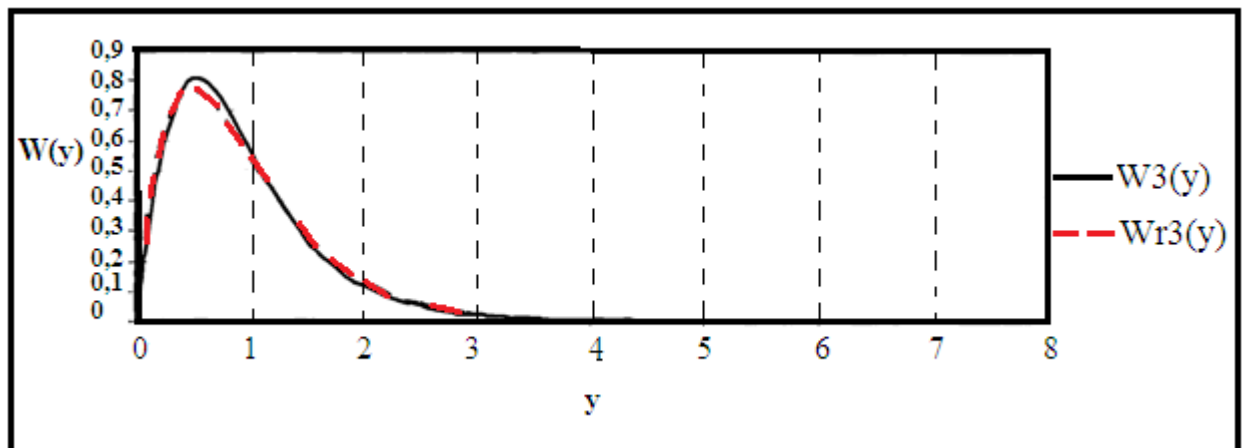
Сурет 3.3- $W_1(y)$ пен $W_{\Gamma 1}(y)$ ықтимал тығыздығының функциясы келтірілген

$m_1=1$ жағдайы үшін, орташа квадратты мән $\sigma_2 \approx 6\text{дБ}$ – қателік шамасы $\sigma^2=3*10^{-4}$ тең.

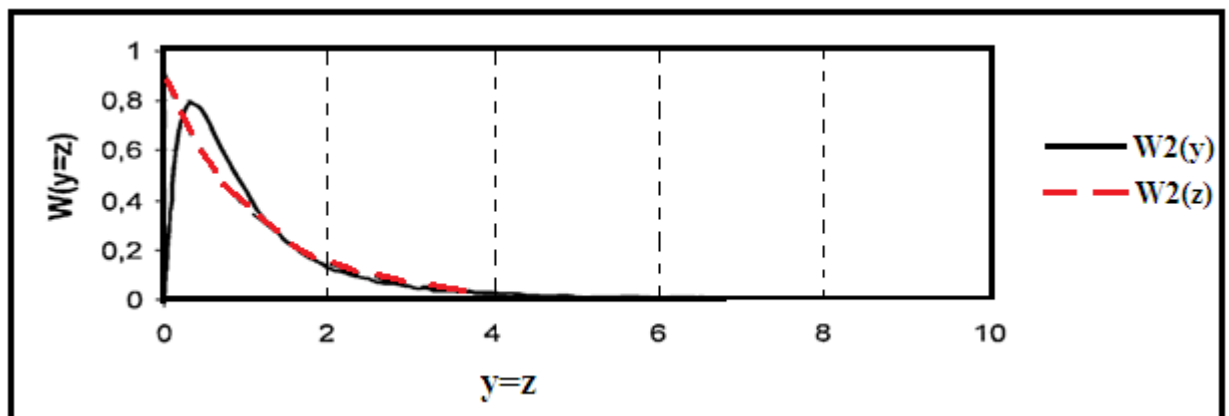


Сурет 3.4- $W_2(y)$ пен $W_{r2}(y)$ ықтимал тығыздығының функциясы келтірілген

$m_1=1$ жағдайы үшін, орташа квадратты мән $\sigma_2=3\text{дБ}$ – қателік шамасы $\sigma^2=4*10^{-6}$

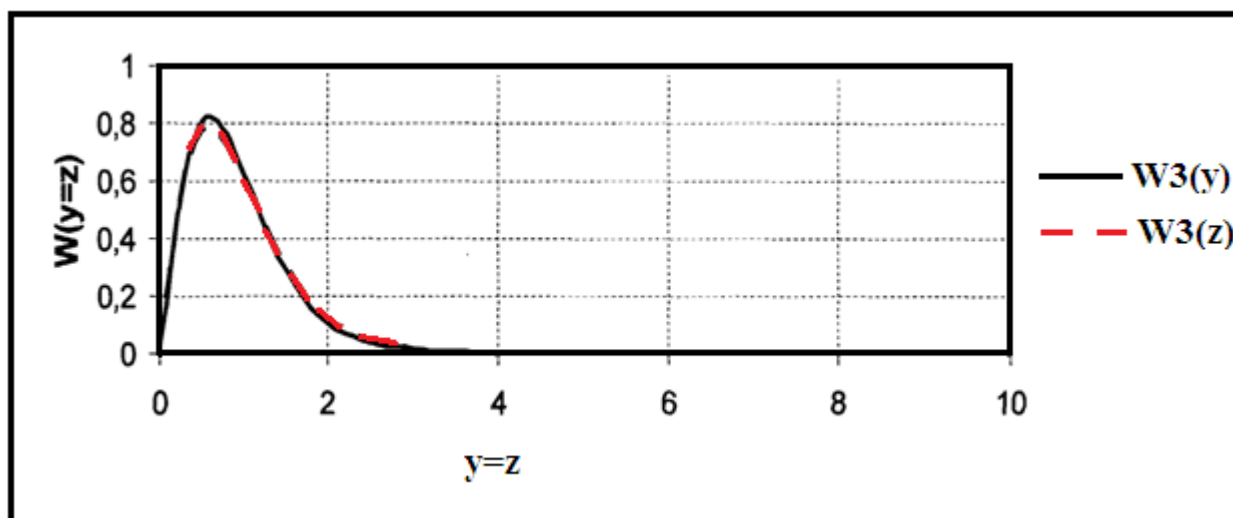


Сурет 3.5- $W_3(y)$ пен $W_{r3}(y)$ ықтимал тығыздығының функциясы келтірілген



Сурет3.6- $W_2(y)$ пен $W_2(z)$ ықтимал тығыздығының функциясы келтірілген

$m=1$ жағдайы үшін, орташа квадратты мәні $\sigma_2 = 3\text{дБ}$ - $W_3(y)$ (3.10) мен $W_3(z)$ (3.9) сәйкестігінің қателік шамасы $\sigma^2 = 10^{-6}$ тең.



