

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Сәбит Жандос Мүтәліпұлы

Алматы қаласында LoraWan технологиясы негізінде желіні жобалау

**ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС**

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**

Кафедра меңгерушісі

техн. ғыл. канд.

\_\_\_\_\_ Е.Таштай

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 ж.

## ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Алматы қаласында LoraWan технологиясы негізінде желіні  
жобалау»

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Орындаған:

Ж.Сәбит

Пікір беруші

техн.ғыл.канд.,

АУЭС доценті

\_\_\_\_\_ А.О.Касимов

Ғылыми жетекші

ЭТЖҒТ каф. лекторы

\_\_\_\_\_ Н.А.Джунусов

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 ж.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 ж.

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация

**БЕКІТЕМІН**

Кафедра меңгерушісі,  
техн.ғыл.канд.

Е.Таштай

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға  
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Сәбит Жандос Мүтәліпұлы

Тақырыбы «Алматы қаласында LoRaWan технологиясы негізінде желіні жобалау»

Университет ректорының «16» қазан 2018 ж. № 1162-б бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі “25” сәуір 2019 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері: 1) LoRaWan желісінің құрылымы; 2) LoRaWAN желілерінің сипаттамалары; 3) LoRaWan құрылғыларының пайдаланатын қуатын есептеу.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі: а) LoRaWAN желісінің орталық сервері; ә) LoRaWan желісінің қабылдау/тарату трактіндегі шуылдарды есептеу; б) LoRaWan жүйесінде деректерді беру кезінде сигнал-шу қатынасы мен өшу деңгейін анықтау.

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс)

Сызба материалдары 11 слайдта көрсетілген.

Ұсынылатын негізгі әдебиет 23 атау: 1) Бадалов А.Л., Михайлов А.С. Нормы на параметры электромагнитной совместимости РЭС: Справочник. - М.: Радио и связь, 1990; 2) Фролов О.П. Антенны для земных станций, 2000; 3) Назаров А.В. Современная телеметрия в теории и на практике. М: Наука и техника. Санкт-Петербург 2007.

дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау  
**КЕСТЕСІ**

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Теориялық бөлім	20.01.2019 - 01.03.2019	орындалды
Құрылғылардың таңдау	02.03.2019 - 02.04.2019	орындалды
Техникалық есептеу бөлімі	01.04.2019 – 15.04.2019	орындалды

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

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Теориялық бөлім	Н.А.Джунусов, ЭТЖҒТ каф.лекторы		
Құрылғылардың таңдау	Н.А.Джунусов, ЭТЖҒТ каф.лекторы		
Норма бақылау	PhD докторы, ЭТЖҒТ каф.сениор-лекторы Смайлов Н.К.		

Ғылыми жетекшісі \_\_\_\_\_ Н.А.Джунусов  
(қолы)

Тапсырманы орындауға алған білім алушы \_\_\_\_\_ Ж.Сәбит

Күні “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 ж.

## АҢДАТПА

Дипломдық жұмыс LoRaWan технологиясын талдауға арналған.

Дипломдық жұмыста LoRaWAN желілерінің сипаттамалары, LoRaWAN желісіне құрылғыларды таңдау, LoraWan - шеткі құрылғылары, технологияның ерекшеліктері мен маңыздылығы қарастырылған.

Дипломдық жұмыста негізгі параметрлерді есептеу бөлімінде LoRaWan құрылғыларының пайдаланатын қуатын есептеліп, LoRaWan желісінің қабылдау/тарату трактііндегі шуылдарды есептелді.

## АННОТАЦИЯ

Дипломная работа посвящена анализу технологии LoRaWan.

В дипломной работе показаны характеристики, выбор устройств к сети LoRaWAN, LoraWan - периферические устройства, особенности и значимость технологии.

В дипломной работе рассчитываются используемые мощности, помехи в приемном/передающем тракте.

## ANNOTATION

Thesis is devoted to the analysis of technology LoRaWan. In the thesis work shows the characteristics, the choice of devices to the network LoRaWAN, LoraWan - peripheral devices, features and significance of technology.

In the thesis work is calculated using the power interference in the receiving / transmitting path.

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 LoRaWan технологиясын талдау	10
1.1 LoRaWan желісінің құрылымы	10
1.2 LoRaWAN желілерінің сипаттамалары	14
1.3 LoRaWAN желісін жобалау	18
1.4 Жобаның қойылатын мәселесін негіздеу	22
2 LoRaWAN желісіне құрылғыларды таңдау	23
2.1 LoRaWAN end-node – шеткі құрылғылары	23
2.2 LoRa шлюздері (концентраторлары)	24
2.3 LoRaWAN желісінің орталық сервері	25
2.4 LoRa модуляциясы	26
2.5 LPWAN технологиясы	28
2.6 Радиоарна	32
2.7 LoRaWan - шеткі құрылғылары	34
3 Негізгі параметрлерді есептеу бөлімі	36
3.1 LoRaWan құрылғыларының пайдаланатын қуатын есептеу	36
3.2 LoRaWan желісінің қабылдау/тарату трактііндегі шуылдарды есептеу	38
3.3 Электр қосалқы станцияның ғимаратына деректерді беруге жиілігі бойынша жақын болатын электромагниттік сәулеленудің әсері	39
3.4 Бос кеңістіктің моделі	42
3.5 Қос сәулелі модель	45
3.6 «Көлеңкелеу» моделі	49
3.7 LoRaWan жүйесінде деректерді беру кезінде сигнал-шу қатынасы мен өшу деңгейін анықтау	55
3.8 Есептеу бөлімі бойынша қорытынды	57
Қорытынды	
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	
Қосымша	



## КІРІСПЕ

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) – пайдаланылатын құрылғылардан келіп түсетін және басқару шешімдерін қабылдау үшін қажетті деректерді жинау және талдау қиындықтарын жеңуге көмектесетін энергиялық тиімділігі жоғары технологиялық желі болып табылады. Мұндай шешімдер бұрын аккумуляторлардың шектеулі жұмыс жасау ұзақтығына, қысқа қашықтыққа ақпарат беру ерекшеліктеріне, жоғары шығындар мен қажетті деректердің жоқтылығына байланысты қол жетімді емес еді.

Қазіргі уақытта LoRaWAN-ның үлкен қашықтықта ақпарат алу, энергияны аз тұтыну, ашық стандарттар секілді артықшылықтарын сенімді түрде айтуға болады

LoRaWAN сенсорлары 300 бит/с бастап 100 Кбит/с дейінгі деректерді алмасу жылдамдығын қамтамасыз ете отырып, қолайлы ортада 100 км-ден астам және қала мен өнеркәсіптік құрылыстары жиі орналасқан тығыз ортада 5 км-ге дейінгі қашықтықта аз көлемді ақпараттарды бере алады. Олардың көбісі бір ғана AA батареясынан қорек алып, 10 жылға дейін тоқтаусыз жұмыс істей алады.

Жылу және сумен жабдықтау мен электрлік қосалқы станциялардың объектілерін пайдалану қазіргі таңда тұтынушыларды сапалы ресурстармен үздіксіз қамтамасыз етумен қатар, шығындарды азайтуға көбірек назар аудару қажеттілігін талап етеді. Бүгінгі таңда осы салада ресурстарды барынша тиімді пайдалануға бағытталған технологиялар мен іс-шаралар аз емес. Ең алдымен, электр және сумен жабдықтау процесінің барлық кезеңдерінде авариялық жағдайларды болдырмау мақсатында технологиялық параметрлерді сақтау, ал олар туындаған жағдайда — тез оқшаулау және жою, сондай-ақ өндірісте, көлік желісінде және тұрмыста тұтынуда электр энергиясы мен суды үнемдеу болып табылады. Осы шаралардың барлығы технологиялық процестің параметрлерін мұқият бақылауды, сондай-ақ жылу желілерінің, сумен жабдықтау желілерінің және энергия тұтынатын объектілердің жай-күйін бақылау, бағалау және болжау жүйесін құруды және енгізуді талап етеді.

Тиімді мониторингті қамтамасыз ету үшін көбінесе қажет деректерді жинау жүйесінің датчиктерін " жетуі қиын " жерлерге — электрмен жабдықтау және сымды байланыс арналары жоқ аумақтарға орналастыру қажет. Сондықтан, өзін-өзі басқаратын, бір қорек көзінен ұзақ пайдалану мерзімі бар автономды қоректендіргішімен бірге бақылай алатын сымсыз датчиктерді (датчиктің тексеру аралығынан кем емес) пайдалану орынды болып табылады.

## 1 LoRaWan технологиясын талдау

### 1.1 LoRaWan желісінің құрылымы

2015 жылғы қаңтарда LoRaWAN хаттамасын қабылдау және дамыту мақсатында энергияны аз қолданатын (LPWAN – ағылшынша Low Power Wide Area Network) жаһандық желілері үшін бірдей стандарт ретінде қабылданған LoRa Alliance коммерциялық емес ұйымы құрылды. LoRa Alliance – тың әртүрлі деңгейлердегі қатысушылары бағдарламалық қамтамасыз ету, микроэлектроника, байланыс операторларының және т.б. өндірушілері болып табылады. LoRa Alliance-ке сондай-ақ IBM, Semtech, Cisco, Inmarsat, Swisscom және басқалары сияқты компаниялар кіреді.

LoRa технологиясы ретінде көбінесе Semtech және LoRaWAN-ның ашық хаттамасында әзірленген LoRa модуляция әдісі қабылданады. Егер LoRa модуляциясы (OSI media layer 1) физикалық деңгейінде болса, онда LoRaWAN (Long Range Wide-Area Networks) – бұл көптеген үлкен радиусты және меншікті қуатты тұтынуы төмен желілер үшін (OSI media layer 2) арналық деңгейдің MAC хаттамасы болып табылады. LoRaWAN желісінің ретрансляторларсыз және mesh-байланыстарсыз "жұлдыз" (ағылш. star) тәріздес қарапайым архитектура бар. Желі тораптары негізінен төмен энергия тұтынуымен (10 жылға дейін жұмыс атқара алатын AA әдеттегі батареялары), деректер алмасудың жоғары жылдамдығымен, байланыстың үлкен қашықтығылығымен (ауылдық жерлерде 15 км және тығыз қалалық құрылыста 5 км) және түпкі жабдығының төмен шығындылығымен ерекшеленеді.

LoRaWAN хаттамасы батарея арқылы жұмыс істейтін түпкі құрылғылар үшін оңтайландырылған және қорек батареясын (аккумулятор) пайдалану кезінде құрылғылардың уақытылы жұмыс істеуі мен ақпараттарды жеткізу жылдамдығы арасындағы ымыралықты қамтамасыз ететін әр түрлі сыныптағы тораптарды қамтиды. Хаттама толық екі жақты байланысты қамтамасыз етеді, ал архитектура шифрлеудің арнайы әдістері арқылы бүкіл жүйенің жалпы сенімділігі мен қауіпсіздігін қамтамасыз етеді. LoRaWAN архитектурасы мобильді түпкі құрылғыларымен (end-node) белсенді жұмыс істеу мүмкіндігін есепке ала отырып әзірленген, бұл Интернет бағытында жылдам өсетін құрылғылардың бірі болып табылады (IoT, ағыл. Internet of things).

