

+



**Коммерциялық емес
акционерлік қоғамы**

**АЛМАТЫ
ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ
БАЙЛАНЫС
УНИВЕСИТЕТІ**

Телекоммуникациялы
жүйелер кафедрасы

СЫМСЫЗ БАЙЛАНЫС ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар
мамандығына арналған есептер жинағы

Алматы 2014

Құрастырушылар: Данько Е.Т. Шугайып У. Сымсыз байланыс технологиялары: 5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар мамандығына арналған есептер жинағы – Алматы: АЭЖБУ, 2014. – 25 б.

Бұл есептер жинағында Сымсыз байланыс технологиялары мәліметтері қарастырылған. Сымсыз байланыс технологияларының негізгі есептік теорияларын оқығаннан кейінгі білуге қажетті барлық есептер қамтылған.

Без . – 5, әдеб.көрсеткіші. – 15 атау.

Пікір беруші: Қалиева С.А.

«Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының 2014 жылғы жоспары бойынша басылады.

© «Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ, 2014 ж.

Мазмұны

Кіріспе	
1.1 Өлшеу шамасының диапазоны	5
1.2 Децибел ұғымы	5
2 Байланыс арнасы	8
2.1 Антенна	8
2.2 Байланыс арнасының өткізу қабілетін есептеу	9
3 Сымсыз жылжымалы радиобайланыс жүйесін есептеу	11
3.1 Ортақ арнаны қайталаудың коэффициенттерін анықтау және жиіліктерді қайта қолдану	11
4 Сигналдың тарату шығынын есептеу	17
4.1 Бос кеңістіктегі сигналдың таралуы кезіндегі шығындарын есептеу	17
5 Сымсыз локальді желіні есептеу	19
5.1 Қабылдағыш және таратқыштың арасындағы арақашықтықты есептеу	19
5.2 Френель зонасын есептеу	22
5.3 Сымсыз күре жолдың энергетикалық бюджеттегі есебі	24
6 Ұялы байланыс жүйесінің сенімділігін бағалау	26
Әдебиеттер тізімі	28

Кіріспе

Жана ғасырда коммуникация дами бастады, біз сымсыз құрылғыларды ұялы телефондармен практика жүзінде жақсы таныстық. Қазіргі есептер жинақтарын түсіндіру, сонымен қатар облыстарда динамикалық байланыстар сымсыз жүйелер арқылы дамуда.

Осы әдістемелік есептер жинағындағы жұмыста сымсыз байланыстың ұялы жүйелерінің жалпы қағидалары және физикалық көрінісі, тарату кезіндегі сигналдың әлсіреуі қарастырылады. Маңызды модельдерге талдау жасалады, радиотолқындардың таратуының нақты шарттарында пайдаланылады.

Қазіргі уақытта тәжірибелік статистикалық мәліметтерге қарағанда өшу сигналы әртүрлі шарттарға байланысты.

Әртүрлі эмпирикалық және жартылай эмпирикалық қажетті моделдерді суреттеу болжамдардың барлығын көрсету және қуат таратқыш кезіндегі төзімді радиобайланыс болмағандығын, антеннаның биіктікке көтерілуі, пункттер арасындағы арақашықтық және қалалық зәулім ғимараттарының параметрлерін сипаттайды.

Бұл өлшем бірліктер қазіргі уақытта қуаттың деңгейлері, кернеу, ток күші және басқа да физикалық шамаларды есептеу үшін пайдаланылады.

Транзистор, сигналды күшейтуі мүмкін, сонымен қатар кернеудің, тоқтың және қуаттың амплитудасы үлкейеді. Байланыс сызығында сигналдың таралуы ток пен қуатқа байланысты. Талдап қарасақ 3 дБ-ға жоғарылауы қуаттың екі есе үлкейгендігін білдіреді.

Сымсыз ұялы байланыс жүйелерінде, практикада іс жүзінде әрқашанда қуат сигналы болады.

Қазіргі ұялы байланыс жүйелерінде антеннаның әр түрі тараған.

Антенналардың бағытталуының қасиетінің сапасы бойынша бағытталушылық пайдалы іс-әрекет коэффициенті және де антенналардың күшейткіш коэффициенті пайдаланылады.

Тапсырманы шешкенде, таратқыштың үлкейуіне, өткізу қабілетінің төмендеуіне назар аудару. Онда қабылдағыштағы қуат сигналы да төмендейді. Бұл сымсыз байланыс жүйесін жобалағанда ескерілмейді.

1.1 Өлшеу шамасының диапазоны

Әртүрлі телекоммуникациялық жүйелерде жеткілікті, көптеген физикалық шамалар пайдаланылады. Бұл физикалық шамаларға жиілік, толқын ұзындығы, кернеу, қуат және т.б. жатады.

Маңыздылығы, бұл физикалық шамалар үлкен диапазонды қажет етеді.

Осындай электромагниттік толқын ұзындығы жүз километрден жүз нанометрге дейін, ал қуат-мегаваттан нановатқа дейін жиілік-бір герцтен терагерцке дейін өзгереді. 1.1 кестеде өлшем бірліктердің мағынасы көрсетілген, бұны жақсы меңгеріп алу керек. Бұл кесте студенттерге физикалық шамаларды салыстыру үшін, есептік және тәжірибелік нәтижесін анықтау үшін көмектеседі.

1.1 кесте - Өлшем бірліктердің мағынасы

Атауы	Пико	Нано	микро	милли	Кило	мега	гига	Тера	Пета
Белгіленуі	П	Н	Мк	М	К	М	Г	Т	П
Көбейткіш	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^3	10^6	10^9	10^{12}	10^{15}

1.2 Децибел ұғымы

Телекоммуникациялық жүйелерде өлшем бірліктер өте маңызды кең пайдаланылады, жалпы алғанда күшейткіш және өшу сигналы бүтін жүйелерде децибел ұғымы қолданылады.

Бұл өлшем бірлікті енгізген Александр Грэхем Белл. Бұл бірлікті «бел» деп атаған. Жүзден бір бела – бұл децибелл болады. Автор өлшем үшін дыбыс күшін енгізді.

Бұл өлшем бірліктер қазіргі уақытта қуаттың деңгейлері, кернеу, ток күші және басқа да физикалық шамаларды есептеу үшін пайдаланылады.

Транзистор, мысалы сигналды күшейтуі мүмкін, сонымен қатар кернеудің, ток және қуаттың амплитудасы үлкейеді. Бұл үлкейю күшейткіш деп аталады. Аналогты түрде өшу еселігі - бұл кернеудің азаюы, байланыс сызығында сигналдың таралуы ток пен қуатқа байланысты.

Адамның құлағы маңызды жағдайда дыбыс күшін қабылдайды. Осылай адамның құлағы дауысты 100 ваттпен салыстырғанда 10 ватты 2 реттен ести алады. (бірақ 10 реттен емес). Дыбыс күшінің өсуі шамамен бір децибел болады.

Маңызды теңестіру, шамаларды есептеу төменде көрсетілген:

$$dBU = 20\log_{10}(U_2/U_1); dBI = 20\log_{10}(I_2/I_1); dBP = 10\log_{10}(P_2/P_1), \quad (1.1)$$

мұндағы: U - кернеу, I - ток және P – қуат;

P_1, U_1, I_1 – бастапқы жағдай;

P_2, U_2, I_2 – соңғы жағдай.

Децибел мұндай жағдайда екі кернеудің қатынасымен, тоқ күші және қуатпен сипатталады. Бұл жағдайда кернеу мен тоқтың қатынасы жағдайында 20 логарифмге көбейтіледі, ал қуатта 10 логарифмге көбейтіледі.

Децибел ортақ ережені түсініп алуға көмектеседі.

Қуат шығынын өлшегенде 3 дБ, бұл қуаттың 50%-ке төмендегенін білдіреді, егер бастапқы қуат 1 мВт болса, онда соңғысы 0,5 мВт-қа тең болады.

Талдап қарасақ, 3 дБ-ға жоғарылауы қуаттың екі есе үлкейгендігін білдіреді, 1мВт, 2 мВт-қа айналады. Кернеу және тоқтың екі есе үлкейуі немесе кішірейуі үшін 6 дБ-ға өзгеруі болып жатады, жоғарғы теңдіктен көрініп тұрғандай, кернеу және тоқ коэффициенті 10-ға емес, 20-ға тең.

Қуат шығыны (өшу еселігі) децибелда теріс мағынамен білдіріледі. Сымсыз ұялы байланыс жүйелерінде, практикада іс жүзінде әрқашанда қуат сигналы болады.

1.2.1 тапсырма.