Сурет 3.7- $W_3(y)$ пен $W_3(z)$ ықтимал тығыздығының функциялары келтірілген

$\sigma_2=6\text{дБ}$ үшін (3.10) интегралды сандық есептеу нәтижесінде алынған, (3.7) мен (3.9) салыстыру жолымен m – таралумен логқалыпты заңның аппроксимациясын қолдануда бірінші модель тынып қалуының нақтылық сипаттамасын бағалаймыз. Екі функцияның сәйкестену нақтылығын бағалау үшін қателіктің орташа квадратты критерийін қолданамыз (3.13). $m_1=1$ жағдайы үшін орташа квадратты мәні $\sigma_2 \approx 6\text{дБ}$ – кезінде $N_v=1000$ қадамы $\Delta y=0,1$, $W_2(y)$ (3.10) мен $W_2(z)$ (3.7) сәйкес қателігінің шамасы $\sigma^2=10^{-4}$ тең.

3.7 Жылдам және баяу тынып қалуда арналардағы байланыс сенімділігін талдау

Ақпарат тарататын радиожүйелерді жобалауда радиожүйелердің бөгеулікке тұрақтылығын анықтайтын екі көрсеткіш [22] қолданылады.

Сигналдың қысқауақыттық үзілісі кезінде уақыттың берілген өлшеу интервалында жіберілетін қате биттік саны.

Байланыс арнасында ұзақуақытты үзіліс пайда болады. Бір жыл уақытты пайызбен берілетін байланыс арнасының сенімділігі.

Байланыс арнасының сенімділік талабына ұзақ уақытты үзіліс пайда болу уақытының пайыз талабы ғана кіреді, яғни байланыс арнасының 10 с үзілісі және одан жоғары [22]. Байланыс арнасының сенімділігімен дайындығы $A = \frac{T_0 - T_{\Pi}}{T_0} 100\%$ мәнімен анықталады; мұндағы T_0 – байланыс арнасының қажетті жұмыс уақыты; T_{Π} – байланыс үзілісінің қосынды уақыты. Байланыс үзілуінің мүмкін себептері:

- 10 с бойы $BER > 10^{-3}$ п/б алып келетін оның жылдам тынып қалуында сигналдың әлсізденуі [22];
- байланыс арнасының қарсыласу аппараттары;
- кернеу қорегінің шығыны;
- қызмет көрсететін персоналдың қате әрекеттері.

МККР нұсқауларына сәйкес радиожеліні жобалауда параметрлерін таңдау бастапқы көрсеткіш болатын және 10с аз қысқа уақытты үзілістер кезінде анықталады. Егер берілген қателік ықтималдығын қамтамасыз ету үшін h_{Π}^2 бит ақпаратқа сигнал/шуыл қатынасы қажет болса, онда тынып қалуы бар дәл сол ықтималдылық үшін қамтамасыз ету, энергияны $k = \frac{h_0^2}{h_{\Pi}^2}$ есе арттыру нәтижесінде іске асады. Энергетика бойынша қор K тоқтаусыз арнадағы тарататын құрылғының қуаттылығын арттыру ретінде белгілі пайыз уақыты ішінде берілген пайыз уақыты ішінде берілген қателік ықтималдығының өзгеріссіз қалуы үшін қажетті. Тынып қалу кезінде қабылдағыш кірісіндегі сигнал шығу қатынасының кездейсоқ шама болып табылады және $h_2^2 = \mu^2 h_0^2$ түрінде жазылады, мұндағы μ жылдам және баяу тынып қалуды сипаттайтын арна таралуының кездейсоқ коэффициенті, h_0^2 – сигнал/шуыл қатынасының орташа мәні, h_2^2 – тынып қалу кезінде сигнал/шуылдың ағымдық қатынасы. Байланыс сенімділігі негізі бойынша ықтималдық мәні $P(h_2^2 > h_{\Pi}^2) = A$ арнасында сигнал/шуыл кездейсоқ қатынасының артуы, қажетті қателік ықтималдығын алуға қажетті h_{Π}^2 шектік мәnnің шамасы.

3.7.1 Екінші түрдегі тынып қалу моделіне арналған қор коэффициенті

Жоғарыда көрсетілгендей екінші түрдегі тынып қалу моделі үшін қисық сигналдың $W(y)$ ықтимал тығыздығының функциясы жылдам және баяу тынып қалу кезінде гамма – таралумен аппроксимирленеді (3.11).