Желі топологиясы

"Жұлдыз" желі топологиясы. Желінің өзі базалық станциялардан тұрады, оларға радиоинтерфейс арқылы соңғы құрылғылар (endnode/Mate) қосылады. Базалық станциялар өз кезегінде IP бойынша қызмет көрсететін инфрақұрылымға қосылған. Инфрақұрылымға қосылудың физикалық интерфейсі ретінде Ethernet немесе 3G байланысы қолданылады.

- Loramote - базалық станция (loragateway) желісі арқылы өзара байланысқа түсетін соңғы құрылғы;

- Loragateway-соңғы құрылғылар мен орталық инфрақұрылым арасындағы өзара іс-қимылды қамтамасыз ететін базалық станция;

- Lora Network Server (NS) - соңғы құрылғылардан алынған пакеттердің аутентификациясына жауап беретін орталық инфрақұрылымның бөлігі және көліктің бүтіндігі (фреймдерді бақылау). Желіде тіркелген әрбір құрылғыны сервер сақтайды;

- Құрылғының идентификаторы;

- Қолданба идентификаторы;

- Тағайындалған құрылғы желілік мекен-жайы;

- Құрылғыдан келесі күтілген жақтаудың дәйекті нөмірі;

- Құрылғыға келесі күтілген жақтаудың дәйекті нөмірі;

- Сессияның аутентификациялық кілті.

- Lora application server (AS) - application ақпаратты кодтауға/кодтан шығаруға, сондай-ақ Over-The-Air құрылғыларды іске асыруға жауап беретін орталық инфрақұрылымның бөлігі. AS өз кезегінде NS пакеттерін алады және одан әрі оларды LoraWAN қолданатын қосымшаның логикасын іске асыратын тиісті Customer Servers-ке жібереді.

- Lora Network Controller (NC) – базалық станция мен шеткі құрылғылар арасындағы радиоарнаны автоматты түрде қосымша құруға жауап беретін орталық инфрақұрылымның параметрлеріне байланысты оның бір бөлігі (adaptivedatarate);

- Lora Customer Server (CS) – LoraWAN базасында құрылатын қосымшаның серверлік функцияларын іске асыратын орталық инфрақұрылымның бөлігі. Бұл сервер соңғы құрылғыға берілген деректерді өңдеуге жауап береді.

Тарату жылдамдығын бақылау

LoRaWAN протоколы радиоалмасу жылдамдығын секундына 300 бит/с бастап 50 килобитке дейін реттейді, бұл ретте жылдамдық қабылдағыш пен таратқыш арасындағы қашықтыққа пропорционал азаяды. Іс жүзінде, қолданыстағы құрылғыларда жылдамдық 11 килобиттен аспауы мүмкін, себебі бұл жылдамдық осы технологиямен шешілетін телеметрия міндеттері үшін жеткілікті болады.

Соңғы құрылғыдағы батареяның (батареяның) қызмет ету мерзімін ұзарту және желінің жалпы өткізу қабілетін оңтайландыру үшін LoRaWAN (network controller) желілік сервері құрылғыдан ең жақын шлюзге дейінгі қашықтықтың негізінде әрбір соңғы құрылғының радио жиілік шығуының жылдамдығы мен қуатын жеке-жеке басқарады.

Басқару ADR (ағылш. Adaptive Data Rate) деректерді жіберудің адаптивті жылдамдығының алгоритмі көмегімен жүзеге асырылады. ADR (Adaptive Data Rate) адаптивті деректерді беру жылдамдығы нақты деректерді беру жылдамдығы пакеттерін сенімді жеткізуді қамтамасыз ету үшін, желінің оңтайлы өнімділігін және оны жүктеу үшін қажетті ауқымын қамтамасыз ету үшін реттелетін әдіс болып табылады. Мысалы, шлюзге жақын тораптар берудің неғұрлым жоғары жылдамдығын (демек, радиоарна бойынша белсенді

таратудың неғұрлым қысқа уақытын) және аз шығу қуатын пайдаланатын болады.

Шлюздер мен шеткі құрылғылар арасындағы байланыс екі жақты болып табылады, бірақ деректердің негізгі көлемі шеткі құрылғылардан шлюздерге беріледі деп болжанады. LoRa технологиясы 0.3-ден 50 кбит/с-қа дейінгі сымсыз арнада тарату жылдамдығын қамтамасыз етеді. Арналарды бөлу үшін жиіліктік арналар жиынтығы да, тарату жылдамдығы да қолданылады ((data rates).

Жүйе жұмысын оңтайландыру үшін Adr (adaptivedatarate) жылдамдығының адаптивті өзгеруі қолданылады. Желілік сервер соңғы құрылғыдан қабылданған сигнал сапасын бағалайды және бұл құрылғының тарату жылдамдығы мен таратқышының қуатын басқару.

Соңғы құрылғы деректерді кез келген қол жетімді арнада және кез келген жіберу жылдамдығында жібере алады:

- Хабар жіберу кезінде жиілік арнасын шеткі құрылғымен қолжетімді арналар тізімінен кездейсоқ таңдайды;

- Жіберу басталмас бұрын, соңғы құрылғы арнаның бос екеніне көз жеткізуі тиіс (Listen Before Talk, LBT). Rssi\_free\_th қарағанда RSSI өлшенген жылдам мәні аз болса, арна еркін деп саналады. Егер арна бос болмаса, құрылғы басқа арнаға ауысады және LBT процедурасын қайталайды;

- Шеткі құрылғы жиілік арнасын алуы мүмкін уақыт пайызына қатысты жергілікті реттеуші органдардың шектеулерін ескеруі тиіс.

LoRaWAN желілерінің негізгі артықшылықтары

LoRaWAN сымсыз желілерінің негізгі артықшылықтары LoRa кең жолақты модуляциясын және лицензиясыз жиілік диапазондарын пайдалануға негізделген.

LoRaWAN желілері:

- жершілікті сымсыз деректер желілерімен/технологияларымен үйлесімді;
- жоғары кедергіге төзімді;
- ондаған және жүздеген мың құрылғыларға қызмет көрсетуге қабілетті;
- шеткі құрылғылардың үлкен қамту аймағын және шамалы энергия тұтынуын қамтамасыз етеді.

LoRaWAN сымсыз желілерін қолдану нұсқалары.

Қолданылуы мүмкін:

- газ, су, электр есептегіштерінің көрсеткіштерін есептеу;
- SmartGrid (жаңа буын электр желілерінің мониторингі);
- белгілі бір аумақта автокөлік пен жүктердің мониторингі (орналасқан жерін анықтау, көлік құралдары мен жүктердің жай-күйі туралы ақпарат);

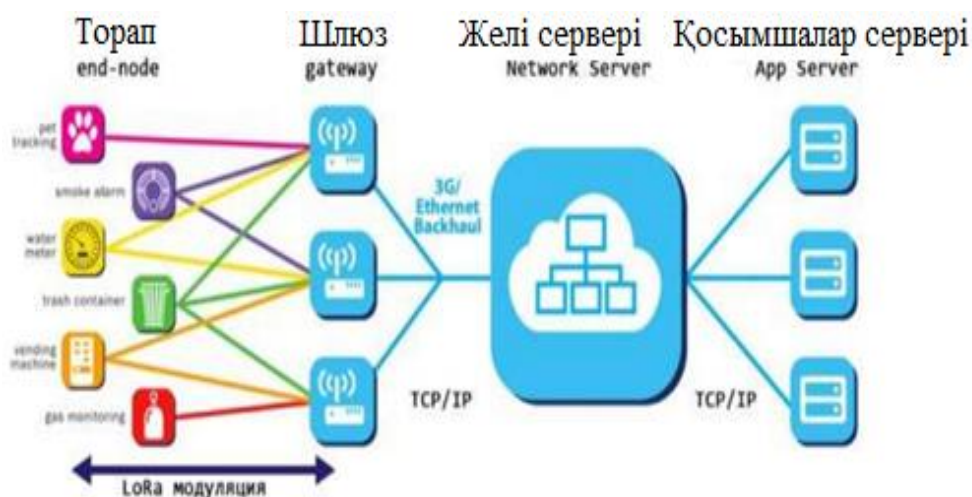
- өндірістегі контейнерлердің/көлемді заттардың жай-күйін бақылау (мұнай-химия өндірістері, өндіріс қалдықтарына арналған контейнерлер, қауіпті заттары бар контейнерлер);

- өндірістік жабдықтардың мониторингі (тоқтап тұруды азайту, параметрлерді бақылау, персоналдың қауіпсіздігін қамтамасыз ету);

- ақылды автотұрақтар (тұрақ орындарының қолжетімділігінің мониторингі);

- қоқыс бактарының мониторингі (қоқысты кәдеге жарату процесін оңтайландыру);
- ақылды көше және т. б. жарықтандыру (қашықтан басқару, жағдайын бақылау);
- ауа райының мониторингі;
- люктердің жағдайын бақылау (рұқсатсыз енуді болдырмау);
- Атмосферада зиянды заттардың болуын бақылау;
- қоршаған ортаның жағдайы туралы мәліметтер жинау (ластану, шу, жаңбыр, жел және т. б.);
- өрт, күзет дабылы;
- ғимараттарды автоматтандыру (температураны, ылғалдылықты, басқаруды, жалюзи).

Типтік LoRaWAN-да шлюздер желісі соңғы құрылғылардан (end-node) алынған шифрланған деректерді ең алдымен (Network Server) орталық серверіне одан кейін деректердің соңғы пайдаланушыға түсуін қамтамасыз ететін (AppServer) қосымша серверге жібереді. 1.1-сурет - LoRaWAN желісін құру сұлбасы көрсетілген.



Сурет 1.1 - LoRaWAN желісін құру сұлбасы

LoRaWAN желілерінде, мысалы, Ethernet-ке қарағанда, шлюздерді (ағылш. gateway) концентраторлар деп де атайды. Соңғы құрылғыларды соңғы түйіндер (end-node) немесе жай тораптар (node) немесе нүктелер (point) деп атайды. LoRaWAN желілік құрылымдары кейде LORaMAC деп те аталады, себебі ол OSI media layer 2 — MAC моделінің екінші деңгейінде де жұмыс істейді (ағылш. media access control). Осылайша, LORaMAC тек SEMTECH командасы бойынша жасалғанда LoRaAlliance құрылғанға дейін стандарты LoRaWAN деп аталды.