Әрбір нұсқада сынақ кітапшасының соңғы номері бойынша белгісіз шамаларды есептеу. Бұл шаманың өзгерісін анықтау

1.2 кесте - Бастапқы мәліметтер

Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
P , дБ	20	?	10	?	15	?	25	?	5	?
P_1 , мВт	1	3	?	10	15	5	?	15	2	5
P_2 , мВт	?	15	50	20	?	50	150	75	?	15

Есептің мысалы:

$P = 16$ дБ; $P_1 = 5$ мВт; табу керек P_2 , ? мВт;

$dBP = 10\log_{10}(P_2/P_1)$;

$10\log_{10}(P_2/5) = 16$;

$\log_{10}(P_2/5) = 1.6$;

$P_2/5 = 10^{1.6}$;

$P_2/5 = 39.8$;

$P_2 = 199$ мВт.

Қуат күшейткіші 16 дБ, сонда қуаттың 40 есе үлкеюін көрсетеді.

1.2.2 тапсырма.

Әрбір нұсқада сынақ кітапшасының соңғы номері бойынша белгісіз шамаларды есептеу. Бұл шаманың өзгерісін анықтау. L-қуат сигналының шығыны %

1.3 кесте – Бастапқы мәліметтер

Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
P , дБ	-6	?	-10	?	-3	?	-30	-40	?	-25

$P_1, мВт$	10	15	?	100	15	50	?	5	27	?
$P_2, мВт$?	3	50	20	?	5	15	?	3	18
$L, \%$?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

Есептің мысалы:

$P_1 = 5$ мВт; $L = 75\%$. Табу керек P_2 , мВт және P , дБ;

L – қуаттың шығыны, %;

$100 - 75 = 25\%$ қалған қуат;

$P_2 = 5 \cdot 0.25 = 1.25$ мВт;

$dBP = 10 \log_{10}(P_2/P_1)$;

$10 \log_{10}(1.25/5) = -6$ дБ.

Кейде өшу және күшейткіш сигналын анықтау үшін тұрақты қуат P_1 қолданылады. Сымсыз байланыс жүйелерінде бұл шама әдетте 1милливатқа тең болады.

$$dBP = 10 \log_{10}(P_2/1). \quad (1.2)$$

дБм (dBm) децибелланы білдіреді. дБм бірлігі инженерлер мен техниктерде жиі кездеседі.

1.2.3 тапсырма.

Әрбір нұсқада сынақ кітапшасының соңғы саны бойынша белгісіз шамаларды есептеу. Осы шаманың өзгерісін анықтау.

1.4 кесте – Бастапқы мәліметтер

Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
P , дБм	?	7	?	0	?	-40	?	-3	?	-13
P_2 , Вт	10мВт	?	1мкВт	?	10мкВт	?	10нВт	?	100нВт	?

Есептің мысалы:

Қуат пен бірліктің дБм қатынасы

1. $P_2 = 100$ мкВт, тап P . дБм;

$dBP = 10 \log_{10}(P_2/1)$;

$10 \log_{10}(100 \cdot 10^{-3}/1) = -10$ дБм;

2. $P = -60$ дБм, тап P_2 ;

$dBP = 10 \log_{10}(P_2/1)$;

$10 \log_{10}(P_2/1) = -60$;

$\log_{10}(P_2/1) = -6$;

$(P_2/1) = 10^{-6}$;

$P_2 = 10^{-9}$, алымы 1мВт (10^{-3}), жауап – 1нВт.

2 Байланыс арнасы

Байланыс арнасы байланыс жүйелерімен, ақпарат көзімен қосылады, кодалаудың және модельдеудің құрылғысы, жіберу құрылғысы, қабылдау құрылғысына ақпаратты қайта өңдеп, ақпаратты алушыға жібереді. Бұл жұмыста физикалық арна атмосферадағы сигналдың таратуымен түсіндіріледі. Байланыс арнасы бюджет арнасына қосылады. Энергия жүйесінің шығынын есептеу және физикалық процестермен байланысты.

Бюджет-бұл әдіс бағасы, қазіргі байланыс жүйесіндегі ақпаратты жіберудің сапасын анықтап көрсетеді.

2.1 Антенна

Антенна бірден-бір жіберу немесе қабылдау элементтерінің маңызды модулі. Қазіргі ұялы байланыс жүйелерінде антеннаның түрлері кең кездеседі: дипольді, айналы, рупорлы, азжолақты, интеллектуалды. Smart-антенна, антенна торынан, жартылай толқынды вибраторлар және басқа да көптеген құрылғылардан тұрады.

Жіберу антеннаның қарапайым моделінің сапасы, радиоарнаға анализ жасау кезінде кездеседі, изотропты шығарғыш – идеалды антенна, электромагниттік толқындарды барлық жағдайда шығарады. Шынайы антенна үшін бос кеңістікте қуат шығарғышы тең болмаумен сипатталады, диаграмма бағытымен анықталады.

Антенналардың бағытталуының қасиетінің сапасы бойынша бағытталушылық іс-әрекетінің коэффициенті, және де антенналардың күшейткіш коэффициенттерін пайдаланылады.

Күшейткіш коэффициенті (G) дегеніміз – антенналарға жүргізілген қуаттар тепе-теңдік шартындағы денелік бұрыш бірлігіне жатқызылған изотропты антеннаның тарату қуатынан берілген бағыттағы антеннаның тарату қуатының қанша есе артық екендігін көрсетуі.

Антеннаның пайдалы әсер коэффициенті - антеннаның сәуле шығарғыш қуатының сол қуатқа қатынасы.

$$\frac{P_t}{4\pi r^2} = S(r), \quad (2.1)$$

мұндағы : $S(r)$ – қуат тығыздығының арақашықтықтардағы r , Вт/км;

P_t – қуат шығарғыштығы, Вт;

r –антеннаның қабылдағыш нүктесіне дейінгі арақашықтық, км.

Эффективті антенна шекарасының күшейткіш коэффициенті келесі формуламен анықталады:

$$\frac{\lambda^2}{4\pi} G = A, \quad (2.2)$$

мұндағы: λ – толқын ұзындығы, мкм.

$$\frac{P_t \cdot A}{4\pi r^2} = A \cdot S(r) = P_r, \quad (2.3)$$

мұндағы: P_r – қабылдағышқа дейінгі қуат сигналы, Вт.

2.1 кесте - Антеннаның бірнеше түрлері

Антенналардың түрлері	Тиімді аудан, м ²	Күшейткіш коэффициенті, дБ
Изотропты дыбыс таратушы	$\lambda^2/4\pi$	1.0
Элементарлы диполь	$1.5\lambda^2/4\pi$	1.5
Жартылайтолқынды диполь	$1.64\lambda^2/4\pi$	1.64
Рупорлы антенна	A 81.0	$10 A/\lambda^2$
Рупорлы	0.56A	$7A/\lambda^2$
Турникетті	$1.15\lambda^2/4\pi$	1.15

Тапсырма:

1) Айналық антеннаның күшейткіш коэффициентін есептеу, изотропты сәуле шығарғыштығы біркелкі, егер таратқыш сигналдың жиілігі 12 ГГц болса.

2) Таратқыш және қабылдағыштың арасындағы арақашықтықты есептеу, егер қабылдағыштағы қуат сигналы үш рет төмендесе, элементарлы дипольдің жиілігі 5 ГГц сигналға жіберіледі.

3) Қуат сигналының қабылдануын есептеу, жартылай толқынды дипольдің жиілігі 450 МГц, арақашықтығы 3.2 км қуат таратқышының шығысына 25 Вт жібереді.

4) Рупорлі антеннаның күшейткіш коэффициентін есептеу, жартылай толқын диполі біркелкі, егер таратқыш сигналының жиілігі 2 ГГц болса.

5) Қабылдағыш және таратқыш арасындағы арақашықтықты есептеу, егер қабылдау нүктесіндегі сигналдың қуат шығыны 50% болса, онда сигнал барлық бағыттағы антенналарға 150 МГц жиілікте сигнал жібереді.

2.2 Байланыс арнасының өткізу қабілетін есептеу

Байланыс арнасының өткізуі сымсыз жүйелерде максималды жылдамдықты беру үшін анықтайды. Өткізу қабілеті (кбит/с, Мбит/с, Гбит/с) өлшенеді.

Абсолютті түсінікті кодтау сигналындағы жиілік жоғары болса, байланыс арнасының өткізуі көп болады. Өткізу арнасы жоғары болады.

Өткізу қабілеті Шеннон-Хартли заңымен анықталады, өткізгіштік қабілетін анықтау үшін мүмкін болатын өткізгіштік қабілеті, өткізу аймағын және сигнал қуаты мен кедергі қуатының қатынасын байланыстыратын Шеннон-Хартли заңы қолданылады.