$W_{\Gamma}(y)$ ықтимал тығыздық функциясын қолданып (3.11), жаңа айнымалығы $z = y^2$ өту арқылы сигнал қуаттылығының ықтимал тығыздық функциясын $W(z)$ табамыз:

$$W(z) = \frac{1}{2\beta^{\alpha+1}\Gamma(\alpha+1)} z^{\frac{\alpha-1}{2}} \exp\left(-\frac{\sqrt{z}}{\beta}\right).$$

$h_2^2 = \mu^2 h_0^2$ формулада $x = h_2^2$, $y^2 = \mu^2 = z$ деп белгілейміз, онда кездейсоқ функцияның ықтимал тығыздығы $x = z h_0^2$ белгілі тығыздықта $W(z)$ және белгілі түрлену нәтижелерінде мына түрде жазылады:

$$W(z) = \frac{1}{2\beta^{\alpha+1}\Gamma(\alpha+1)h_0^2} \left(\frac{x}{h_0^2}\right)^{\frac{\alpha-1}{2}} \exp\left(-\sqrt{\frac{x}{h_0^2}} \frac{1}{\beta}\right).$$

Байланыс сенімділігі $P(h_2^2 > h_{\Pi}^2) = A$ мәнімен анықталады, ал енгізілген белгілеулермен келесі түрде көрсетіледі:

$$A = \int_{h_{\Pi}^2}^{\infty} W(x) dx.$$

$W(x)$ мәнін қою нәтижесінде кестелік интеграл алынады:

$$A = \frac{1}{2\beta^{\alpha+1}\Gamma(\alpha+1)(h_0^2)^{\frac{\alpha+1}{2}}} \int_{h_{\Pi}^2}^{\infty} (x)^{\alpha-1/2} \exp\left(-\sqrt{\frac{x}{h_0^2}} \frac{1}{\beta}\right) dx, \quad (3.14)$$

[17] сәйкес тең болады:

$$A = \frac{1}{\Gamma(\alpha+1)} \Gamma\left(\alpha+1, \sqrt{\frac{h_{\Pi}^2}{h_0^2}} \frac{1}{\beta}\right),$$

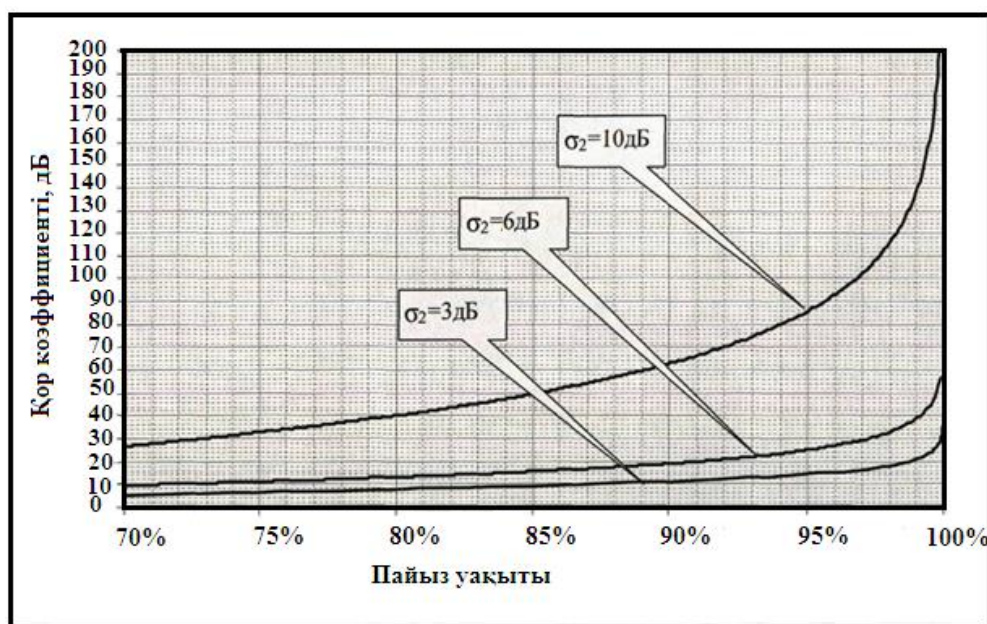
мұндағы, $\Gamma(v, x)$ – толық емес гамма функциясы, [6]-ға сәйкес тізбекпен көрсетіледі:

$$\Gamma(v, x) = \Gamma(v) - \frac{x^v}{v} \left[1 - \frac{vx}{(v+1)} + \frac{vx^2}{2!(v+2)} \dots \right].$$

3.9-3.12-кестеден, $\sigma_2 \geq 6\text{дБ}$ кезінде $\beta > 1$ шамасы мен $\Gamma(v, x)$ функция аргументі $x = \sqrt{\frac{h_{\Pi}^2}{h_0^2}} \frac{1}{\beta} \gg 1$ шартын қанағаттандырады, ол бірінші ретті мүшенің көлемі кіші аппроксимация мен $\Gamma(v, x)$ аппроксимация функциясы қолдануға мүмкіндік береді. Осылайша, аппроксимация нәтижесінде гамма – функцияны келесі түрде көрсетуге болады:

$$\Gamma\left(\alpha + 1, \sqrt{\frac{h_{\Pi}^2}{h_0^2}} \frac{1}{\beta}\right) = \Gamma(\alpha+1) - \frac{\left(\sqrt{\frac{h_{\Pi}^2}{h_0^2}} \frac{1}{\beta}\right)}{\alpha+1}. \quad (3.15)$$

(3.25) мәнді (3.24) формулаға қойып, аппроксимациялы формуланы аламыз:



Сурет3.8-($\sigma_2=10$ дБ, $\sigma_2=6$ дБ, $\sigma_2=3$ дБ) жағдайы үшін сенімділік байланысына дБ-де қор коэффициентінің тәуелділігі