Қазіргі уақытта LoRaWAN құрылымының екі іске асырылуы бар: біріншісі Semtech — LoRaMAC, ал екіншісі IBM (LoRaWANin C). Екі іске

асыру да әмбебап HAL құрылғы драйверін пайдаланады, бұл ашық LoRaWAN коды әртүрлі құралдарда пайдалана алу үшін бөлінеді.

## 1.2 LoRaWAN желілерінің сипаттамалары

LoRa модуляция әдісі. LoRa - бұл деректері кең жолақты ЛЧМ-импульстермен кодталатын, кейбір уақыт аралығында ұлғаятын немесе азаятын спектрді кеңейтетін модуляция схемасы. Бұл тәсілде екі негізгі артықшылығы бар: спектрдің кеңеюі есебінен қабылдағыштың сезімталдығын едәуір арттыру және қабылдағыш пен таратқыш арасындағы жиілік бойынша бұзылуларға сыншылықтың төмен болуы.

LoRa форматындағы модуляция арқылы радиотехникалық құрылғыларды жобалау принциптерін жақсы түсіну үшін қабылдағыштың сезімталдығына әсер ететін факторларды қысқаша қарастыру қажет.

Қабылдағыштың сезімталдығы. Бөлме температурасындағы радиоқабылдағыштың сезімталдылығы келесі формуламен анықталады:

$$S = -174 + 10\log_{10} BW + NF + SNR \quad (1.1)$$

Бірінші қосылғыш 1 Гц жиілік жолағына келетін жылу шуымен байланысты және оған тек қабылдағыштың температурасын өзгерту арқылы ғана әсер етуге болады. Екінші қосылғыш, BW, қабылдағыштың жиілік жолағын сипаттайды. NF-нақты аппараттық іске асыру үшін тұрақты қабылдағыш шуының коэффициенті. Сонымен, SNR-қолданылатын модуляция схемасы үшін қажетті сигнал-шу қатынасы. LoRa модуляциясын пайдалана отырып, радиоаппаратураны жобалаушыға арналған құрылымдық параметрлер сигнал-шу қатынасы және қабылдағыш жиіліктерінің жолағы болып табылады.

Сигнал-шу қатынасы және спектрдің кеңеюі коэффициенті. Спектрдің кеңейуімен модуляцияның негізгі мәні болып деректердің әр биті бірнеше элементтерлің сигналымен немесе чиппен (ағылш. chip) кодталады. Жіберілетін деректер жылдамдығы  $R_b$  мен чиптік жылдамдығының  $R_c$  (сигнал элементтерінің жіберілу жылдамдығы) қатынасы LoRa модуляциясы үшін келесі формуламен беріледі:

$$R_c = 2^{SF} R_b \quad (1.2)$$

мұндағы SF – спектрдің кеңейуі коэффициенті.

SNR-бұл демодуляция мүмкін болатын шу қуатына пайдалы сигнал қуатының қатынасының ең аз мәні. Қате түзетумен және спектрдің кеңейуімен LoRa модуляция әдісінің өзіндік артықшылықтары сигнал-шу қатынасын айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді. Дәстүрлі және LoRa-модуляция кезінде сигнал шу қатынасы мәндерінің мысалдары төмендегі кестеде келтірілген. Бұл қатынас төмен болған сайын, қабылдағыш сезімтал болады.

Теріс мәндер қабылдағыштың өз шуы деңгейінен төмен сигнал қабылдау мүмкіндігін көрсетеді:

Кесте 1.1 – Өртүрлі модуляция схемасы үшін шу-сигналдың қатынасы

Модуляция	Шу-сигнал қатынасының түрі
LoRa SF12	-20 дБ
LoRa SF10	-15 дБ
GMSK	9 дБ

Бір биттің бірнеше чиптерімен берілуінен спектрдің кеңею коэффициенті LoRa топтамасының ұзақтығына тікелей әсер етеді. Төменде спектрдің кеңею коэффициенті қабылдағыштың сезімталдығына және 250 кГц жиіліктердің тіркелген жолағында пакеттің ұзақтығына әсер етеді.

Жиілік жолағы және чиптік жылдамдық. Спектрді кеңейту коэффициентін таңдау кезіндегі негізгі жобалық шешімдердің бірі – пакеттің ұзақтылығы мен берілген жиілік жолағының арасындағы қатынасты таңдау болып табылады. Бір бит бірнеше чиптермен ұсынылғандықтан, бастапқы деректерден гөрі жоғары жылдамдыққа чиптерді бере отырып, жиілік жолағын кеңейту немесе жолақты өзгеріссіз қалдыру қажет, бірақ ақпаратты беруге көп уақыт жұмсау қажет.

Секундына чиптерде (чип/с) көрсетілген LoRa модуляциясы бар деректер ағынының чиптік жылдамдығы герцтердегі сигнал жиілігінің сандық жолағына тең. Мысалы, 125 кГц-ке тең LoRa жиілік жолағы 125 кчип/с чиптік жылдамдығына сәйкес келеді.

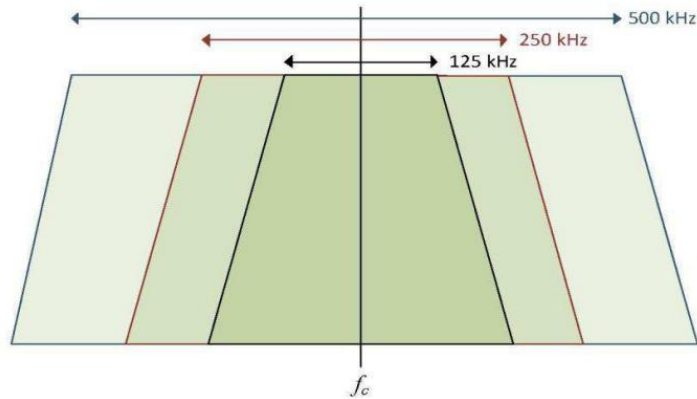
(1.1) формула арнаға қосымша шуды енгізуден BW жиілік жолағының кеңеюі қабылдағыштың сезімталдығын төмендететінін көрсетеді. Бұл дегеніміз, берілген спектрдегі кеңею коэффициенті кезінде жобалаушы тар жиілік жолағын таңдай алады және пакеттің ұзақтығын арттыру бағасының сезімталдығын арттырады, немесе сезімталдықты бәсеңдету арқылы жолақты кеңейте алады және таратуды жеделдете алады.

Кесте 1.2 - SF спектрін кеңейту коэффициентінің пакет ұзақтығы мен қабылдағыштың сезімталдығына әсері (код жылдамдығы-2, жиілік жолағы-250 кГц)

SF	Пакет ұзақтығы, мс	Сезімталдық, дБ м Вт
12	528,4	-134

10	132,1	-129
8	39,2	-124

Мысал ретінде, sx1272 модемін 500, 250 немесе 125 кГц жиіліктер жолағының үш мәнін бағдарламалық орнату мүмкіндігімен аламыз (төменде қараңыз). (Sx1276 модемінде жиілік жолағы 7,8-ден 500 кГц-ға дейінгі диапазонда орнатылуы мүмкін.)

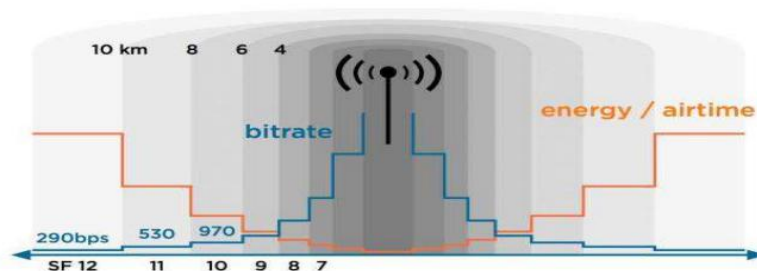


Сурет 1.2 - LoRa-модуляциясы

LoRa-модуляциясы бар сигнал жиілік жолағы екі жақты тарату жиілік жолағына сәйкес келеді. Жиілік белдеуінің соңғы пакеттік ұзақтыққа әсері және тіркелген таратушы коэффициенті бар қабылдағыштың сезімталдығы 10 байты бар пакет үшін 10 — кестеде төменде көрсетілген:

Базалық параметрлер жиілік жолақтары және спектрді кеңейту коэффициенті бойынша нақты жағдайда LoRa модуляциясын қолданудың мақсаттылығын тез бағалауға болады. Егер орындылығы туралы қорытынды оң болса, онда одан әрі жобаланатын өнім сипаттамаларын оңтайландыру үшін бірқатар басқа конструктивтік параметрлерді ескеру қажет.

LoRaWAN желілерінде қолданылатын жылдамдық. LoRaWAN протоколы радиоалмасу жылдамдығын секундына 300 бит/с бастап 50 килобитке дейін реттейді, жылдамдық қабылдағыш пен таратқыш арасындағы қашықтықтың ұлғаюымен төмендейді. Іс жүзінде қолданыстағы құрылғыларда жылдамдық секундына 11 килобиттен аспайды, бұл шама осы технологиямен шешілетін міндеттер үшін жеткілікті болып табылады.





### Сурет 1.3 - LoRaWAN желілеріндегі ADR (Adaptive Data Rate) деректерді жіберудің адаптивті жылдамдығы

Еуропа (және соның ішінде Ресей) үшін мәліметтер ағынын 50 кбит/с-на дейін жібере алатын бір ғана GFSK арнасы (ағылш. Gaussian Frequency - Shift Keying – тегістеу үшін Гаусс фильтрі қолданылатын жиіліктік манипуляция түріндегі модуляция) қолжетімді болып келеді. Солтүстік Америкада FCC (Federal Communications Commission — АҚШ-тың Федералды Электробайланыс Комиссиясы) қоятын шектеулерге байланысты мәліметтерді жіберудің минималды жылдамдығы 0,9 кбит/с.

Соңғы тораптағы (end-node) батареяның (аккумулятордың) қызмет ету мерзімін ұзарту және желінің жалпы өткізу қабілетін оңтайландыру үшін LoRaWAN желілік сервері деректер беру жылдамдығын және шлюзден жеке қашықтық негізі бойынша әрбір соңғы құрылғының (end-node) негізінде радиожілік шығуының қуатын басқарады. Басқару ADR (ағылш. Adaptive Data Rate) деректерді жіберудің адаптивті жылдамдығының алгоритмі көмегімен жүзеге асырылады. Бұл желінің жоғары өнімділігі үшін шешуші мәнге ие және оның қажетті масштабталуын жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

ADR (Adaptive Data Rate) адаптивті деректерді беру жылдамдығы нақты деректерді беру жылдамдығы пакеттерін сенімді жеткізуді қамтамасыз ету үшін, желінің оңтайлы өнімділігін және оны жүктеу үшін қажетті ауқымын қамтамасыз ету үшін реттелетін әдіс болып табылады. Мысалы, шлюзге жақын тораптар (end-node) деректерді берудің неғұрлым жоғары жылдамдығын (демек, радиоарна бойынша белсенді таратудың неғұрлым қысқа уақытын) және аз шығу қуатын пайдаланатын болады. Тек ең қашықтағы нүктелер (end-node) деректер берудің төмен жылдамдығы мен таратқыштың жоғары шығу қуатылығын қолданады. Адаптивті деректерді берудің жылдамдық технологиясы ADR желілік инфрақұрылымға қажетті өзгерістерді кіргізе алады және, осылайша, тарату сигнал трассасындағы түрлі шығындарды өтеп отырады.