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_n} \right), \quad (2.4)$$

мұндағы: C – байланыс арнасының өткізу қабілеті, бит/с;

B – өткізу қабілетінің кеңдігі, Гц;

P_s – қуат сигналы, дБ;

P_n – қуат бөгеуілі, дБ;

P_s/P_n қатынасы (γ) тұрақты шамамен анықталады.

$$\gamma = P_s / N_0 B, \quad (2.5)$$

$N_0/2$ – қуат дабылының спектральді тығыздығы (PSD²), Вт/Гц.

Арнаның өткізу қабілетінің жоғарылауы кең жолақты сигналдарға пайдалану және дабылда жоғарылауы керек.

Тапсырманы шешкенде, таратқыштың үлкейуіне, өткізу қабілетінің төмендеуіне назар аудару керек, онда қабылдағыштағы қуат сигналы да төмендейді. Бұл сымсыз байланыс жүйесін жобалағанда ескерілмейді.

Тапсырмалар:

1) Тональді жиіліктегі телефон арнасының өткізу қабілетін есептеу максималды кезіндегі өткізу жолағы 3.1 кГц және дабыл сигналының арақатынасы 30 дБ-ға тең.

2) Қандай жағдайда өткізу қабілеті жоғары болады: тасымалдаушы жиілігі 2.4 ГГц, өткізу жолағының кеңдігі 21 МГц немесе тасымалдаушы 5 ГГц және өткізу жолағы 10 МГц? SNR (signal to noise ratio) екі жағдайда бірдей және 20 дБ-ға тең.

3) Арнаның өткізу қабілетін есептеу керек, жүзеге асыру кезіндегі таратқыш 1 км, егер өткізу жолағы 45 кГц, қабылдағыштағы қуат сигналы 15 Вт, спектральді тығыздық қуаты гаусстық дабыл (N_0) 10^{-9} Вт/Гц тең.

4) 2 жүйе үшін сымсыз байланыстардағы максималды таратқыш жылдамдығын салыстыру керек: өткізу жолағының кеңдігі 30 кГц, SNR 17 дБ-ға тең және өткізу жолағы 3.0 кГц, мұндағы SNR 17 дБ-ға тең.

5) Сымсыз жылжымалы байланыстардағы микросоталық құрылыс жүйелері үшін арнаның өткізу қабілетін есептеу керек, өткізу жолағының кеңдігі 200 кГц, бөгеуіл 19 дБ-ға тең

6) Өткізу қабілетінің арнасындағы ең ақырғы мәнін есептеу керек, шексіз өткізу қабілеті кезінде ($B \rightarrow \infty$), P функциясы тәрізді, 2.4 және 2.5 формуласы пайдаланылады.

7) Аддитивті өткізу қабілетінің арнасы 50 МГц, қабылдау сипаттамасындағы қуат 50 МГц, спектральді тығыздық қуаты (N_0) $2 \cdot 10^{-9}$ Вт/Гц. Өткізу қабілетіндегі қабылдау қуаты қанша есе үлкейеді? 2 рет өткізу жолағының кішірейуі кезінде өткізу қабілеті қаншалықты өзгереді?

8) Бір уақытта 2 абонент таратқыштан аддитивті гаусс шумы арнаға 1 қабылдағыш жібереді. Бұл жағдай ұялы байланыс жүйелері үшін белгілі бір типте, бір уақытта көп абонент базалық станцияға сигналды жібереді. Ең алдымен қабылдағыш бірінші абонент сигналды декодтайды, бұл сигнал кезінде екіншісі шудың сапасы алға жылжиды. Қуат сигналы екі абонент үшін бірдей және 10 мВт-қа тең, ал қабылдағыштағы ортақ шу міндетті жиілік диапазонында 1 мВт. Әр пайдаланушы үшін өткізу жолағы 20 МГц Қандай кезде өткізу қабілетінің арнасы, бірінші абонентте қосымша жаңғыра бастайды?

9) 9 тапсырмадағы жағдайды жалғастырамыз. Бірінші абоненттегі декодтау сигналынан кейін кодтайтын құрылғы тағы да кодталады және қабылдау сигналында оқылады. Екінші абонент арнасы үшін Шеннон өткізу қабілеті қандай жағдайда болады?

Есептің мысалы:

Арнаның өткізу қабілеті 30 кГц, спектральді қуат тығыздығындағы гаусс $N_0/2$ -ге тең, мұндағы N_0 - 10^{-9} Вт/Гцке тең.

Бұл арнаның өткізу қабілетін анықтау керек, қуаттың жіберілуі 1 ваттқа тең, ал таратқыш және қабылдағыш арасындағы арақашықтығы 100 м.

Сымсыз арнада қуат сигналының төмендеуі қабылдағыш арасындағы арақашықтығы былай анықталады:

$$P_r(d) = P_t(d_0/d)^3, \quad (2.6)$$

мұндағы: $d_0 = 10$ м – таратқыш және қабылдағыш арасындағы минимальді стандартты арақашықтық (сымсыз локальді жүйе үшін)

$$P_r(d) = 1(10/100)^3 = 0.1^3$$

$$\gamma = 0.1^3 / (10^{-9} \cdot 30 \cdot 10^3) = 33 \text{ Вт, т.е. } 15 \text{ дБ.}$$

$$\text{Онда өткізу қабілеті } C = 30 \cdot 10^3 \log_2(1+33) = 152.6 \text{ кбит/с.}$$

3 Сымсыз жылжымалы радиобайланыс жүйесін есептеу

3.1 Ортақ арнаны қайталаудың коэффициенттерін анықтау және жиіліктерді қайта қолдану

Сымсыз жылжымалы ұялы жүйелер байланыстарының ортаңғы жүйесінде көшбасшы жағдайында тұрды. Ұялы байланыс жүйелерінің негізгі қағидалары жиіліктерді қайта қолдануды ұйымдастыру.

Бас территория сота деп аталатын зонада бөлінеді. Орталық сотада базалық станция орналастырылады және бұл аумақтарда іске асырылады. Базалық

станция көрші сотамен әртүрлі жиілік арналарында жұмыс істейді және бірнеше жиілік арналарында қайталады.

Бұл жалпы жиілік жолағында, шектеулі түрде қазіргі жүйедегі үлкен зонаны және абоненттік жүйенің көлемін жоғарылатуды қамтиды.

Сота құрамы әртүрлі жиіліктерде кластер деп аталынады.

Кластердің минимальді өлшемі үшке тең, практикада кластердің өлшемі он беске жетеді, жеті элементті кластер жиі пайдаланылады.

Қорғаныс интервалы (D) - базалық станцияның арасындағы арақашықтық, біркелкі жиіліктерде жұмыс істейді және r -радиус мынадай қатынаспен байланысты:

$$q = \frac{D}{r} . \quad (3.1)$$

Мұндағы: q – ортақ арна қайталанудың коэффициенті.

Аралас базалық станция әртүрлі жиілік арналарында C станциясында пайда болады. Егер базалық станция N арнасынан ажыратылса, жолақ кеңдігінде F_k болса, онда барлық жалпы жолақ кеңдігі қазіргі жүйемен айналып, құралады:

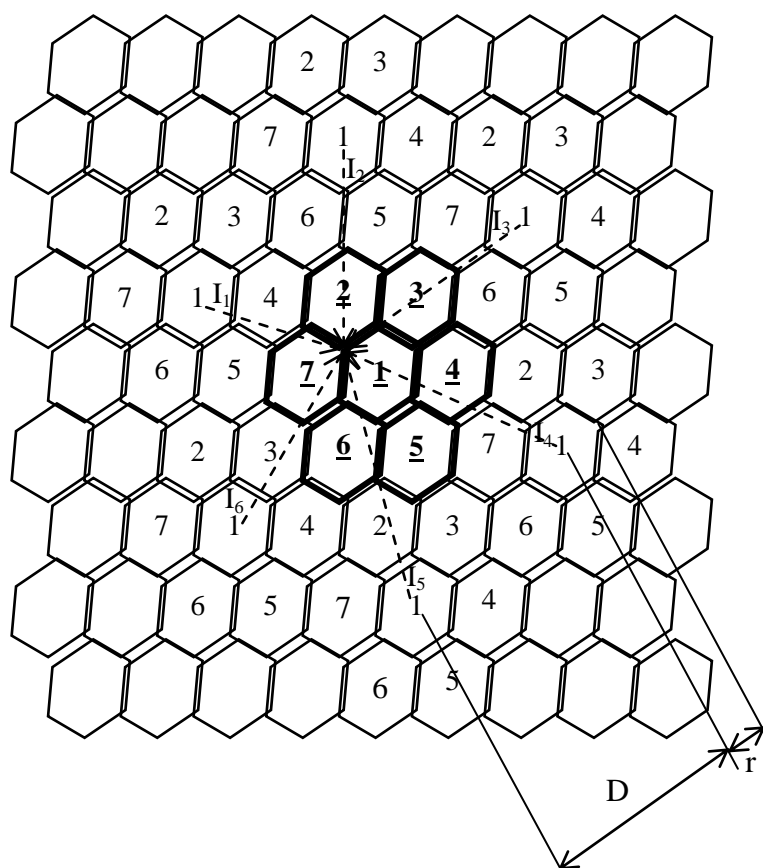
$$F_c = F_k N C. \quad (3.2)$$

Мұндағы: F_c – жиілік диапазонының кеңдігі, Гц.