Кесте3.13-Қор коэффициентінің есептеу мәндерінің нәтижесі

Сенімділік	Қор коэффициенті, дБ. Бірінші түрдегі тынып калу модельі кезінде			Қор коэффициенті, дБ. Бірінші түрдегі тынып калу модельі кезінде	
	$\sigma_2=3$ дБ	$\sigma_2=6$ дБ	$\sigma_2=10$ дБ	$\sigma_2=3$ дБ	$\sigma_2=6$ дБ
0,75	6.29	9.95	32.63	6.00	11.08
0,76	6.52	10.36	33.97	6.25	11.43
0,77	6.75	10.79	35.37	6.50	11.80
0,78	7.00	11.23	36.84	6.69	12.18
0,79	7.25	11.68	38.37	7.02	12.58
0,80	7.51	12.16	39.97	7.42	13.00
0,81	7.78	12.66	41.66	7.63	13.44
0,82	8.06	13.18	43.44	7.80	13.90
0,83	8.35	13.73	45.32	8.11	14.40
0,84	8.66	14.30	47.31	8.42	14.92
0,85	8.99	14.91	49.44	8.73	15.47
0,86	9.33	15.56	51.71	9.12	16.06
0,87	9.69	16.25	54.14	9.53	16.70
0,88	10.08	17.00	56.78	9.81	17.39
0,89	10.50	17.80	59.64	10.32	18.14
0,90	10.95	18.68	62.78	10.74	18.96
0,91	11.45	19.64	66.24	11.21	19.86

$$A=1-\frac{\left(\sqrt{\frac{h_{\Pi 1}^2}{h_0^2 \beta}}\right)}{(\alpha+1)\Gamma(\alpha+1)}. \quad (3.16)$$

Түрлендіру нәтижесінде қор коэффициентін аламыз:

$$K=\frac{h_0^2}{h_{\Pi}^2}=\frac{1}{\beta^2}[(1-A)\Gamma(\alpha+2)]^{-2/\alpha+1}. \quad (3.17)$$

$\sigma_2=3\text{дБ}$, $\sigma_2=6\text{дБ}$, $\sigma_2=10\text{дБ}$ жағдайлары үшін K есептеу мәндерінің нәтижесі график түрінде 3.11-сурет пен 3.13-кестеде келтірілген. $\sigma_2=3\text{дБ}$ жағдайы үшін қор коэффициентін алуға арналған нақты мән (3.24) қолданылады.

Тынып қалудың екі моделін салыстыру нәтижелері қор коэффициентінің аз өзгерісін көрсетеді, ол радио жүйе параметрлерін таңдауда әртүрлі таңдауда әртүрлі модель қолдануға болатынын растайды.

3.7.2 Бірінші түрдегі тынып қалу моделіне арналған қор коэффициенті

Жоғарыда көрсетілгендей бірінші түрдегі тынып қалу моделі үшін $\sigma_2 \approx 6\text{дБ}$ жағдайы қисық сигналдың ықтимал тығыздық функциясы формуламен сипатталады (3.7):

$$W_2(z)=\sqrt{\frac{2}{\Omega}}\exp\left(-\sqrt{\frac{2}{\Omega}}\right).$$

$x=z^2$ қуаттылығының ықтимал тығыздығы сәйкесінше формуламен сипатталады:

$$W_2(z)=\sqrt{\frac{1}{2\Omega}}x^{-1/2}\exp\left(-\sqrt{x\frac{2}{\Omega}}\right).$$

$h_2^2=\mu^2 h_0^2$ формуласында $y=h_2^2$, $x=\mu^2$ деп белгілейміз, онда $y=xh_0^2$ кездейсоқ функциясының ықтимал тығыздығы белгілі $W(x)$ тығыздықта:

$$W_2(y)=\sqrt{\frac{1}{2\Omega}}\left(\frac{y}{h_0^2}\right)^{-1/2}\exp\left(-\sqrt{\frac{2}{\Omega h_0^2}}y\right),$$

Байланыс сенімділігі формуламен анықталады:

$$A=\int_{h_2^2}^{\infty} W_2(y)dy,$$

ол $W_2(y)$ мәнін қойғаннан кейін кестелік интегралға келтіріледі:

$$A = \sqrt{\frac{1}{2\Omega}} \left(\frac{1}{h_0^2}\right)^{-1/2} \int_{h_{\Pi}^2}^{\infty} y^{-\frac{1}{2}} \exp\left(-\sqrt{\frac{2}{\Omega h_0^2}} y\right) dy.$$

Берілген интеграл $y=x^2$ айнымалыны түрлендіру нәтижесінде [6] сәйкес тең болады:

$$A = \Gamma\left(1, \sqrt{2} \frac{h_{\Pi}^2}{h_{01}^2}\right), \text{ мұндағы } h_{01}^2 = \Omega h_0^2. \quad (3.18)$$

[6] сәйкес толық емес гамма-функцияны қойып формуланы мына түрде (3.28) аламыз:

$$A = \exp\left(-\sqrt{2} \sqrt{\frac{h_{\Pi}^2}{h_{01}^2}}\right).$$

Берілген мәнді түрлендіру нәтижесінде қор коэффициенті тең болады:

$$K = \frac{h_0^2}{h_{\Pi}^2} = \frac{2}{\Omega} \frac{1}{\ln^2 A}. \quad (3.19)$$

$\sigma_2=3\text{дБ}$ жағдайында қисықтың ықтимал тығыздығы (3.9) формуламен сипатталады:

$$W_3(z) = \frac{2\sqrt{\pi}}{\Gamma(2.5)} \left(\frac{2.5}{\Omega}\right)^{3/2} \left(z^2 + z/2 \sqrt{\frac{2.5}{\Omega}}\right) \exp\left(-2\sqrt{\frac{2.5}{\Omega}} z\right).$$

$x=z^2$ қуаттың ықтимал тығыздығы сәйкесінше формуламен сипатталады:

$$W_3(x) = \frac{\sqrt{\pi}}{\Gamma(2.5)} \left(\frac{2.5}{\Omega}\right)^{3/2} \left(1 + 1/2 \sqrt{\frac{2.5}{\Omega}} x\right) x^{\frac{1}{2}} \exp\left(-2\sqrt{\frac{2.5}{\Omega}} x\right).$$