LoRaWAN желісі инфрақұрылымға ең аз инвестициялармен және оның қолданылуы үшін нақты қажетті сыйымдылығымен өрістетілуі мүмкін. Егер көп шлюздер өрістетілген болса, онда ADR технологиясы деректерді беру жылдамдығын жоғарылаған жағына қарай араластырады, бұл масштабтау желі сыйымдылығын 6-дан 8 есеге дейінгі аралықта болуын қамтамасыз етеді.

LoRaWAN хаттамасы деректерді беру жылдамдығының нақты жиынын анықтайды, бірақ түпкі чип немесе физикалық қабат деп аталатын (PHY, OSI medialayer 1), яғни OSI желісінің үлгісінің физикалық қабатының функцияларын орындауға арналған интегралды схеманың өзі көп нұсқаларды қамтамасыз етеді. Мысалы, Semtech SX1272 деректер беру жылдамдығын 0,3-тен 37,5 кбит/с-ға, ал SX1276-те 0,018-ден 37,5 кбит/с-қа дейін сақтайды.

LoRaWAN желілеріндегі қауіпсіздік. Соңғы құрылғыларда (end-node) жіберілетін деректерді рұқсатсыз кіруден және бұрмалаудан немесе алып

қоюдан қорғау үшін LoRaWAN желілерінде стандартты екі түрлі AES-128 кілтпен RFC-4493 бойынша деректерді міндетті екі деңгейлі шифрлеу қарастырылған.

Тізбектегі барлық іске қосылған құрылғылардан өткен кезде деректердің толық құпиялылығы қамтамасыз етіледі, сондықтан мазмұндалған пакет тек жіберушіге (соңғы нүктеге) және пакет арналған алушыға, яғни сервис-провайдердің қосымшасына ғана қол жетімді болады. Желі сервері шифрланған түрде деректерді пайдаланады, аутентификация жүргізеді және әрбір пакеттің тұтастығын тексереді, бірақ пайдалы жүктемеге (ағылш. payload), яғни торапқа қосылған сенсорлардың ақпаратына қол жеткізе алмайды.

### 1.3 LoRaWAN желісін жобалау

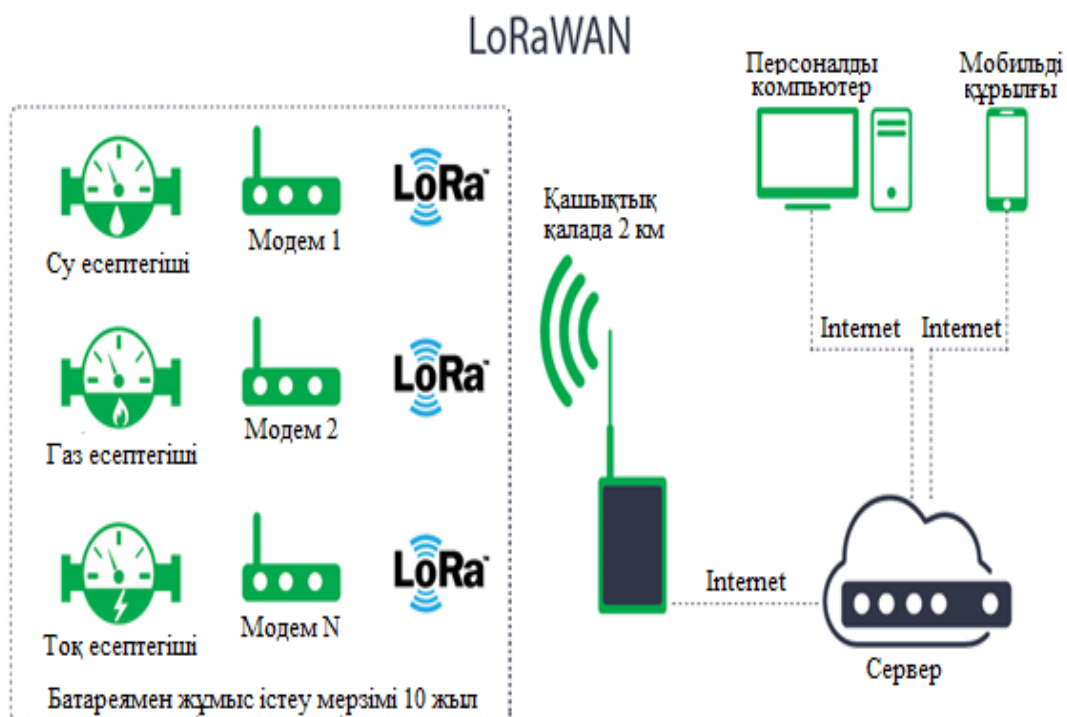
LoRaWAN ерекшелігі "заттарды" өңірлік, ұлттық немесе жаһандық желілерге сымсыз қосуға, арналған аз қуатты кең жолақты желілік хаттама (LPWA) болып табылады және екі бағытты байланыс, тікелей қауіпсіздік, мобилділік және локализация қызметтері сияқты интернетке қойылатын негізгі талаптарға бағытталған. Сондықтан бұл құрылғы Алматы қаласына өте қажет деп LoRaWAN желісін Нұрлы-Тау кешеніне жобалап отырмын.

LoRaWAN технологиясының желілік архитектурасы "жұлдыз - жұлдыз" топологиясында құрылады, онда шлюздер шеткі құрылғылар мен орталық желілік сервер арасындағы хабарламаларды қайта таратады. Шлюздер желілік серверге стандартты IP-қосылыстар арқылы қосылады және RF-пакеттерді IP-пакеттерге және керісінше түрлендіре отырып, мөлдір көпір ретінде жұмыс істейді. Сымсыз байланыс соңғы құрылғы мен бір немесе бірнеше шлюз арасында бір нүктелі байланыс орнатуға мүмкіндік беретін Long Range (алыс диапазоны) физикалық LoRa деңгейіне арналған артықшылықтарды пайдаланады. Барлық режимдер екі бағытты байланысқа қабілетті, және ауа бойынша тиірауды жаңғырту (FOTA) немесе бұқаралық таратудың басқа да хабарламалары сияқты мәселелер кезінде спектрді тиімді пайдалану үшін көп адрестеу топтарының қолдауы бар. 1.4 суретте LoRaWAN желісінің құрылымы көрсетілген.

Кең ауқымды қосымшаларда көрсетілген әр түрлі қажеттіліктерді қанағаттандыру үшін LoRaWAN технологиясы үш түрлі классты шеткі құрылғыларға ие.

А класы-қуаты аз екі бағытты шеткі құрылғылар:

А сыныбы барлық шеткі LoRaWAN құрылғыларымен тікелей байланыста болуы керек. Егер бұл қажет болса, екі бағытты байланыс үшін немесе желіні басқару командаларына мүмкіндік беретін, шығыс байланыс жолымен әрбір тарату кезінде кіріс байланыс жолының екі қысқа терезесі кез келген уақытта жіберілуі мүмкін. Бұл ALOHA типті хаттама.

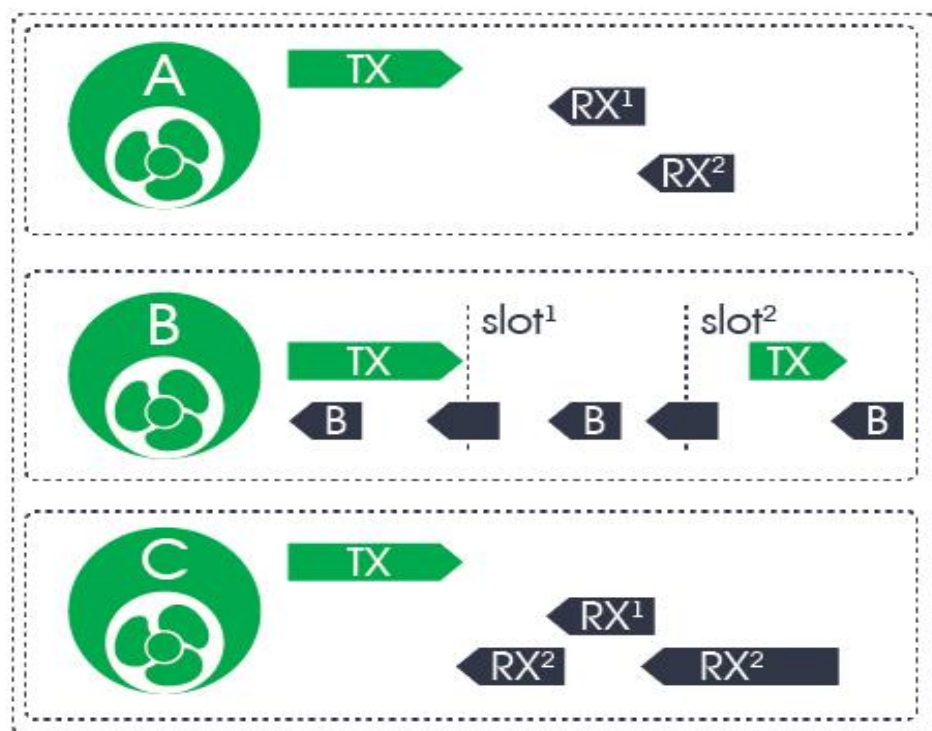


Сурет 1.4 – LoRaWAN желісінің құрылымы

Шеткі құрылғы оның жеке параметрлеріне байланысты төмен қуат тұтыну режиміне кіре алады. Бұл А классын ең энерготімді және сенсордың өмір сүру уақыты 5 жылдан және одан жоғары, сонымен қатар кез келген уақытта шығыс байланыс жолдары бойынша байланысты жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

В класы-белгілі бір кіріс ағынын күту уақыты бар екі бағытты шеткі құрылғылар. В классы А классты қабылдаудың бастапқы терезелеріне қосымша боолып табылады. В классты құрылғылар мерзімді маяктарды пайдалана отырып желімен синхрондалады және кесте бойынша кіріс ағысын тексеруге арналған слоттарды ашады. Шеткі құрылғыда қосымша энергия тұтыну есебінен бұл желі белгілі бір кідіріспен кіретін байланысты жіберу мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Кідіріс түрлі қолданбалар үшін 128 секундқа дейін бағдарламаланады, ал қосымша қуат тұтынуы батарея қуаты бар қолданбалар күшінде қалу үшін жеткілікті төмен.