Байланыс арналар саны былай анықталады:

$$N = \frac{1}{C} \frac{F_c}{F_k}. \quad (3.3)$$

Мұндай жағдайда C шамасы жүйедегі минимальді арналар санымен анықталады және бұл жиіліктің қайталануы деп аталады.



1 сурет – Жеті элементті кластер үшін жиіліктің қайталану моделі

Мысалы, егер кластерде 7 сота және олар жиілік диапазонында бөлінсе, онда әр сотаның 1/7 бөлігі жалпы жиілік диапазонына бөлінеді. Егер бірінші сайттың 3-ші сотасы екінші сайттың 3-ші сотасымен сәйкес келсе онда кластерде (суретте 7-ші сотасымен сәйкес келетіндігі дұрыс), неізгі арнаның интерференциясымен қолайсыз жағдай туындайды.

БС мен АС арасында радиобайланыс орнатқан кезде, АС-ң антенна кірісіне пайдалы сигнал мен сыртқы шуылдардан басқа, интермодуляциялы (бір арна ішіндегі) БС-лардан келіп түскен бөгеуілдер, істеліп жатқан көршілес БС - да жиіліктер қарастырылады.

Мұндай жағдайда интерференцияның азаюы үшін негізгі арнада сота арасында максималды қашықтық жеткіліксіз сақталады.

Келесі кластер белгісі қабылданады:

$$K = N_c / N_q, \tag{3.4}$$

мұндағы: N_c – кластердегі сайт саны,

N_q – кластердегі жиілік саны.

Үш секторлы сайтты пайдаланған кезінде кластердің сандық белгісі еселік 1/3-ге тең болады. Мысалға қарасақ бұл арақатынас 7/21-ге тең.

Өз кезегінде интервал D негізгі арнадағы максималды жеткілікті интерференция шамасымен анықталады (C/I , Carrier-to-Interference).

Бұл шама C/I сөздің сапасына әсер етеді. GSM стандартында C/I шамасы 9 Дб тең екендігі көрсетілген. Алайда ұялы байланыс жүйелері үшін есептеулерде өндірушілер жабдықтарды есептеу жүргізу ұсынады сол кезде бұл аумақтың төмендігі 12 Дб болды.

Есептеу үшін жиілікті-территориалды жоспарлағанда келесі сипаттама пайдаланылады.

$K_{\text{гүз}}$ – жиілікті қайталау пайдалану коэффициенті.

q – ортақ жиілікті қайталау коэффициенті, радиус және интервалмен байланысты 3.1 формула бойынша Онда:

$$q = \frac{D}{r} = \sqrt{3k_{\text{мүз}}}, \quad (3.5)$$

мұндағы: D – екі аттас жиіліктердің арасындағы минималды арақашықтық (қорғаныс аралығы, км), интерференция да негізгі арнада C/I талап етіледі.

Формула аталуы жалпы жақын есептеулер үшін пайдаланылады, сота идеалды түрде алты бұрышты болып табылады.

GSM ұялы байланыс жүйесіндегі есептеуде минималды q үшке тең қабылданады.

Есептеулер үшін C/I шамасы келесі формуламен анықталады:

$$C/I = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{j} q^x \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{j} (\sqrt{3k})^x \right), \quad (3.6)$$

j – интерференция сайтының саны.

C/I – интерференцияның негізгі арнадағы максималды ықтимал шамасы. Стандарт бойынша бұл шама 12 дБ-дан төмен болмауы тиіс.

x –МС және БС арасындағы шығын көрсеткіші.

3.1 кесте – Аумақтың түрлі сипаттамасы үшін шығын көрсеткішінің мағыналары

Көрсеткіш	Қалалық зәулім ғимараттар	Қала маңы	Ашық аудан
X	4.0	3.5	3.0

3.1 тапсырма.

Сынақ кітапшасының соңғы саны бойынша әрбір нұсқада C/I қатынасын есептейді және байланыс сапасына қорытынды жасайды.

3.2 кесте - Бастапқы деректер

Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Аудан сипаттамасы	қала	Қала маңы	Ашық аудан	Қала	Қала маңы	Ашық аудан	Қала	Қала маңы	Ашық аудан	Қала
K	3	5	7	9	12	4	7	3	12	9
r, км	6.0	4.5	3.2	2.7	1.5	6.7	5.3	7.2	2.5	3.5

Есептің мысалы:

С/І арақатынасын есептеу және байланыс сапасына қорытынды жасау, егер қалалық шарт жүйесімен жобаланса, онда жеті элементті кластерлерден тұрады.

$$C/I = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{j} (\sqrt{3k})^x \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{6} (\sqrt{3 \cdot 7})^4 \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{6} 440 \right) = 10 \cdot 1.865 = 18.65 \text{ дБ.}$$

Мұнда: $j = 6$, т.к. 7- элементті кластер үшін сайт орталықта орналасқан, 6 сайт басқаларымен интерференцияланады.

Алынған С/І 12 дБ дан көбірек, сондықтан бұл жүйе шындық болуы мүмкін.

Егер жүйедегі біраттас жиілікте 6 кластерден көп қатысса, онда С/І шамасы аздап азаяды.

3.2 тапсырма.

3.2 кестеде әр нұсқа сынақ кітапшасының соңғы саны бойынша ұялы байланыс жүйесіндегі интервал шамасын есептеуі, бір сотада шығатынын болжау керек.

Есептің мысалы:

Егер келесі жүйеде : $k_{\text{түз}} = 4.48$, $r = 3.2$ км, онда 3.5 формуласымен анықталады .

$$D = r \sqrt{3k_{\text{исп}}} = 3.2 \sqrt{3 \cdot 4.48} = 11.7 \text{ км.}$$

3.3 тапсырма.

Әрбір нұсқа сынақ кітапшасының соңғы саны бойынша ортақ арнаны қайталаудың коэффициенттерін анықтау және жиіліктерді қайта қолдануды есептеу, байланыс жүйесінің сапасына қорытынды жасауы керек.

3.3 кесте - Керекті мәліметтер

Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Аудан сипаттамасы	қала	Қала маңы	Ашық аудан	Қала	Қала маңы	Ашық аудан	Қала	Қала маңы	Ашық аудан	Қала
D , км	19.3	15.8	13.5	9.4	9.5	20.0	16.8	24.8	8.5	12.3
r , км	6.0	4.5	3.2	2.7	1.5	6.7	5.3	7.2	2.5	3.5

Есептің мысалы:

Ортақ арнаны қайталаудың коэффициенттерін анықтау және жиіліктерді қайта қолдануды есептеу, байланыс жүйесінің сапасына қорытынды жасау, ауылдық ауданды жобалау. Егер $D = 27.8$ км, $r = 7.5$ км.

Ортақ арнаны қайталаудың коэффициенті, 3.5 формула бойынша мынаған тең:

$$q = \frac{D}{r} = \frac{27.8}{7.5} = 3.7.$$

Жиіліктерді қайта қолдану коэффициенттерін 3.5 формуладан да

табамыз: $\sqrt{3k_{исп}} = 3.7$, $k_{исп} = \frac{3.7^2}{3} = 4.56$.

С/І арақатынасын табу және 12 дБ шамасымен салыстыру. Сондықтан байланыс сапасына қорытынды жасау.

$$C/I = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{j} (\sqrt{3k})^x \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{3} (\sqrt{3 \cdot 4.56})^3 \right) = 10 \log_{10}(16.87) = 12.27 \text{ дБ.}$$

Алынған С/І қатынасы 12.27 дБ тең. Мұндай шартта байланыс шекарасында сота аумалы болады, аздаған радиуста немесе көп интервалда сота алынады.

3.4 тапсырма.

Жиілік санын есептеу, сотада ұялы байланыс жүйесінің стандартын анықтау. Есеп үшін алдыңғы алынған нәтижелер қолданылады.