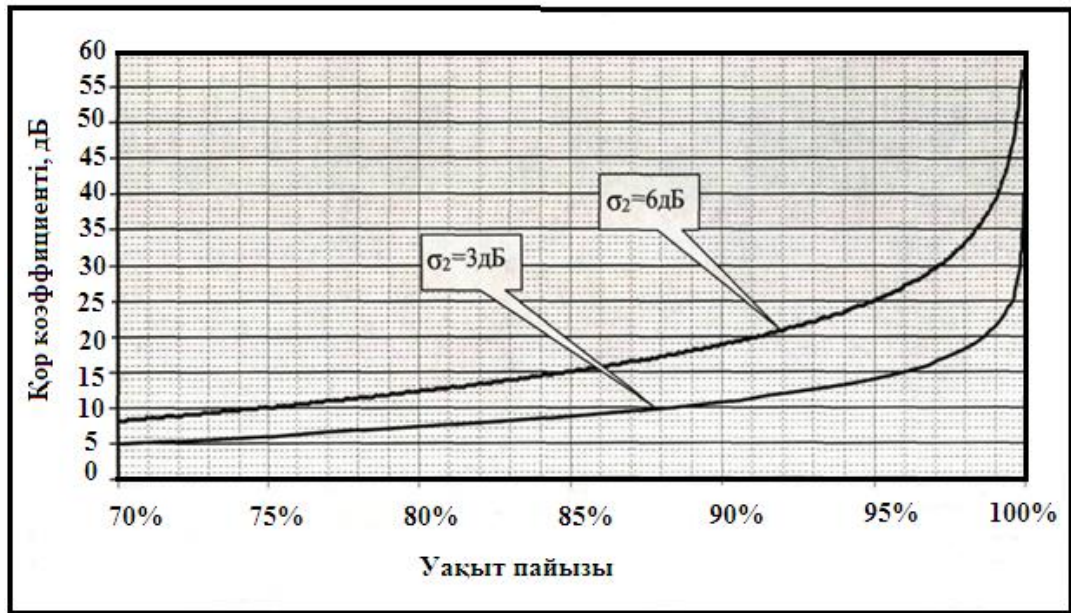
$h_2^2 = \mu^2$ h_0^2 формуласында $y=h_2^2$, $x=\mu^2$ деп белгілейміз, онда $y=xh_0^2$ кездейсоқ функцияның ықтимал тығыздығын белгілі $W_3(x)$ тығыздықта келесі түрде көрсетеміз :

$$W(y) = \frac{\sqrt{\pi}}{\Gamma(2.5)} \left(\frac{2.5}{h_{02}^2}\right)^{3/2} y^{\frac{1}{2}} \left(1 + 1/2 \sqrt{\frac{2.5}{h_{02}^2}} y\right) \exp\left(-2\sqrt{\frac{2.5}{h_{02}^2}} y\right).$$

мұндағы, $h_{02}^2 = \Omega h_0^2$

$W(y)$ мәнін қою нәтижесіндегі байланыс сенімділігі формуламен анықталады :

$$A = \frac{\sqrt{\pi}}{\Gamma(2.5)} \left(\frac{2.5}{h_{02}^2} \right)^{3/2} \int_{h_{\Pi}^2}^{\infty} y^{\frac{1}{2}} \left(1 + 1/2 \sqrt{\frac{2.5}{h_{02}^2}} y \right) \exp \left(-2 \sqrt{\frac{2.5}{h_{02}^2}} y \right) dy.$$



Сурет3.9- ($\sigma_2=10\text{дБ}$, $\sigma_2=6\text{дБ}$) жағдайларында қор коэффициентінің дБ-і байланыс сенімділігіне тәуелділігі

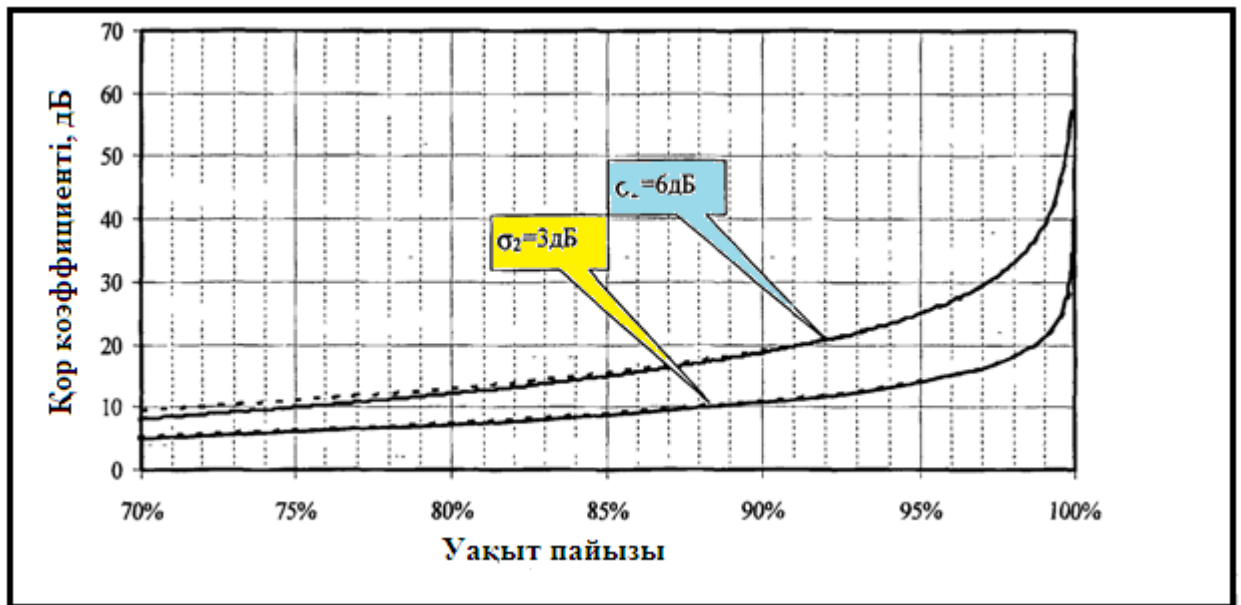
Берілген интеграл $y=x^2$ айнымалысын түрлендіру нәтижесінде кестелік интегралға келтіріледі:

$$A = \frac{\sqrt{\pi}}{\Gamma(2.5)} \left(\frac{2.5}{h_{02}^2} \right)^{3/2} \int_{h_{\Pi}^2}^{\infty} x^2 \exp \left(-2x \sqrt{\frac{2.5}{h_{02}^2}} \right) dx + \frac{\sqrt{\pi}}{\Gamma(2.5)} \left(\frac{2.5}{h_{02}^2} \right) \int_{h_{\Pi}^2}^{\infty} x \exp \left(-2x \sqrt{\frac{2.5}{h_{02}^2}} \right) dx,$$