С классы - аз кідірісі бар екі бағытты соңғы құрылғылар болып табылады және ол кіріс байланыс жолдарындағы кідірісті қосымша азайтады. Сонымен қатар құрылғы таратпай тұрған кезде үнемі шеткі құрылғыларда қабылдауды жүзеге асырып отырады. LoRaWAN технологиясының үш түрлі классты шеткі құрылғылары 1.5 суретте келтірілген.



Сурет 1.5 – LoRaWAN технологиясының үш түрлі классты шеткі құрылғылары

Батареяны қоректендіретін құрылғылар үшін А және С класстары арасында уақытша ауысу мүмкін, бұл эфир арқылы байланыстыруды жаңарту сияқты мерзімді тапсырмалар үшін өте пайдалы.

Бірден жиілікті реттеу үшін шеткі құрылғылар мен шлюздар арасындағы барлық байланыс пакеттері өзінің құрамына, "деректерді тарату жылдамдығы" (Data Rate) параметрін қамтиды. DR таңдауы байланыс ауқымы мен хабар ұзақтығы арасында динамикалық компромистті орнатуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, кеңейтілген спектрмен технологияның арқасында әртүрлі DR байланысы бір-біріне кедергі келтірмейді және шлюздің өткізу қабілетін арттыратын виртуалды "кодтық" арналар жиынтығын жасайды. Шеткі құрылғылардың автономды жұмыс істеу уақытын және желінің жалпы өткізу қабілетін барынша ұлғайту үшін LoRaWAN желілік сервері DR баптауын және әрбір шеткі құрылғы үшін RF шығыс қуатын адаптивті деректер беру жылдамдығы (ADR) сұлбасы арқылы жеке басқарады.

LoRaWAN режимінде деректерді тарату жылдамдығы 0,3 кбит/с-тан 50 кбит/с-қа дейін (FSK режимінде) ауытқиды. LoRaWAN-интернет заттар үшін жоғары қашықтық технологиясы болып келеді. 1.6 суретте Алматы қаласының Нұрлы-Тау кешенінде LoraWan технологиясының негізінде желіні жобалаудың сұлбасы көрсетілген.





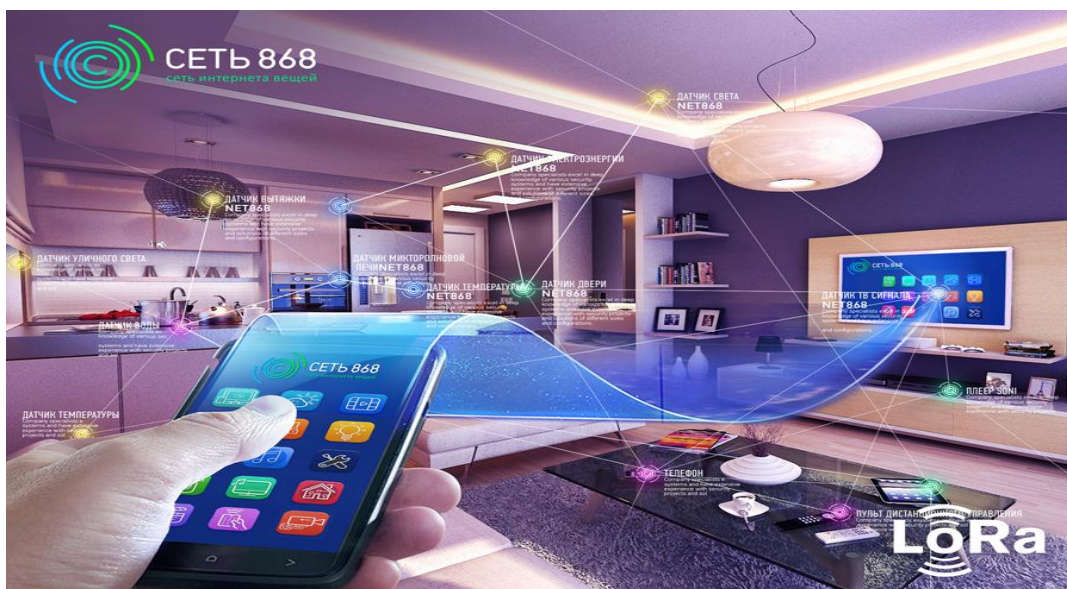
Сурет 1.6 – LoRaWan технологиясының негізінде желіні жобалаудың сұлбасы

"LoRa" терминіне сымсыз технологияларға қызығушылық танытатын және жарық цифрлық болашаққа алдыңғы қатарлы қоғамның бір бөлігі ретінде қадам басатындарға үйренетін кез келді. Өйткені LoRaWAN технологиясы ресейлік Ұлттық 868 желісімен тығыз байланысты.

Он жыл бұрын мұндай технологиялар ауқымды өндірісте қолданылған, ал енді smart-стакандар кім, қанша және не ішкенін және қандай бонус сыйлайтынын есте сақтайды. Машиналар бір-бірімен (M2M, Machine-to — Machine-машинааралық өзара іс-қимыл), қоршаған жағдай, адамдардың белсенділігі туралы ақпарат бере отырып, араласады. Ал мұндай қарым-қатынас үшін оларға деректер беру ортасы — заттардың интернет желісі қажет.

LoRaWAN LPWAN — алыстан әсер ететін радиустың энерготиімді желілері (Low Power Wide Area Network). LoRa- жоғары қашықтық (Long Range) дегенді білдіреді. Оның әрекет ету радиусы үйреншікті Wi-Fi, Bluetooth және 2/3/4G — 15 километрге дейін. Әрине, физика шығынсыз артықшылық бермейді. Мұндай қашықтықта деректерді беру жылдамдығы азаяды. Бірақ машиналар (оқып-smart-құрылғылар, IoT-девайстар) бір-біріне бейне жібермейді, дауыс байланысын пайдаланбайды.

Шеткі құрылғылар өз ақпаратын базалық станцияға жіберу үшін 30-50 бит/с жылдамдығы жеткілікті. Сондықтан LoRaWAN M2M, IoT, телемеханика, телебасқару, "ақылды қала", "ақылды үй" жобаларын іске асыру, деректерді қашықтықтан жинаудың басқа да мәселелерін шешу үшін идеалды деректер беру ортасын жүзеге асырады. LoRaWAN желісінің көрсететін қызметтері 1.7 суретте көрсетілген.



Сурет 1.7 – LoRaWAN желісінің көрсететін қызметтері

Негізінде LoRa технологиясы сымсыз технологиялар арасында өте маңызды сұранысқа деп айтуға болады.

Заттардың интернет желісі ISM-жиілігінде (ISM - Industrial, Scientific, Medical) лицензияланбайтын жұмыс істейді — ешкімді хабардар етудің, мұндай диапазонда хабар таратуға рұқсат алудың, ал бастысы — ақы төлеудің қажеті жоқ. Сондықтан мұндай ұйымның құрамында көп ақша болмайды, бірақ қалғандардан бұрын болашақты сезініп, оларға жұмыс істейтін технологиялар мен құрылғыларды құра алады. Осы айтылғандарды ескере отырып Алматы қаласында LoraWan технологиясы негізінде желіні жобалауды қарастыруға болады деп есептеймін.

#### 1.4 Жобаның қойылатын мәселесін негіздеу

Бұл дипломдық жобаның негізгі мақсаты Алматы қаласының Нұрлы-Тау кешеніне LoraWan технологиясы негізінде желіні жобалау қарастырылған.

Сонымен жоспарланған жоба үшін қажет:

- LoraWan технологиясына талдау жүргізу;
- LoraWan технологиясының архитектурасын құру;
- LoraWan технологиясы негізінде желіні жобалаудың сұлбасын құру;
- Желіні жобалауға қатысты құрылғыларды таңдау;
- Conduit шлюзі ( mcard. MTAC – LORA-868 орнатылған AEPS модулімен);
- Антенна диапазоны 868 МГц;
- Компьютер (ПК);
- Желіні жобалауға қатысты негізгі параметрлерді есептеу.

## 2 LoRaWAN желісіне құрылғыларды таңдау

### 2.1 LoRaWAN end-node – шеткі құрылғылары

LoRa түпкі құрылғылары (соңғы тораптар, end-node) LoRa жүйесінің LoRaWAN элементтері болып табылады, онда олар өлшеу немесе басқару және бақылау сияқты функцияларды орындайды. Олар қашықтан орналасқан және, ереже бойынша, қорек батареялары бар. LoRaWAN желілік хаттамасын пайдалана отырып, бұл түпкі нүктелерді (end-node) LoRa шлюзімен (концентратор немесе базалық станция) байланыс үшін баптауға болады.

LoRaWAN желісіндегі деректер соңғы нүктеден (end-node) серверге де, немесе, керісінше екі жаққа да жіберілуі мүмкін. Нүктелер (end-node) деректерді үнемі емес, тек кейбір уақыт аралығында ғана (әдетте 1-5 секундқа) қосып алып кетеді, және ол уақыт біткеннен соң деректерді қабылдау үшін екі уақытша терезе ашылады. Қалған уақытта түпкі түйіндердің трансиверлері (end-node) не белсенді емес күйде (sleep) не құрылғы сыныбына (A, B немесе C) байланысты қабылдау жағдайында болады.

1) A Сыныбы. Түйін (end-node) деректерді шлюзге қысқа посылкалармен берілген график арқылы жібереді. Алмасуды бастаушы соңғы түйін (end-node) болып табылады. Нүкте (end-node), әдетте, өзінің хабарламасын қолданбалы бағдарламамен растауды талап етпейді (квитирлеусіз хабарлама), алайда хаттама қолданбалы бағдарламалардың сервері арнайы жауапты, "квитанцияны" қалыптастыратын хабарламаларды да қарастырады, ал желілік сервер қабылдау терезесінің торабы ашылған кезде (квиттелген хабарлама) растауды (ағылш. АСК. acknowledgment-растау) жіберу үшін ең жақсы маршрутты (шлюзді) таңдайды Торап (end-node) деректерді біраз қысқа уақытқа жібергеннен кейін бірден қабылдау режиміне өтеді (қабылдау терезесін ашады), ал қалған ұзақ уақыт бойы энергия үнемдеу немесе ұйқы (sleep) режимінде болады. Сервер нүктелер үшін (end-node) хабарламаларды жинақтайды және оларды бірден, нүкте (end-node) ретінде байланысқа шыққанда жібереді. Түпкі тораптардың бұл классы (end-node) энергияны тұтыну бойынша ең үнемді және тәжірибе жүзінде ең көп таралған класс түрі болып табылады.

2) B Сыныбы. Торап (end-node) сервермен берілген график бойынша қабылдағышты қосады. Сервер кесте бойынша торапқа (end-node) хабарлама жібереді. Алмасу бастаушысы LoRaWAN желісі сервері болуы да мүмкін. Бұл кластағы құрылғылар (end-node) ішкі уақытты үнемі шлюзден алатын маяктардың көмегімен желі уақытымен синхрондайды (ағылш. beacon). Бұл класстың тораптары (end-node) деректермен алмасуда салыстырмалы түрде төмен уақытша кідіріске ие және A класымен салыстырғанда неғұрлым кең уақыт қабылдау терезесін ашады. B класының нүктелері (end-node) A класы (end-node) құрылғысындағыдай барлық мүмкіндіктеріне ие.