3.4 кесте - Керекті мәліметтер*

Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Ұялы байланыс стандарты	DAMPS	GSM-900	EDGE	CDMA-2000	WCDMA	TETRA	DECT	iDEN	CDMA	GSM-1800

* - параметрлер жүйесі А қосымшасында қарастырылған

Есептің мысалы:

Жиілік санын есептеу, жеткілікті бір сотадағы GSM-900 жүйесі үшін жиілік санын есептеу. Есеп үшін алынған және алдыңғы нәтижелер пайдаланылады.

Жиілік саны жеткілікті бір сотада толық жиілік жолағын бөліп алуға болады. $K_{ТҮЗ}$ - қолданыстағы қайталану жиілігі. Әр сота 10-нан 50-ге дейінгі жиілікте бағыныңқы, трафиктік және жүйенің абоненттік сыйымдылығында тағайындалады.

3.3 формула бойынша:

$$N = \frac{1 F_c}{C F_k},$$

F_c – жиілік диапазонының кеңдігі, Гц;

F_k – арна жолақтарының кеңдігі, Гц;

C – игерушілік қайталану коэффициенті ($k_{исп}$) жүйесі;

N – жеткілікті сотадағы арна саны.

Жалпы жиілік жолағы GSM-900 жүйесінде 25 МГц, бір арнадағы өткізу жолағы 25 кГц, алдыңғы тапсырмада $k_{ТҮЗ} = 4.56$

$$\text{Онда: } N = \frac{1 F_c}{k_{ққж} F_k} = \frac{1 \cdot 25 \cdot 10^6}{4.56 \cdot 25 \cdot 10^3} = 218.$$

Есептің екінші шығару жолы : $N = N_c / k_{ТҮЗ}$, N_c – жүйедегі жиіліктің ортақ саны.

$$\text{Онда: } N = \frac{N_c}{k_{ққж}} = \frac{124 \cdot 8}{4.56} = 218 \text{ арна.}$$

GSM-900 жүйесінде 124 жиіліктің арнасы ұйымдастырылады, көпстанциялы рұқсат етілген әдістерінің игерушілігінде арнаның уақыттық бөлінуімен – бір тасымалдауышта 8 физикалық арна пайдаланылады.

4 Сигналдың тарату шығынын есептеу

Сымсыз арналарға, сенімді жоғары жылдамдықты байланыстар келесі маңызды мәселелерден туындайды. Олар дабылға, бөгеуілдерге және басқа да сыртқы әсерлерге, абоненттің ұғымтал және динамикалық өзгерулерінде қоршаған ортада бұл процесс уақытша бейнемен өзгереді. Күрежолдағы қуаттың жоғалуын хабарлағышпен таратылуын қамтамасыз ету. Олар 1000 м және одан жоғары арақашықтықта көрсетіледі. Экрандалу барысында таратқыш пен қабылдағыштың арасындағы бөгеттілігі, қуат сигналының есебінен шағылыстың, шашыраудың және дифракцияның әсерінен әлсірейді.

Белгінің осындай өзгерістері сигналдың мынандай арақашықтық (10-100 м) араларында көрсетіледі.

Сигнал таралатын кеңістіктің геометриясы мен диэлектрикалық құрамына байланысты сәуле таралуының әртүрлі модельдерін көрсетуге болады – (мысалы) сигналдың көпсәулелі таралуы, яғни радиотолқындардың таралу траекториясының сәулелер моделіне жақындауы.

Соталық байланыс желісін ұйымдастырған кезде орнатудың оптималды орны мен БС санын анықтау кезінде, және басқа да мәселелерді шешу үшін қызмет көрсетудің бүкіл кеңістігіндегі кез келген нүктесінде сигнал сипаттамасын есептей білу керек. Қалалық орта радиотолқындарды тарату үшін спецификалық шарттар тудырады. Көлеңкелік зоналар, көпретті шағылысулар және толқындардың шашырауы күрделі интерференциялық құрылысы және сигнал деңгейінің кеңістікте өзгеруі көпсәулелі өріс тудырады. Радиотолқындардың таралуының көп сәулелі сипаттамасы қабылдау нүктесіне әртүрлі бағыттан және әртүрлі уақыттық кідірісі бар толқындар келіп түскенде, кодалық тізбекті жіберу кезінде символаралық интерференция құбылыстарын тудырады. Символаралық интерференциямен шартталған сигнал бұрмалануы жүйе сипаттамасының және цифрлық ақпараттың жоғары жылдамдықты жіберу сапасының нашарлауын тудырады.

4.1 Бос кеңістіктегі сигналдың таралу кезіндегі шығындарды есептеу

Егер таратқыш пен қабылдағыштың арасында тосқауыл жоқ болса, онда екеуінің арасындағы сигнал тура көз жетімділік шартында таралады. Мұндай модель тура көзжетімділік арна немесе бос кеңістік моделі деп аталады.

Қабылдағыш және таратқыш қуатын былай жазуға болады

$$\frac{P_r}{P_t} = \left[\frac{\sqrt{G_i}}{4\pi d} \lambda \right]^2 \quad (4.1)$$

мұндағы: G_i – тура көз жетімділік сызығы бойындағы қабылдағыш және таратқыш антенналардың күшейткіш коэффициенттерінің туындысы, дБи;
 λ – таратқыш сигналының толқын ұзындығы, м
 d – қабылдағыш және таратқыштың арасындағы арақашықтық, м.

Қабылдау қуаты келесімен анықталады:

$$P_r = P_t + 10 \lg G_i + 20 \lg \lambda - 20 \lg 4\pi - 20 \lg d. \quad (4.2)$$

Онда таралу кезіндегі шығын келесімен анықталады.

$$P_L = 10 \lg \frac{P_t}{P_r} = -10 \lg \frac{G_i \lambda^2}{(4\pi d)^2}. \quad (4.3)$$

Сәйкесінше, күшейткіш немесе бос кеңістіктегі жүйеге тең:

$$P_G = -P_L = 10 \lg \frac{G_i \lambda^2}{(4\pi d)^2}. \quad (4.4)$$

1 тапсырма.

Әрбір нұсқада сынақ кітапшасының соңғы саны бойынша барлық абоненттер сотасында қуаттың таратылуын анықтау керек. Оны Вт и дБ/Вт-мен білдіреді.

1 кесте – Керекті мәліметтер

Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
f, МГц	900	450	935	5000	5800	1800	1850	1900	1920	2450
d, м	150	200	50	40	45	100	950	100	130	150
G_t , дБи	8	7	5	22	23	18	10	14	20	22
G_r , дБи	Ненапр	Ненапр	Ненапр	Ненапр	ненапр	Ненапр	Ненапр	ненапр	ненапр	Ненапр
P_r , мкВт	10	24	14	5	8	12	2	9	4	4

Есептің мысалы:

Қуаттың жіберілуін анықтау керек, егер тасымалдауыш орталық жиілік 5350 МГц, абоненттік станция сота шекарасында радиусы 50 м сигналды қабылдайды, базалық станциядағы антенна күшейткіші 24 дБи, минималды қуат қабылдағышта 6 мкВт-қа тең.

Қажетті қуатты есептейтін формуланы 4.1. формуласын түрлендіру арқылы аламыз:

$$P_t = P_r \left[\frac{4\pi d}{\sqrt{G_i} \lambda} \right]^2. \quad (4.5)$$

$$\lambda = c/f, \text{ онда, аламыз: } \lambda = 3 \times 10^8 / 5.35 \times 10^9 = 0.056 \text{ м.}$$

Барлық бағыттағы антеннаның күшейткіш коэффициенті 1-ге тең, күшейту сигналыныңсыз.

$$P_t = 6 \times 10^{-6} \left[\frac{4 \times 3.14 \times 50}{\sqrt{24 \times 1}} \frac{1}{0.056} \right]^2 = 32.4 \text{ Вт.}$$

Қуат үшін Вт деңгейі Дб 1 Вт-қа тең:

$$P = 10 \log_{10} P(\text{Вт}) = 10 \log_{10} 32.4 = 15.1 \text{дБ/Вт.}$$

5 Сымсыз локальді желіні есептеу

Соңғы жылдары Wi-Fi сымсыз локальды желілері кеңінен таралды. Олар үй ішіндегі желі, кішігірім офистық немесе қоғамдық жерлердегі сымсыз рұқсаттың «ыстық» нүктелері (горячие точки) болып жобаланады.

Қазіргі таңда 2,4 ГГц диапазоның мәліметтерді таратудың әртүрлі стандарттары өзара бөліп алған: Wi-Fi, Wi-MAX, Bluetooth, Wireless USB, Home RF, ZigBee және т.б. Электротехника және электроника бойынша инженерлер институты (IEEE) IEEE 802.xx. байланыс стандартының заңдастырылған версияларын растайды.