ол [6] сәйкес тең болады:

$$A = \frac{\sqrt{\pi}}{\Gamma(2.5)} 4 \Gamma \left(3, 2 \sqrt{2.5 \frac{h_{\Pi}^2}{h_{02}^2}} \right) + \frac{\sqrt{\pi}}{\Gamma(2.5)} \Gamma \left(2, 2 \sqrt{2.5 \frac{h_{\Pi}^2}{h_{02}^2}} \right). \quad (3.20)$$

m – таралумен логкалыпты заңның аппроксимациясы кезінде $\sigma_2=3\text{дБ}$, $\sigma_2=6\text{дБ}$ жағдайында қор коэффициенті байланыс тәуелділігі 3.12-суретте келтірілген және 3.12-суретке сәйкесінше коэффициент есептеу нәтижелері мен қор коэффициентін есептеу нәтижелері 3.13-кестеде келтірілген. Салыстыру үшін 3.13-суретте $\sigma_2=6\text{дБ}$, $\tau_2=3\text{дБ}$ жағдайы үшін әртүрлі тынып қалу модельдеріндегі қор коэффициентінің тәуелділік графиктері келтірілген: бірінші түрдегі тынып қалу моделі (пунктирленген сызық), екінші түрдегі модельдеріне арналған (тегіс сызық).



Сурет3.10- Әртүрлі тынып қалу модельдерінің нәтижелерін салыстыру

3.8 Идеал және нақты синхронизацияда хабарды қабылдау сапасына тынып қалудың әсер етуінің имитационды модельдеу нәтижелері

ФМ үшін идеалды синхронизацияда сигналды қате қабылдау ықтималдығы [23] формуламен сипатталады. $p_{\text{ФМ}}=1-\Phi(\sqrt{2h^2})$, мұндағы, $\Phi(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \left(\exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) \right) dt$ – ықтималдылық интегралы.

Тасушы синхронизацияның нақты сұлбасында шуыл әсерінен қателік пайда болады, тірек тербелісінің фазасы θ қателіктің кездейсоқ шамасының қабылданатын сигналынан ерекшеленетін болады, оның ықтимал тығыздығы[61]:

$$W(\theta)=\frac{1}{2\pi I_0(D)} e^{D\cos\theta}, -\pi\leq\theta\leq\pi,$$

мұндағы, $D=\frac{2E}{N_0}$ фазалы синхронизация сұлбасы кірісіндегі сигнал/шуылқатынасына тәуелді параметр; $I_0(D)$ – 0-ші ретті Бессель функциясы.

Нақты синхронизация кезінде символдық қате қабылдау ықтималдығы кездейсоқ болады және $p_{\text{ФМ}}(\theta, h^2)=1-\Phi(\sqrt{2h^2\cos\theta})$ формуламен сипатталып, бөгеулікке орнықтылық мәні ретінде қолданыла алады. ТСС әсер етуімен радиожүйелердегі бөгеулікке орнықтылықты сипаттауға арналған әртүрлі

көрсеткіштер арасынан қателіктің орташа ықтималдылығы жеткілікті жиі қолданылады, келесі түрлену нәтижесінде анықталады:

$$p = \int_{-\pi}^{\pi} p_{\text{ФМ}}(\theta, h^2) W(\theta) d\theta.$$

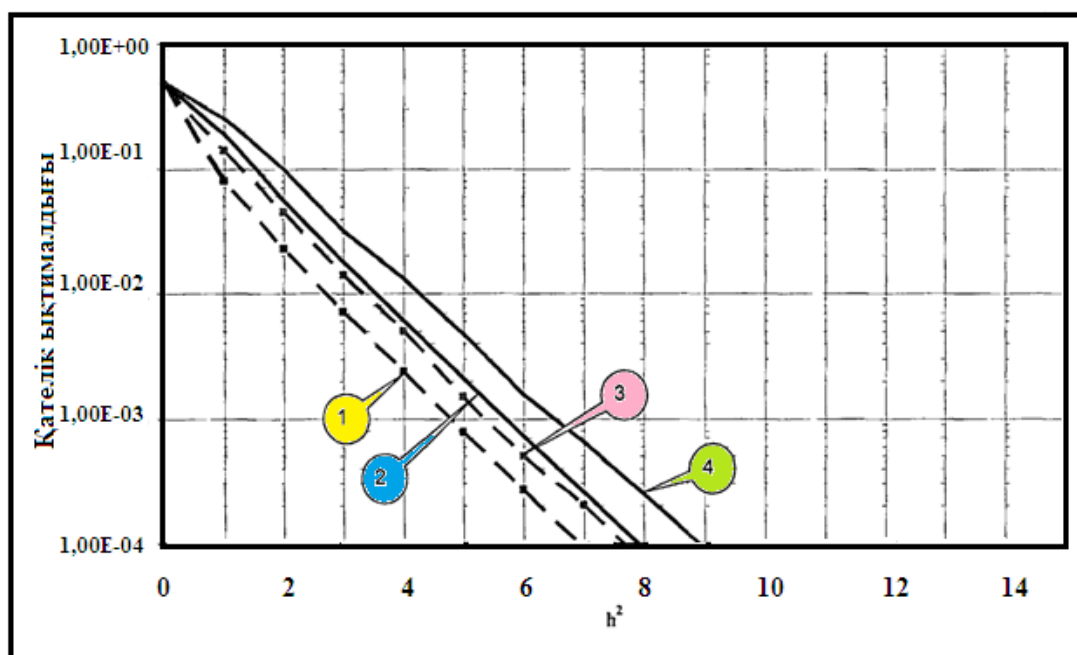
Келтірілген қателіктің орташа ықтималдылық формуласы жалпы мән келесі түрге келтіріледі[23]:

$$p = 1 - \frac{1}{2\pi I_0(D)} \int_{-\pi}^{\pi} \Phi(\sqrt{2h^2 \cos \theta}) e^{D \cos \theta} d\theta.$$