3) С Сыныбы. Бұл класстың нүктелерінде (end-node) қабылдау терезесі үнемі ашық және тек қысқа мерзімді деректер беру кезеңінде ғана жабылады. Сервер кез келген уақытта алмасуды бастай алады және хабар торабына (endnode), олар пайда болған кезде, бірден жібере алады. Бұл құрылғы класы (end-node) энергияның ең көп мөлшерін (А және В класстарымен салыстырғанда) тұтынады, сондықтан әдетте батареялық қоректі пайдаланбайды, бірақ ең аз кідіріспен LoRaWAN желісінің серверінен (low estlatency) деректерді алады. С құрылғы класы (end-node) А және В құрылғы класының барлық мүмкіншіліктерін атқара алады.

Нүктелер (end-node) бір және бірнеше шлюздермен алмасу жасай алады, тораптар екі режимде жұмыс істей алады: нүкте-нүкте (ағылш. P2P-point to point), соңғы құрылғы (end-node) мен шлюз (сонымен қатар, тек екі торап (end-node) арасында концентраторлар мен серверді пайдаланбай алмасу жүре алады) арасында алмасу жүргенде және гибридік режимде, бір жағынан, радиоарна бойынша басқа тораптарға қосылған кезде, ал екінші жағынан, TCP/IP бойынша желіге сым қосылған және шлюз рөлінде (packet\_forwarder бағдарламалық жасақтамасын пайдалана отырып) әрекет етеді. Мұндай бір арналы шағын шлюз деректерді қабылдау және жіберу үшін арналған шағын шлюздердің бос уақыттық слоттары (ағылш. timeslot) кезінде өзара бәсекелесе келе бір және бірнеше ондаған шеткі құрылғыларға қызмет көрсете алады.

## 2.2 LoRa шлюздері (концентраторлары)

LoRa шлюздері LoRaWAN жүйесінде үлкен радиус әсерінің радиалды жұлдыз тәрізді желілік архитектураларында пайдалануға арналған. LoRa технологиясының қасиеттеріне байланысты бұл шлюздер бір уақытта бірнеше арналардың демодуляциясын орындауға қабілетті, тіпті бір арнада көптеген сигналдарды сол арнада ғана бір уақытта демодуляциялай алатын көп арналы мультимодемді трансиверлерді қамтиды. Бұл шлюздер желінің жоғары сыйымдылығын қамтамасыз ету үшін соңғы нүктеде (end-node) қолданылатын шлюздерден өзгеше радиожилікті компоненттерді пайдаланады. Шлюздер соңғы тораптар (end-node) мен орталық сервер арасындағы хабарламаларды жіберуге арналған мөлдір көпір түріндегі интерфейс ретінде қызмет етеді.

LoRaWAN оператор желісінің (көлік backhaul желісі) орталық сервері мен концентраторлар арасындағы байланыс TCP/IP хаттамасы бойынша дәстүрлі технологиялар (Ethernet, WiFi, GSM) көмегімен жүзеге асырылады.

Егер шлюздер желілік серверге стандартты IP қосылымдары арқылы қосылса, онда соңғы тораптар (end-node) бір немесе бірнеше шлюзге сымсыз қосылу жағдайын қолданады. Барлық соңғы нүктелер (end-node), әдетте, екі бағытты болып келеді, бірақ олар, сондай-ақ, хабарламаларды жіберу уақытын қысқартатын, радиоарна бойынша бағдарламалық жасақтаманы топтық жаңарту немесе басқа да жаппай хабарламаларды жіберу (Broadcast)



мүмкіндігін қамтамасыз ететін жұмыс істеу режимін де қолдайды. Олардың қажетті арналық сыйымдылығына және орнату орындарына байланысты әртүрлі шлюздер нұсқалары қол жетімді болады, олар үй-жайлардың ішінде секілді (indoor), сондай-ақ мұнараларда немесе ғимараттарда (outdoor) да орнатылуы мүмкін.

LoRaWAN желісінің тораптары (end-node) бір және бірнеше шлюз ретінде қамту аймағында болуы мүмкін. Абоненттік құрылғысының тығыздығы жоғары болатын желілерде шлюзбен бірге бірнеше түйіндерден бір уақытта деректерді қабылдау мүмкіндігі бар арнайы көп арналы концентраторлар жұмыс атқарады. Шлюздің дәл бұл мүмкіндігі бір концентратор ғана қызмет атқаратын жергілікті жер учаскесіндегі абоненттік құрылғылардың (end-node) тығыздығына тікелей максималды әсер тигізеді.

Semtech SX1301 базасындағы концентраторлар бір шаршы километрге 5 мыңға дейінгі абоненттік құрылғыларға қызмет көрсету мүмкіндігіне ие (8 тәуелсіз арна және бір көлік backhaul арна бір уақытта жұмыс істей алатын қос RF фронтэндті (ағылш. front-end) қамтамасыздандыратын 2 чип бортындағы sx1257).

Желі сыйымдылығы қазіргі уақытта алынуы мүмкін пакеттердің санына тәуелді болып келеді. 8 арналы Sx1301-дегі бір шлюз LoRaWAN протоколын пайдалана отырып, күніне 1,5 млн. пакетті алуға қабілетті. Сондықтан, егер сіздің түйініңіз сағатына бір пакетті жіберетін болса, онда sx1301-тегі бір шлюз осындай 62500-ға жуық соңғы құрылғыларға табысты қызмет ете алады.

Қазіргі таңда әр түрлі IoT технологияларының жақтастары арасында бәсекелестік жүруде және күн сайын әркім өзін-өзі мақтайтын салыстырмалы кестелерден сіз бір шлюзбен қызмет көрсетілетін түрлі торап сандарын (end-node) көресіз: бірнеше жүзден миллионға дейін. Мұндай мәліметтер ақпаратсыз және оқырманды жаңылыстыруға әкелуі мүмкін, өйткені әрбір торап (end-node) әр түрлі мерзімділікпен деректерді жіберуі, ал деректер көлемі мен тарату жылдамдығы айтарлықтай әр түрлі болуы мүмкін, сондықтан желінің теориялық сыйымдылығы туралы айту өте қиын және дәл есептеулер үшін көптеген факторларды назарға алу қажет.

Егер желі сегментінің сыйымдылығы жеткіліксіз болса, онда LoRaWAN желісі масштабталады: тораптардың неғұрлым жоғары тығыздылығы (end-node), оған қосымша шлюздерді орнату арқылы қол жеткізіледі. Жаңа шлюз пайда болған кезде желінің орталық сервер жүктемесінің соңғы тораптарына "жаңа кесте"-ні жіберу арқылы жүктемені қайта таратады.

### **2.3 LoRaWAN желісінің орталық сервері**

Дернектерді бір уақытта бірнеше нүкте арқылы жіберу кезіндегі пайда болатын ықтимал соқтығысу мәселесі желінің орталық торабында әр соңғы нүктеге (end-node) ақпаратты жіберу және алу үшін жеке жеке тайм-слоттар

бөліне отырып, оларды желілік басқару пәрмендерінің адрестік тораптарына (end-node) шлюздер арқылы жіберетін LoRaWAN желісінің орталық сервері арқылы шешіледі. Адресстеу әр торап үшін бірегей (end-node) 32 биттік DevAddr арқылы жүреді.

LoRaWAN желісінің орталық сервері деректерді нүктелермен (end-node) беру жылдамдығының өзгерісінің қажеттілігі, таратқыштың қуаттылығы, тарату арнасын таңдау, оның басталуы мен уақыты бойынша ұзақтылығы туралы шешімдерді қабылдайды, соңғы тораптар батареяларының зарядын бақылайды (end-node), яғни бүкіл желіні толығымен бақылайды және әрбір абоненттік құрылғыны жеке басқарып отырады.

Әрбір LoRaWAN соңғы түйінмен жіберілетін деректер пакеті (endnode) қызмет - провайдер серверіндегі қосымшаға тиесілі AppEUI бірегей бағдарлама идентификаторын қамтиды және бұл идентификаторды LoRaWAN желісінің орталық серверімен пакетті одан әрі бағдарлау және оны серверде (AppServer) серверде өңдеу үшін қолданады.

Практикада, әдетте, сервис-провайдерлерінің қызметтері сервис LoRaWAN желілік серверінің пакеттері соңғы пайдаланушыларға осы деректермен жұмыс істеуге бағытталатын деректерді өңдеу қызметін қолдайтын соңғы торап өндірушісі арқылы беріледі.

Жеке жағдай ретінде, қосымшалар сервері, желі сервері және желінің жалғыз шлюзі (бір арналы LoRa трансивер түрінде) зертханалық жағдайларда желінің оңайлатылған моделін құру үшін біріктірілуі мүмкін. Желілік сервер ядросының бағдарламалық қамтамасыздандыруы еркін таратылмайды, бірақ LoraAlliance келісімі жасалғаннан кейін алынуы мүмкін.

Радио кедергілерге төзімділігі

Ғимараттар мен жертөлелерде субгигагерц диапазонындағы радиосигналдың жоғары өткізгіш қабілеті басқа сымсыз технологиялар әлсіз болатын жерлерде тұрақты байланысты қамтамасыз етеді.

Gmsk біріктірілген арнадағы LoRa модемі 19,5 дБ дейін (Гаусстық сүзу есебінен) кедергіні басу мүмкіндігі бар немесе басқа сөзбен айтқанда, ол кедергілер немесе шулар деңгейінен 19,5 дБ төмен сигналдарды қабылдай және демодуляциялай алады, бұл дегеніміз FSK (ағылш. Frequency Shift Keying) шу деңгейінен кем дегенде 8-10 дБ жоғары сигнал қуатын қажет етеді деп түсіндіріледі.

Бұл кедергілерге төзімділігі LoRa-мен бірге қарапайым және қымбат емес жүйені ауыр спектралды жағдайлар бар жерлерде (кез келген заманауи мегаполистегі сияқты) немесе гибриді байланыс желілерінде пайдалануға мүмкіндік береді. Бұл жағдайларда LoRa технологиясын пайдалану байланыс желісінің қамту ауқымын кеңейтуге мүмкіндік береді.