Wi-Fi желілерінің жиілік жобалану шарттары, сигналдың модуляция тәсілдері және осыған орай таратылу жылдамдығы 802.11 стандартымен және оның спецификациясымен (a, b, g, n және т.б.) анықталады.

Сымсыз қосылуларды жөнге салу кезінде әртүрлі сұрақтар туындауы мүмкін. Мысалы, белгілі ара-қашықтықта сигнал қуаты қандай болады, байланыстың қажетті сапасының сақталу шарттарында қабылдағыш пен таратқыштың арасындағы максималды қашықтық қандай болуы мүмкін, немесе нақты бір жағдай үшін қолайлы антенна моделін қалай таңдауға болады (сигналдың күшеюімен немесе күшеюінсіз).

5.1 Қабылдағыш және таратқыштың арасындағы арақашықтықты есептеу

Сигналдың өтуі кезінде ауада қуаттың үлкен бөлігі жоғалады. Бос кеңістікте сигнал шығынының коэффициенті, қуаттың шығыны кеңістікте кедергісіз өлшенеді. Сондықтан сымсыз жалғануларды анықтау сапасын қамтамасыз ету үшін әртүрлі жылдамдықтарда қабылдағыш және таратқыштар арасындағы арақашықтықты білу маңызды. Бос кеңістікте шығынның мағынасы екі факторға тәуелді: біріншіден, радиосигналдың жиілігі, екіншіден, сымсыз таратқыштардың арақашықтығы. Бұл арақатынастарды келесі формуламен анықталады:

$$L = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + K. \quad (5.1)$$

Мұнда: L – боскеңістіктегі шығындар, дБ;

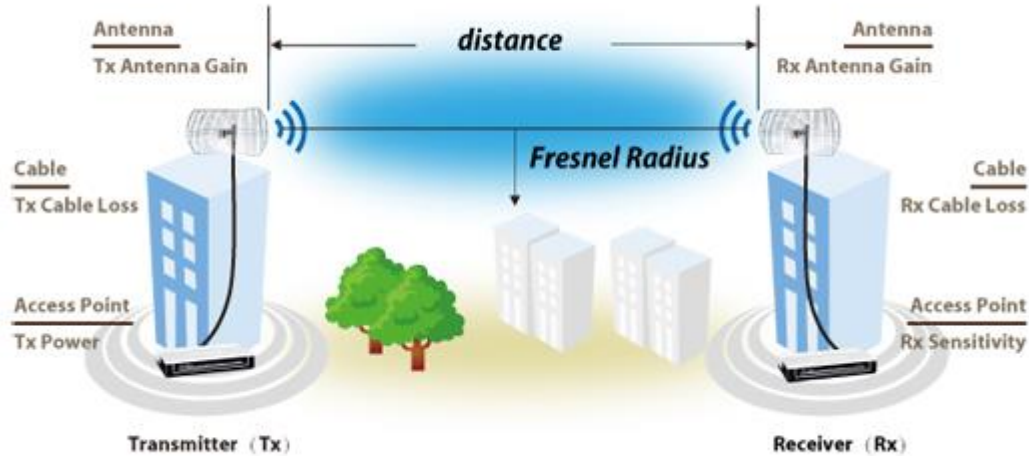
d = рұқсат нүктесі және қабылдағыш арасындағы арақашықтық, км ;

f = таратқыш жиілігі, МГц;

K =түзету коэффициенті, өлшем бірлік және тарату сигналы жиілігінің арақашықтығына тәуелді.

Егер арақашықтық километрмен өлшенсе, жиілік мегагерц, онда формула келесі түрде болады:

$$L = 20 \lg (d) + 20 \lg (f) + 32.44. \quad (5.2)$$



2 сурет – таратқыштан қабылдағышқа сигналдың тарату шартының суреттелуі (нүкте-нүкте топологиясы)

Бос кеңістіктегі шығындар келесі теңдікпен есептеледі:

$$L = P_{\text{прд}} - I_t \cdot \lambda_{\text{к,прд}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - I_r \cdot \lambda_{\text{к,прм}} - \gamma - a. \quad (5.3)$$

Мұндағы: L – бос кеңістіктегі шығындар, дБ;

$P_{\text{прд}}$ – таратқыш қуаты, дБм;

I_t – фидер ұзындығын таратқыш, м;

I_r – фидер ұзындығын қабылдағыш, м;

$\lambda_{\text{к, прд}}$ - таратқыш кезінде шығындар кабелі, дБ/м;

$G_{\text{прд}}$ - антенна күшейткішінің таратқышы, дБи;

$G_{\text{прм}}$ – қабылдағыш сигнал кезіндегі антенна күшейткіші, дБи;

$\lambda_{\text{к,прм}}$ - қабылдағыш кезіндегі кабельдер шығыны, дБ/м;

γ – қабылдау сезгіштігі, дБм;

a – артық сигналдар, дБ.

a коэффициенті әдетте 10 дБ-ға тең алынады. 10 децибельді артық күшейткішінде инженерлік есеп үшін жеткілікті саналады, a коэффициенті мұндай факторларда ескеріледі: дрейф температурасының қабылдау сезгіштігі және шығатын таратқыш қуаттары, атмосфералық құбылыстарда барлық мүмкіндіктер (тұман, қар, жаңбыр), антенна-фидер трактының таратқышы.

Мына теңдіктермен (5.1 және 5.2) рұқсат нүктесі және қабылдағыш арасындағы арақашықтық, таратқыш жылдамдықты анықтау кезінде

$$d = 10^{\left(\frac{L - 32.44}{20} \lg f\right)}. \quad (5.4)$$

Мұндағы: L – бос кеңістіктегі шығындар, дБ;

d = рұқсат нүктесі және қабылдағыш арасындағы арақашықтық, км;

f = таратқыш жиілігі, МГц;

Wi-Fi локальді желісін құру үшін 2.4 ГГц диапазонда 13 арналар кездеседі, арнаның өткізу жолағының кеңдігі 22 МГц.

5.1 кесте - Орталық жиілік арнасын есептеу

N_k	Орталық жиілік (МГц)
1	2412
2	2417
3	2422
4	2427
5	2432
6	2437
7	2442
8	2447
9	2452
10	2457
11	2462
12	2467
13	2472

Әр жылдамдықтарда таратқыштар, қабылдағыштарда сезгіштік тағайындалады. Аздаған жылдамдық үшін (мысалы 1-2 Мегабит) сезгіштіктің ең кемі - 90 дБм-ден - 94 дБм - ге дейін болады. Жоғары жылдамдық үшін сезгіштік едәуір жоғарырақ. Одан әрі есептеулер кестемен пайдалануы тиіс.

5.2 кесте – Қабылдағыш сезгіштігі тарату жылдамдығына тәуелді

Тарату жылдамдығы, В	сезгіштік, γ
54 Мбит/с	-66 дБм
48 Мбит/с	-71 дБм
36 Мбит/с	-76 дБм
24 Мбит/с	-80 дБм
18 Мбит/с	-83 дБм
12 Мбит/с	-85 дБм

9 Мбит/с	-86 дБм
6 Мбит/с	-87 дБм

5.1 тапсырма.

Әрбір нұсқада сынақ кітапшасының соңғы саны бойынша рұқсат нүктесімен қабылдағышта, жіберу жылдамдығы арасындағы арақашықтықты есептеу.

5.3 кесте – Керекті мәліметтер*

Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
N_k	13	10	9	8	7	6	5	1	11	4
B , Мбит/с	54	2	9	12	36	18	24	1	6	48
$P_{\text{прд}}$, дБм	16	12	18	15	10	16	17	18	12	14
I_t , м	0	15	30	30	0	17	6	9	15	20
I_r , м	0	10	2	5	0	15	0	3	7	0
$\lambda_{\text{к,прд}}$ дБ/м	0.95	0.09	0.12	0.17	0.08	0.30	0.05	0.80	1.12	0.70
$\lambda_{\text{к,прм}}$ дБ/м	0.93	0.09	0.13	0.16	0.12	0.40	0.03	0.05	0.50	0.70
$G_{\text{прд}}$, дБи	8	12	10	4	4	3	2	14	12	16
$G_{\text{прм}}$, дБи	2	1	0	2	1	2	1	0	1	2

*- шығындар тракттің тіркеуіштерінде аз, 0.5 - 1дВ-ны құрайды, есептерде мұны ескермеуге болады.

Есептің мысалы:

Рұқсат нүктесімен қабылдағышта жіберу жылдамдығы арасындағы арақашықтықты есептеу, егер:

$N_k = 3$, $B = 12$ Мбит/с, $P_{\text{прд}} = 15$ дБ, $I_t = 0$ м, $I_r = 0$ м, $\lambda_{\text{к,ртд}} = 0.43$ дБ/м, $\lambda_{\text{к,ртмм}} = 0.23$ дБ/м, $G_{\text{прд}} = 9$ дБи, $G_{\text{прм}} = 5$ дБи.