Модельдеу мен есептеу формулаларының нәтижелерінің айырмашылығы – модельде ОФМ сигнал қолдануымен түсіндіріледі және ОФМ үшін идеал синхронизацияда қате символды қабылдау ықтималдылығы формуламен сипатталады [26]:

$$p_{\text{ОФМ}} \approx 2p_{\text{ФМ}}.$$

3.18-суретте ақпаратты тарату жүйесін модельдеу нәтижелерінің графиктері мен есептеу графиктері келтірілген.

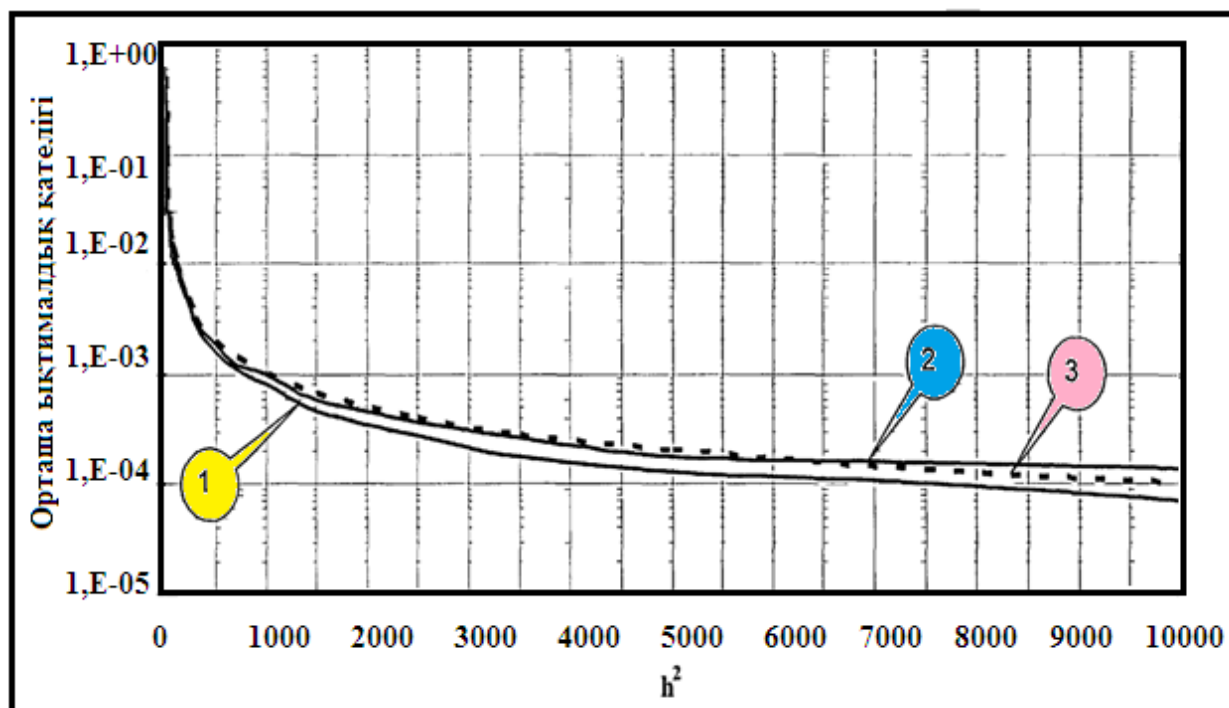


- 1 – идеал синхронизацияда ФМ сигналдарының есептеу графиктері.
- 2 – тасушы және идеал тактілі синхронизацияның нақты жағдайында ФМ сигналының есептеу графиктері.
- 3 – идеал синхронизацияда ҚФМ сигналын қабылдауды модельдеу нәтижелері мен ақпараттық арнаға ақ гаусс шуылы әсерінен алынған график.
- 4 – синхронизация жүйесінде және ақпараттық арнада ақ гаустық шуылдың әсер ету кезінде ҚФМ сигналдарын қабылдауды моделдеу нәтижесінде алынған график.

Сурет 3.11-Ақпаратты тарату жүйесін модельдеу нәтижелерінің графиктері

Келесі жағдайларда модельде ақпараттық арна мен синхронизациялау арнасына тынып қалулар әсері қарастырылады:

- тынып қалу корреляциясының интервалы бойынша ақпараттық символ ұзақтығынан 10 есе артық болады, ол тынып қалуды жалпы деп есептеуге мүмкіндік береді;
- қателіктің орташа ықтималдылығы модельге ақпараттық 2000000 символ өткенде есептелінеді, ол қателіктің пайда болу жиілікті өлшеудің рұқсат етілген қателігін қамтамасыз етеді.



- 1 – идеал синхронизация мен ақпараттық арнаға ақ гаусс шуыл мен тынып қалу әсері кезінде ОФМ сигналын қабылдауды модельдеу нәтижесінде алынған график.
- 2 – ақпараттық арна мен синхронизацияның ішкі жүйесіне ақ гаусс шуылының әсерінде ОФМ сигналын қабылдауды модельдеу нәтижесінде алынған график.
- 3 – идеал синхронизация мен жалпы тынып қалулар кезіндегі $p=1/h^2$ есептеу графигі.