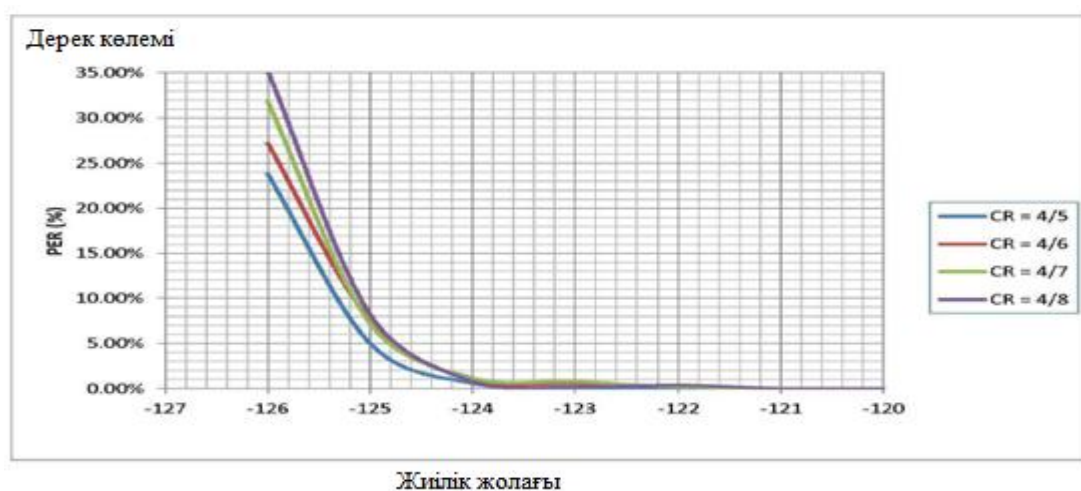
## **2.4 LoRa модуляциясы**

Спектрді және жиілік жолағын кеңейту коэффициентінен басқа, жобалаушы LoRa модуляциясымен байланыс арнасын іске асыру кезінде ескеруі тиіс тағы басқа конструктивтік параметрлер бар. Әсіресе, олар бөгеуілге төзімді және берілу ұзақтығы сияқты параметрлер бойынша құрылымды оңтайландыру кезінде өте маңызды болып табылады.

Кесте 2.1 - Жиілік жолағының пакет ұзақтығы мен қабылдағыштың сезімталдығына әсері (код жылдамдығы-2, спектрдің кеңею коэффициенті-10)

Жиілік жолағы	Пакет ұзақтығы, мс	Сезімталдылық
125	264,2	-132
250	132,1	-129
500	66	-126

Қателерді алдын ала түзету. LoRa-модемде қателіктерге байланысты бұрмаланған деректер биттерін қалпына келтіруге мүмкіндік беретін қателерді түзетудің бір түрі қолданылады. Ол берілетін пакетте деректерді қосымша кодтауға байланысты аз артықшылықты енгізуді талап етеді. Төменде келтірілген қисықтар тобы таңдап алынған код жылдамдығына байланысты тек жылулық шуы қатысқан кезде ғана тұрақты қателіктердің өсуіне алып келетіндігін көрсетеді.



Сурет 2.1 – код жылдамдығының сезімталдылыққа әсері (спектрдің кеңею коэффициенті -7, жиілік жолағы – 125 кГц, пайдалы деректер көлемі – 13 байт)

Алайда қателерді алдын ала түзетуден нақты ұтысты импульстік кедергілер жағдайында алуға болады. Егер байланыс арнасында мұндай

кедергілер күтілсе, қателерді алдын ала түзетуді қолдану мүмкіндігін қарастыру қажет.

Төмендегі 2.2 кестеде код жылдамдығының өсуінің жиілік жолағы 250 кГц және спектр кейею коэффициенті 10-ға тең болған кезде пакет ұзақтылығына қалай әсер еткендігі көрсетілген.

Кесте 2.2 – код жылдамдығының пакет ұзақтылығына әсері ( спектр кеңею коэффициенті -10, жиілік жолағы – 250 кГц)

Код жылдамдығы	Пакет ұзақтылығы, мс
1	123,9
2	132,1
4	148,5

## 2.5 LPWAN технологиясы

LoRaWAN (Low Power Wide Area Network – LPWAN) -Wan негізіндегі ұялы желілер мен Wi-Fi алдында машинааралық (M2M) коммуникацияларды құру және пайдалану секілді артықшылықтары бар энергиялық тиімді желілік технология болып табылады.

2015 жылдың 23 наурызында IBM Research зерттеу орталығы мен Semtech компаниясы WAN платформасында жаңа желілік технологияны ұсынды.

LoRaWAN технологиясы аккумуляторлардың шектеулі әрекет ету мерзіміне, қысқа қашықтықтарға ақпарат беру ерекшеліктеріне, жоғары шығындар мен қажетті стандарттардың жетіспеушілігіне байланысты бұрын қол жетімді емес шешім қабылдау үшін пайдаланушы құрылғыларының деректерін жинау және талдау қиындықтарын жеңуге көмектеседі.

LoRaWAN технологиясы жүздеген мың интернет құрылғыларына радиоарна арқылы өзінің деректерін шлюзге (базалық станцияға) жібере алады, ал шлюз бұл ақпараттарды интернет серверлеріне жеткізеді. Деректер осы IoT құрылғылардың иелеріне қол жетімді болады. Тұтынушылар интернет желісіне LoRaWAN технологиясы бойынша электр, су, жылу және газды есептеу құралдарын қоса алады және де энергия ресурстарының шығынын көру және есептеуіштерден көрсеткіштерді қолмен жазып алмау үшін — олар автоматты түрде басқарушы компанияға жіберіледі. Су, түгін және газ ағу датчиктері қауіп төнген жағдайда дереу дабыл береді. Тұтынушы оны мобильді қосымшада немесе әлемнің кез келген интернет мүмкіндігі бар нүктесінде өз компьютеріндегі жеке кабинеттен алады. Осы технология бойынша шетелде

smart тоназытқыштары жетіспейтін азық-түліктерге желі арқылы тапсырыс береді, ал үй жарығымен және жылытумен егер тұрғын үйде LoRaWAN – "ақылды үй" құрылғысы орнатылған болса, онда смартфонның мобильді қосымшасы арқылы қашықтан басқаруға болады.

LoRaWAN лицензияланбаған сымсыз интернеттегі қолжетімділік ауқымын пайдаланатын энергияны үнемдейтін WAN-желілерге арналған жаңа сипаттамалар мен протоколдарды пайдаланады. Технология батареяның оңтайлы өмір сүру мерзімі және дамыған инфрақұрылымдық мүмкіндіктерді талап етпей ақ, бір-бірінен алыс орналасқан сенсорларды біріктіре алады. Бұл жетілдірілген ұтқырлықты, қауіпсіздікті, екі бағытты алмасу, локализацияны және жайғастыруды мен құнын төмендетуші қамтамасыз етуге көмектесе алады.

LoRaWAN сенсорлары 300 бит/с-тен 100 Кбит/с-қа дейін деректер алмасу жылдамдығын қамтамасыз ете отырып, қолайлы ортада 100 км – ден астам қашықтықта, 15 км - провинциялық қалаларда және 2 км-ден астам қашықтықта тығыз қалалық құрылыстарда ақпаратты жібере алады. Сенсорлар аз энергияны тұтынады; олардың көпшілігі бір АА батареясынан қоректеніп, 10 жылға дейін үздіксіз жұмыс істей алады. Өз кезегінде, AES128 шифрлау кілттері бұзу және тыңдау мүмкін емес.

Телеком-операторлары LPWAN желілері үшін көптеген қолдану салаларын қарастырады:

- тауарлар сатқанда немесе жабдық жөндеуді қажет еткен жағдайда, автоматтандырылған сигналдарды дистрибьюторларға вендинді аппараттарымен жіберу;

- қалалық әкімшіліктер электр энергиясын үнемдеуге арналған шешімдерді, сондай-ақ жүргізушілерге автотұрақ үшін бос орындар табуға көмектесетін қолданбалы бағдарламаларды ұсына алады;

- жануарлар әуесқойлары фауна өкілдерінің таралуын зерттей алады, ал үй жануарларының иелері өз асырандысының тұрған жерін бақылай алады;

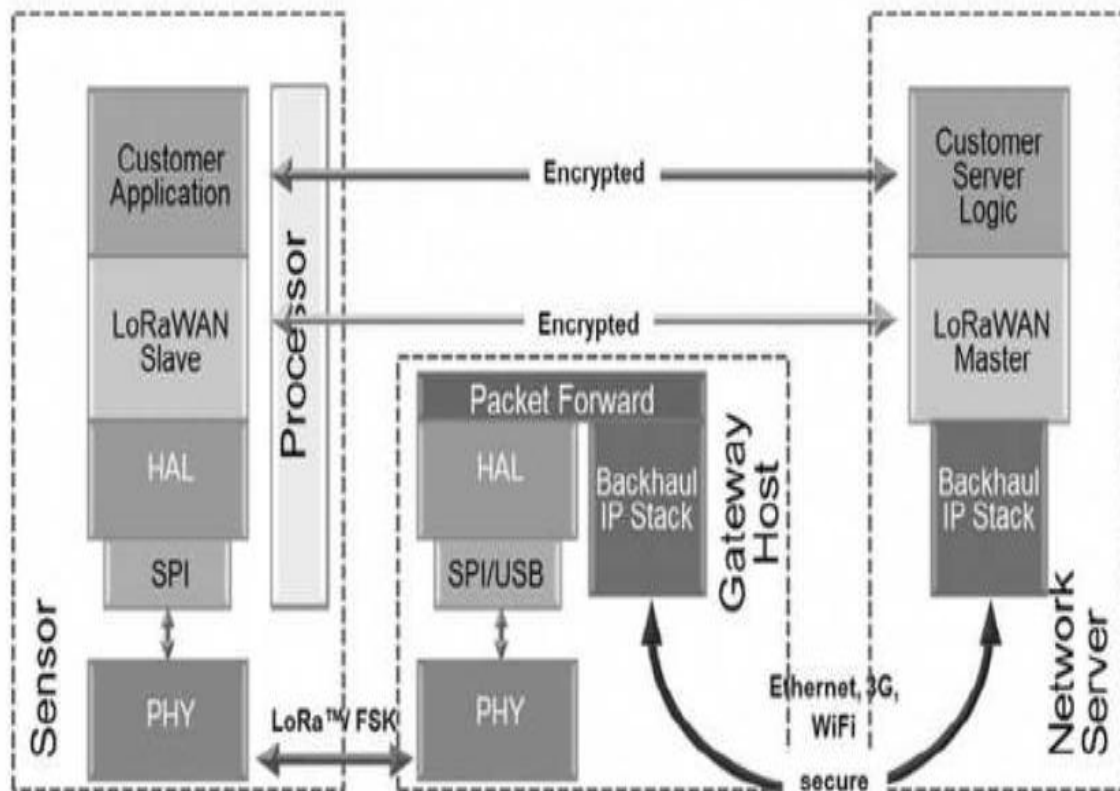
- логистикалық компаниялар контейнерлерді тасымалдайтын жүк көліктерінің, кемелер мен поездтардың қозғалысын бақылау мүмкіндігіне ие бола алады;

- тұрмыстық сұйық отын өндірушілер май бақтарының босауы кезінде автоматты түрде хабар ала алады.