$N_k = 3$, онда $f = 2422$ МГц; $B = 12$ Мбит/с, онда $\gamma = -85$ дБм.

7.3 формула бойынша сигналдың әлсіреуін табамыз:

$$L = 15 - 0 + 9 + 5 - 0 - (-85) - 10 = 104 \text{ дБ.}$$

7.4 формула бойынша қабылдағыш және таратқыштың арасындағы арақашықтықты табамыз:

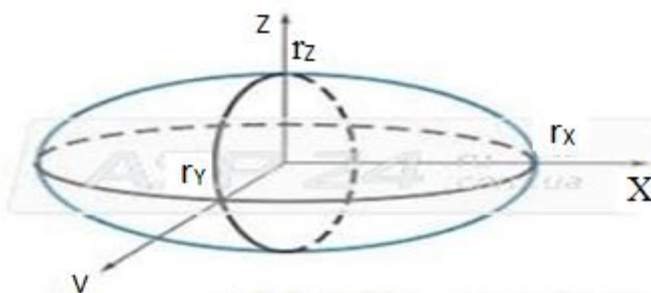
$$d = 10^{\left(\frac{L}{20} - \frac{32.44}{20} \lg f\right)} = 10^{\left(\frac{104}{20} - \frac{32.44}{20} \log_{10} 2422\right)} = 0.514 \text{ км.}$$

5.2 Френель зонасын есептеу

Френель зонасы – антеннадан шыққан толқындар таралатын, көз көруінің визуалды сызығының айналасындағы кеңістік (3 суретті қара). Тарату кезінде сигналдың қуатын ұстап тұру үшін таза «өріс» қажет, яғни бос кеңістік. Бұл 2.4 ГГц жиілігінде жұмыс істейтін сымсыз жүйелер үшін аса маңызды, себебі ұзындығы 12.5 см толқындар әртүрлі бөгеуілдерге өте

сезімтал болып келеді. Мысалы, сумен немесе ағаштардың шырынымен жұтыла алады.

Бұл радиотолқындардың тура сызықпен таралмай, айналу эллипсоидасы түрінде таралатындығымен түсіндіріледі. Мұның бейнесі келесі түрде болады:



3 сурет – Айналу эллипсоидасы

Тура көз жетімділіктен басқа тұрақты сымсыз радиоарна тұрғызу үшін Френельдің бос зонасының бар екендігін де есепке алу керек. Френель зонасы тосқауылдардан бос болуы керек. Теориялық есептелінгеннен 0.707 –ден кем емес, яғни, егер зона 80%-ға бос болса, онда радиоарна тұрақты жұмыс істеуі керек. Френель зонасының 20%-дық тосқауылы сигналдың шамалы жоғалуын тудырады. Френель зонасын 40%-дан астам тосқауылдаса сигналдың жоғалуы елеулі болып, жалғау сапасы қанағаттандырасыз болады.

Егер радиоарна қалалық көпқабатты үйлері бар квартал арқылы жүретін болса, ғимараттардың жандарындағы тосқауылдарды да есепке алу керек.

5.4 кесте – Френель зонасының радиусы

f = 2.4 ГГц		f = 5.8 ГГц	
d ПРД және ПРМ арасы	R френель зонасы	d ПРД және ПРМ арасы	R зоны Френеля
5 км	12.0 м	5 км	8.0 м
10 км	17.0 м	10 км	11.4 м
15 км	21.0 м	15 км	13.9 м
20 км	25.0 м	20 км	16.1 м

Френель зонасын есептеу үшін келесі формуланы пайдалануға болады:

$$R = 17.3 \sqrt{\frac{1}{f} \frac{SD}{S+D}} \quad (5.5)$$

Мұндағы: R – френель зонасының радиусы (м);

S, D – антеннадан бастап ең жоғарғы зонадағы бөгет нүктесіне дейін (км);

f – жиілік (ГГц).

17.3 K – түзету коэффициенті, өлшем бірлік және тарату сигналы жиілігінің арақашықтығына тәуелді

5.3 тапсырма.

Сынақ кітапшасының соңғы саны бойынша әрбір нұсқа Френель зонасын есептеу және жалғанулардың сапасына қорытынды жасау.

5.5 кесте –Керекті мәліметтер*

Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
f, ГГц	2.41	5.80	2.45	2.47	5.80	2.43	2.47	5.80	2.41	2.45
h _{антенна} , м	27	25	17	10	11	15	14	20	22	12
h _{препят} , м	7	10	8	5	7	10	12	15	15	8
S, км	2	10	9	3	1	4	5	6	7	8
D, км	10	3	14	5	8	12	2	1	4	5

*- Мына есептеулерде Wi-Fi көпірі жайлы айтылған. Жердің қисықтық бетін кемітеді.

Есептің мысалы:

Френель зонасын есептеу және жалғаулардың сапасына қорытынды жасау, егер жиілік арнасы 5.8 ГГц, таратқыштан ағаш басына дейінгі арақашықтық 3 км-ге тең, ағаш басынан қабылдағышқа дейінгі арақашықтық 6 км-ге тең. h_{антенна} = 17м, h_{бөгеттер} = 6м.

5.5 формула бойынша: $R = 17.3 \sqrt{\frac{1}{f} \frac{SD}{S+D}} = 17.3 \sqrt{\frac{1}{5.8} \frac{3 \times 6}{3+6}} = 10.2\text{м.}$

Жалғаудың сапасы болу үшін зона 80% бос болуы тиіс, бұл 8.2м. биіктігі 6 м және ол тұрғылықты емес зона радиусында орналасады, бұл арнадағы тарату жылдамдығының және жалғаудың сапасына әсер етпейді.

5.3 Сымсыз трассаның энергетикалық бюджеттегі есебі

Есептегі мәліметтер, сымсыз жалғанулардағы энергетикалық бюджеттегі есептеуді көрсету және жауапқа сұрақ алыу: мүмкін бұл байланыс арақашықтықтарда антенна қалай талап етіледі, арналар қандай жылдамдықта жетуге болады?

Есептеу нәтижесінде – радиотолқындардың өтулерінің жағдайы кенет нашарлауы кезінде тұрақты байланысты сақтап қалу үшін энергетика қоры 22 dB-дан кем болмауы тиіс. Сымсыз жалғануларда нүкте-нүкте барлық коэффициенттердің әлсіреуі, таратқыш сигналында бос кеңістіктегі таратқыштан қабылдағышқа дейінгі қуат сигналының шығыны, күшейткіш сигналындағы антеннаның көмегімен қабылдағыш және таратқыш арқылы білінеді. Бұл есептеулер сымсыз жалғанулардың сенімді бағасын көрсетеді, таратқыш және қабылдағыш бір-бірінен арақашықта орналасады.

Байланыс сапасының есебін, қуаттың запасы немесе күшейткіштің запасы деп атайды. Алынған нәтижелерде артық қуаты бойынша қосылулардың сапасына баға беруге болады:

- өте жақсы - радиоарна жоғарғы сенімділікте жұмыс істейді, қосымшадағы жұмыс үшін идеалды сәйкес келеді, жоғарғы сапада қосылуы міндетті. Өшуліктегі сигналдың артықшылығы 22 дБ-дан астам.

- жақсы-сигналдың қанағаттандыру тұрақтылығы, веб-беттерде жалғанулардың беруі мүмкін көрсетіледі. Өшуліктегі артықшылық 14-22 дБ.

- бір қалыпты- жалғану барлық жағдайда стабилді емес, таратқыш жылдамдығы аз. Өшуліктегі артықшылық 14 дБ және одан төмен.

Энергетикалық бюджет сызығын келесі формуламен есептеуге болады:

$$P = P_r - \gamma, \quad (5.6)$$

мұндағы: P – қуат сигналының артықшылығы, дБ;

P_r – қабылдағыштың кірісіндегі сигнал деңгейі, дБм;

γ – қабылдағыш сезгіштігі, дБм.

Алынған қуат сигналын келесі бейнемен табуға болады:

$$P_r = P_t - I_t \cdot \lambda_{к,тарат} + G_{тарат} + G_{кабылд} - I_r \cdot \lambda_{к,кабылд} - L, \quad (5.7)$$

мұндағы: L – бос кеңістіктегі шығындар, дБ;

P_t – таратқыш қуаты, дБм;

I_t – таратқыштағы фидер ұзындығы, м;

I_r – қабылдағыштағы фидер ұзындығы, м;

$\lambda_{к,прд}$ – шығындар кабельде таратқыш кезінде, дБ/м;

$G_{прд}$ – антенна күшейткіші таратқыш кезінде, дБи;

$G_{прм}$ – антенна күшейткіші қабылдағыш сигнал кезінде, дБи;

$\lambda_{к,прм}$ – шығындар кабельде қабылдағыш сигнал кезінде, дБ/м;

P_r – қабылдағыштың кірісіндегі сигналдың деңгейі, дБм.