Сурет3.12-Модельдеу нәтижелері

Имитационды модельдеу нәтижесінің сенімділігін бағалау үшін 3.19-суретте жалпы релеевті тынып қалу жағдайы үшін аналитикалық түрде алынған [26], қателіктің орташа ықтималдылық тәуелділігі $p_{\text{ОФМ}}=1/h^2$ келтірілген. Келтірілген графиктерден орташа ықтималдылық қателігін $p=10^{-4}$ алу үшін энергия сигналының шуылдық спектральды тығыздығына $h^2=38,75\text{дБ}$ қатынасы қажет. Тасушы синхронизацияның сұлбасын шуыл жолағымен ақпараттық арна мен синхронизацияның ішкі жүйесіне релеевті тынып қалулар мен шуыл әсері жағдайында $\Delta f=\frac{R}{10}$, $p=10^{-4}$ қателік ықтималдылығына жету үшін таңдалатын шартында сигнал/шуылдың $h^2=40,6\text{дБ}$ қатынасы қажет h^2

щамасының артуының орнын толтыру үшін тасушы синхронизацияның сұлбасының шуыл жолағы $\Delta f_{ш} = \frac{R}{35}$ шартынан таңдалуы керек.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бірінші бөлімде қазіргі мобильді байланысқа шолу мен оның әлемдегі даму мүмкіндіктері көрсетілді. Ұялы мобильді байланыс жүйесінің сипаттамалары, құру принциптері, жиіліктердің қайта қолданылу модельдері, жүздіктердің секторизациясы мен функционалдануы қарастырылды. Бұл жүйелердің архитектуралары, хаттамалары мен жұмыстың негізгі алгоритмдері (тіркеу, хендовер, одетификация және тағы басқа) келтірілді.

Берілген бөлімде қабылдағыш кірісінде сигналдың қалыптасу ерекшеліктері қарастырылған. Ұзақтылыққа, антенна биіктігіне байланысты әртүрлі жиіліктерде өріс кернеулігінен тәжірибелік өлшеулерді қолданып, оның өшу нәтижесінде сигнал әлсізденуін бағалауға мүмкіндік беретін тәуелділіктер алынды. Кідіріс интервалдарының статистикалық сипаттамалары мен тәжірибелік мәндері келтірілген және қаладағы кідірістердің орташа мәні 1,5-2,5 мкс және елді мекенде 0,1-2,0 мкс құрайтыны көрсетілді. Сигналдың тынып қалу жағдайының жылдам және баяу статистикалық сипаттамалары келтірілді. Жылдам тынып қалудың тығыздық ықтималдығының таралу трассасын тәуелділігі Релея мен Райс заңынан тұратын әртүрлі функциялармен сипатталады. Диапазонның доплерлі ығысу жиілігімен тәжірибелік мәндер үшін тынып қалу интервалының 80 кГц құрайтын когеренттілік жолағының бағалануы мен ақпарат таралуының рұқсат етілген жылдамдығын бағалауға мүмкіндік беретін 1мс уақыт бойынша корреляция интервалы берілді. Тынып қалу жағдайында мобильді байланыстың радиожүйелерінде ақпаратты тарату жылдамдығы мен бөгеулікке тұрақтылықты арттыру әдістері қарастырылған.

Есептеу барысында, радиосигнал тынып қалуының математикалық моделідері тұрғызылды, жылдам және баяу тынып қалу есебімен қисықтың тығыздық ықтималдығы, жылдам және баяу тынып қалу жағдайының тығыздық ықтималдығының тәжірибелік функциясы үшін қисық сигналдың ықтимал тығыздығы есептелінді. Жылдам және баяу тынып қалуда арналардағы байланыс сенімділігіне талдау жасалынды. Идеал және нақты синхронизацияда хабарды қабылдау сапасына тынып қалудың әсер етуінің имитационды модельдеу нәтижелері Matlab бағдарламасында жүзеге асырылды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

- 1 Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Никитин А.Н., Сивере М.А. Системы связи с м-разделением сигналов.-СПб.:ГУТ, 1999.
- 2 Касимов А.О., Берікбайқызы А. «Жылдам және баяу тынып калу жағдайындағы ұялы мобильді радиобайланыс жүйелерінің радиожолдарындағы бөгеулікке орнықтылығы» КазНТУ Вестник, шілде-тамыз 2012.
- 3 Весоловский К. Системы подвижной радиосвязи /Под ред. А.И. Ледовского. – М.: Горячая линия-телеком, 2006.
- 4 Громаков Ю. А. 3-е поколение – динамика // Мобильные системы, - 2000, - №3.
- 5 Диторо М. Связь в средах с рассеянием во времени и по частоте при использовании адаптивной компенсации // ТИИЭР. – 1968, - №10.
- 6 Корсунский Л. Н. Распространение радиоволн при самолетной радиосвязи. – М.: Радио, 1965.
- 7 Ламекин В. Ф. Сотовая связь. – Ростов –на-Дону: Феникс, 1997.
- 8 Мардер Н.С. Основные тенденции развития архитектуры сетей связи GSM в Российской Федерации – М.: Электросвязь, 2003, - №2.
- 9 Нездяев Л.М. Мобильная связь 3-го поколения . – М.: Связь и Бизнес, 2000.
- 10 Пышкин И.М. Системы подвижной радиосвязи. – М.: Радио и связь, 1986.
- 11 Тепляков И.М. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей / ЭТ, 2003.
- 12 Тихинов В.И. Статическая радиотехника. – М.: Сов. Радио, 1966.
- 13 Уильям К. Ли Техника подвижных систем связи. –М.: Радио и связь, 1985.
- 14 Фомин А.И., Сердюков П., Межевич В.В. Оценка вероятности ошибки при оптимальном некогерентном приеме двоичных сигналов в многолучевом анале // Радиотехника, 1984, - №8.
- 15 Mohr W. «Impact of the ACTS Frames Project on the International Standardization of the UMTS Radio Interface». 5-й Бизнес-Форум «Мобильные системы-2000», Т.2. марта, М., 2000.
- 16 Берналд С. Цифровая связь (Теоретические основы и практическое применение). Изд.дом Вильямс. 2003.