5.4. тапсырма.

Әрбір нұсқада сынақ кітапшасының соңғы саны бойынша энергетикалық бюджет сызығын есептеу және жалғанулардың сапасына қорытынды жасау.

5.6 кесте – Керекті мәліметтер

Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
f , МГц	5000	2412	5150	2437	5250	2452	5350	2472	5800	2462
d , км	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	5.0	5.5	4.5	10.0	8.0
$P_{каб}$, дБм	26	19	28	15	27	16	27	18	28	21
γ , дБм	-70	-73	-78	-82	-85	-88	-87	-90	-92	-93
I_t , м	0	15	30	30	0	17	6	9	15	20
I_r , м	0	10	2	5	0	15	0	3	7	0
$\lambda_{к,тарат}$ дБ/м	0.95	0.09	0.12	0.17	0.08	0.30	0.05	0.80	1.12	0.70
$\lambda_{к,каб}$ дБ/м	0.93	0.09	0.13	0.16	0.12	0.40	0.03	0.05	0.50	0.70
$G_{тарат}$, дБи	24	18	25	17	23	18	22	14	25	16

$G_{\text{каб,дБи}}$	2	1	0	2	1	2	1	0	1	2
----------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

*- шығындар тракттің тіркеуіштерінде аз, 0.5 - 1дВ-ны құрайды, есептерде мұны ескермеуге болады. Қабылдағыш және таратқыш антенна тік көрінетін зонада орналасқан деп ұйғарылады.

Есеп үшін анықтама ақпараттарын қосымшадан көруге болады.

Есептің мысалы:

Энергетикалық бюджет сызығын есептеу және жалғанулардың сапасына қорытынды жасау: егер: $f = 5350$, $d = 3$ км, $P_{\text{тарат}} = 26$ дБм, $\gamma = -66$ дБм, $\lambda_{\text{к,тарат}} = \lambda_{\text{к,каб}} = 1.5$ дБ, $G_{\text{тарат}} = 24$ дБи, $G_{\text{кабыл}} = 1$ дБи.

Бос кеңістіктегі қуат шығынын табамыз:

$$L = 20 \lg(d) + 20 \lg(f) + 32.44 = 20 \lg 3 + 20 \lg 5350 + 32.44 = 20 \cdot 0.48 + 20 \cdot 3.73 + 32.44 = 9.6 + 74.6 + 32.44 = 116.64 \text{ дБ.}$$

Қабылдағыштың кірісіндегі сигналдың деңгейін табамыз:

$$P_r = 26 - 1.5 + 24 + 1 - 1.5 - 116.64 = -68.64 \text{ дБм.}$$

Келесі бейнемен энергетикалық бюджет сызығын есептейміз:

$$P = -68.64 - (-66) = -2.64 \text{ дБ.}$$

Неғұрлым энергетикалық арнадағы қор рамкалардағы (22 дБ)-ны кірісінде талап етпейді. Осындай линканың құрылысы үшін алған жабдықты көруге арналған..

6 Ұялы байланыс жүйесінің сенімділігінің бағасы

Байланыс жүйелерінің сенімділігі дайын емес коэффициентімен $K_{\text{нг}}$, уақыт жүйелерімен $t_{\text{ж}}$, ықтимал мағынасы келесі арақатынаспен анықталады:

$$K_{\text{нгдоп}} = t_{\text{в}} / t_{\text{ж}} \quad (6.1)$$

Мұндағы : $t_{\text{в}}$ – жұмыс қабілеттілігі жүйелеріндегі суммарлы уақыттың қалпына келтірілуі.

Байланыс жүйелерінде пайдаланатын қазіргі аппаратура биік сенімділікке ие, аппаратураның өмір сүру мерзімі 1 бас тартудан болуы мүмкін. $t_{\text{в}}$ -ның мағынасы негізгі нақты шарттар эксплуатациялық желілерде анықталады. Практикада мұндай жағдайлар, қабылдауда $t_{\text{в}} \approx N \cdot 1$ сағат ,1 сағат N элемент жүйесінде қайта қалпына келеді.

Жүйенің тіршілігінің уақыттық есебі әдетте 15 жылға тең қабылданады.

Неғұрлым байланыс желісінің барлық құрылымы бір ізді жалғану элементері қыртысталады, онда $K_{\text{нг}}$ келесі арақатынаспен есептеуге болады:

$$K_{\text{нг}} = [2K_{\text{нгас}} + K_{\text{нгбс}} + K_{\text{нгцс}} + N(K_{\text{нгррл}} + a)] \times 100\%. \quad (6.2)$$

Мұндағы: $K_{\text{нгас}}$ – абоненттік станциядағы дайын емес коэффициент;

$K_{\text{нгбс}}$ – базалық станциядағы дайын емес коэффициент;

$K_{нгцс}$ – коммутацияның орталығындағы дайын емес коэффициенті);

$K_{нгррл}$ – радиорелерлік сызықтың дайын емес коэффициенті;

N – радиорелерлік сызықтың аралық саны (практикадағы максималды мәні $N = 10$);

a – Радиорелерлік сызықтағы жауын-шашынның ықпалына, аралықтағы байланыстың бұзушылығының мүмкіндігі.

A коэффициенті түзету коэффициенті болып табылады, аталмыш аймақтың климаттық зонасына тәуелді.

Радиотолқынның әлсіреуі гидрометеорологиялық шашырау кезінде жиіліктерде белгілі биік 10 ГГц болады, біздің есептерде мұны елемеуге болады.

Ұялы байланыс жүйелерінде жоғарғы сенімділіктегі аппаратуралар дайын емес коэффициентті АС, БС, ЦС және РРЛ бұлар бір тәртіппен және келесі формуламен есептеуге болады:

$$K_{нгас} \approx K_{нгбс} \approx K_{нгцс} \approx K_{нгррл} = 1/t_{но}. \quad (6.3)$$

Мұндағы: $t_{но}$ – аппаратураның пайдаланылымының уақыты (200.000...300.000) сағатта және жоғары аумақта бас тартады. Есеп үшін $K_{нг}$ келесі мәнмен қабылдауға болады: $t_{нгас} \approx t_{нгбс} \approx t_{нгцс} = 200$ мың сағат және $t_{нгррл} = 300$ мың сағат.

6.1 тапсырма.

Әрбір нұсқада сынақ кітапшасының соңғы саны бойынша ықтимал мағынаны есептеу және дайындықсыз жүйелер коэффициентін есептеу.

6.1 кесте - Керекті мәліметтер

Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
N	2	5	6	3	4	7	8	9	6	10
$F, ГГц$	10	12	15	20	25	30	8	40	2	4

Әдебиеттер тізімі

1. Голдсмит А. Беспроводные коммуникации/ пер с англ. – М.:Техносфера, 2011. – 904 с.
2. Маковеева М.М., Шинаков Ю.С. Системы связи с подвижными объектами: учебное пособие для вузов. - Г.: Радио и связь, 2002. - 440 с.
3. Галкин В.А. Цифровая мобильная радиосвязь: учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия - Телеком, 2012. – 432 с.
4. Величко В.В. Передача данных в сетях мобильной связи третьего поколения – М.: Техносфера, 2005. – 238 с.
5. Кшиштов В. Системы подвижной радиосвязи / пер с польского. – М.: Горячая линия - Телеком, 2006. – 536 с.
6. Овчичников М.М., Королева Л.Н. Сравнительный анализ зарубежных и отечественных цифровых радиорелейных систем. Учебное пособие / МТУСИ, 2002 г.
7. <http://www.nporapira.ru/sections/4/articles/28>

2014 ж. жиынтық, жоспары, реті 165

Данько Е.Т.
Шугайып У.

СЫМСЫЗ БАЙЛАНЫС ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар
мамандығына арналған есептер жинағы

Редакторы: Қ.С. Телғожаева
Стандарттау бойынша маманы Н.Қ. Молдабекова

Басылымға жіберілді __. __. __.
Таралымы 50 дана
Көлемі 1,8 оқу = баспа

Пішіні 60×84 1/16
№1 типографиялық қағаз
Тапсырыс Бағасы 900 теңге

«Алматы энергетика және байланыс университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамының
көшірмелі көбейткіш бюросы
050013, Алматы, Байтұрсынұлы көшесі, 126