2.2–суретте LPWAN желісіндегі өзара әрекеттесудің сұлбасы көрсетілген.

IBM Long Range Signaling and Control (LRSC) бағдарламалық қамтамасыздандырумен және IBM Internet of Things Foundation бұлтты серверімен бірге LoRaWAN технологиясы M2M-коммуникацияны ұйыдастыруға және интернет заттарын енгізуге көмектесе алады.

LRSC – миллиондаған құрылғыларды біріктіре желіні біріктіру, басқару және масштабтау мүмкіндігін беретін аралық БҚ. IBM "LoRaWANin C" деп аталатын қолданбалы бағдарламаларды өндіруге арналған LoRaWAN хаттамасының бастапқы кодын ашты.



Сурет 2.2 – LPWAN желісіндегі өзара әрекеттесу сұлбасы

Қазіргі заманғы LoRaWAN технологиясының дамуымен Еуропада LPWAN-желілерінің операторлары мен құрылғыларын әзірлеушілер негізінен тұрмыстық секторға (су, электр есептегіштері) бағытталғанымен сипатталады. Бұл мынадай түсінікті қалыптастырады: желі нүктелері санының айтарлықтай өсуі және сәйкесінше, қолданылу аймағының кеңеюі, яғни бәсекелес технологияларды жеңетін параметрлерге қол жеткізуге болады. Ресейде арнайы директивалар қабылданбай мемлекеттік деңгейде "тұрмыстық" секторды қамту іс жүзінде мүмкін емес. Сонымен бірге желілік (су, жылу, электр) компанияларды шығындарын азайтуға шынайы мүдделі және өз процестерінің, әсіресе қазіргі күрделі экономикалық жағдайларда тиімділігін арттыру мақсатында ұмтылуға мәжбүр болып келеді. Мақалада сипатталған эксперимент LoRaWAN технологиясы генераторлар мен энергия тасымалдаушыларды ресурстарды барынша тиімді пайдалануға шығаратын шаруашылық объектілерінің жай-күйін мониторингілеу бойынша шешімді құру үшін ең сәтті негіз болып табылатынын көрсетті. Бұдан былай LPWAN технологиясының базасында жылу, су, бу, газ және электр энергиясын технологиялық және коммерциялық есепке алу жүйесін қалыптастыруды күту қажет. Ақиқатты ескере келе, AURORA Mobile Technologies өзінің серіктестермен бірлесіп SX1272 негізіндегі LoRa-модемдерін модемі бар бір

пакетте дербес сенсорды алу үшін «ТОЭС» пайдаланатын жылу түрленгіштері мен қысым датчиктерін біріктіре бастады.

Жаңа буын желілерінде LPWAN-ды қолдану. LPWAN (Low-Power Wide - Area Network) - телеметрияның құрылғылары мен ірі таратылған сымсыз желілері үшін қолданылатын радиобайланыстағы жаңа тәсіл. Оның ерекшелігі – шамалы энергияны тұтыну (low-power) және кең аймақты қамту (wide-area).

Кез келген қолданыстағы сымсыз деректер беру технологиялары қашықтық, жылдамдық және энергия тиімділігі сияқты сипаттамаларға ие, сонымен бірге 3-нің 2-і ғана сәйкес келуі де мүмкін.

Мысалы, су немесе газ есептегішінің көрсеткіштерін үнемі жіберіп отыратын GPRS-модемы ұялы операторлардың тарифтерінен 2-3 есе төмен абоненттік төлем кезінде тиімсіз болады. Тұрақты зарядтау немесе батареяларды жиі ауыстыру да пайдалануды қымбат қылады және әуреге салады.

LPWAN технологиясы үлкен қашықтыққа деректерді беруде энергияның тиімділігін қамтамасыз етеді. LPWAN тәсілін пайдалана отырып, ақпаратты ондаған километрге жеткізуге және бір батареяда бірнеше жыл бойы жұмыс істеуге қабілетті құрылғылар жасалады.

Қазіргі сымсыз технологиялар жеке қосымшалардың көлемі бойынша шағын деректерді алыс қашықтықтарға жоғары автономды және қосылу құны төмен болған кезде жеткізуін қамтамасыз етуге қабілетсіз болып табылады. Әдетте, мұндай қосымшалар машина аралық өзара байланыс пен заттардың интернеті жатады.

LPWAN-телематикалық құрылғылардың мүлдем жаңа класын қолдайтын технология. Оның пайда болуы компоненттік базаның, яғни радиотолқындар мен қабылдау-тарату жабдығының дамуы арқасында мүмкін болды.

Заттардың интернеті (Internet of Things, IoT) - кез келген жерде және кез келген уақытта интернет арқылы құрылғылар мен адамдар арасындағы қашықтықтан өзара байланысу және деректер алмасу тұжырымдамасы болып табылады. LPWAN технологиясымен бірге заттардың интернет принципі шешілетін міндеттердің жаппай өсуін, жаңа экономикалық тәсілдердің пайда болуын және тұтас салалардың бизнес-моделінің өзгеруін қамтамасыз етеді.

#### Жалпы сипаттамасы

Бұл желі, ең алдымен, ақпараттың үлкен көлемін берумен байланыспаған телеметрия есептерін шешуге арналған. Телеметриялық ақпарат деп 0.3-тен 40 кбит/с дейін өткізу жолағы жеткілікті датчиктердің немесе құрылғылардың кез келген түрінің жай-күйі туралы ақпаратты жинау және беруді айтамыз.

Пакеттің максималды ұзындығы 256 байтты құрайды. Телеметрия шешетін міндеттердің көпшілігі үшін бұл байт жеткілікті болып табылады. Сонымен қатар, шешім телеметриялық ақпаратты пассивті жинауға ғана емес, сондай-ақ соңғы құрылғыларды басқаруға да мүмкіндік береді.

Шешім төмендегілерді қарастырады:

- Қолданыстағы есептеу құралдарына/датчиктерге/кез келген құрылғыларға қосылатын немесе жаңадан құрылған құрылғыларға интеграцияланатын көптеген шеткі құрылғылар.

- Соңғы құрылғыларымен радиоинтерфейсті қамтамасыз ететін базалық станциялар желісі.

- ОТА (Over-The-Air), құрылғыларды белсендіру, толассыз шифрлау, пакеттерді құрылғылардан/құрылғыларға жіберу және радиоарна параметрлерін бақылау сияқты функцияларды қамтамасыз ететін желіні басқарудың орталық инфрақұрылымы.

- Нақты кейсті жүзеге асыратын қолданбалы жүйе.

- Мысалы: Қысым датчиктерінің мониторингі, сигнал беру, қозғалатын объектілерді қадағалау, есептеу құралдарынан көрсеткіштерді алу және пайдаланудың басқа да нұсқалары.

- Шешім бірінші кезекте 7-10 жылға дейін жоспарланған қызмет мерзімі бар және де өзіндік қуат көзі бар автономды соңғы құрылғыларды пайдалануға бағытталған.

"Semtech" желісі шешімінің қолданыстағы нұсқасы SEMTECH корпорациясы ұсынған LoRa модуляциясын іске асыратын энерготімді бір кристалды трансиверлердің және baseband sx1301 процессорында салынған базалық станциялардың негізінде салынған, көптеген радиоарналарды бір мезгілде өңдеуді қамтамасыз ететін радиоинтерфейсте негізделеді.

## 2.6 Физикалық деңгейдегі радиоарна

Физикалық деңгейдегі радиоарна (OSI Layer I) CSS (Chirp spread spectrum – сызықтық-жиіліктік модуляцияның бір түрі) жеке іске асыру болып табылатын Lora модуляциясы базасында құрылады. Осы модуляцияның әдісі спектрді кеңейту технологиясын пайдалануды болжайды, бұл кезде деректер кейбір уақыт интервалында ұлғаятын немесе азаятын жиілікпен кең жолақты ЛЧМ-импульстермен кодталады.

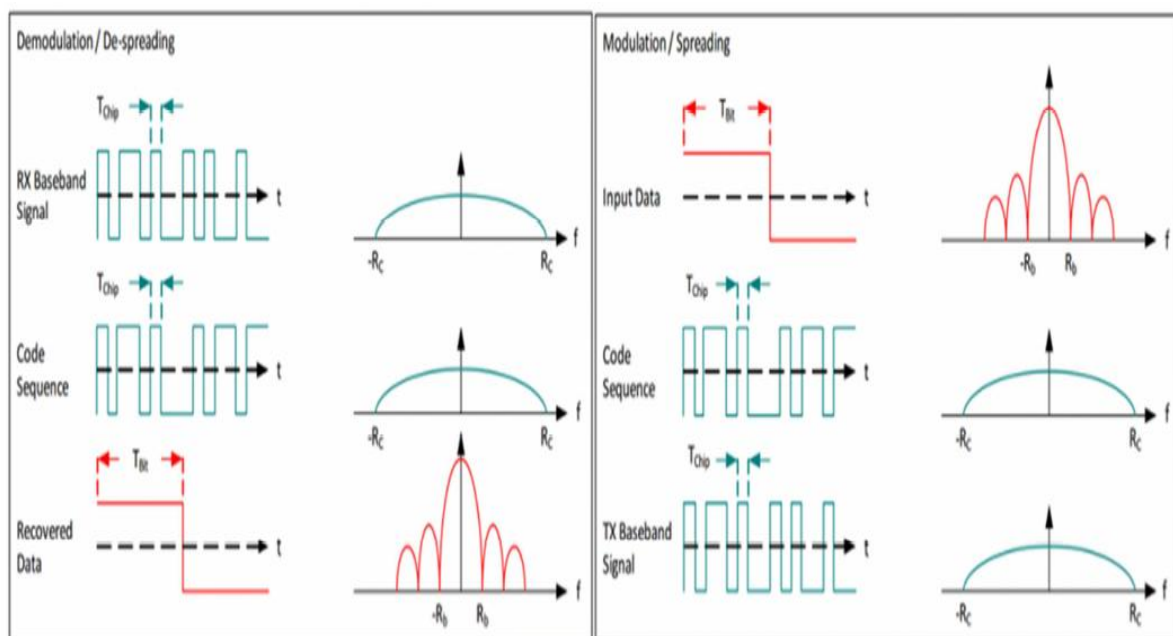
Спектрді тікелей кеңейту технологиясынан айырмашылығы мұндай шешім түрі қабылдағышты жиіліктің номинал мәнінен ауытқушылығын тұрақты етеді және тактілік генераторға қойылатын талаптарды жеңілдетеді. Жекелеген трансиверлердің максималды рұқсат етілген шығаратын қуатын ескере отырып, байланыс арнасының бюджеті 168 дБ құрайды, бұл ауылдық жерлерде 15 км-ге дейін және тығыз қалалық құрылыс жағдайында 5 км-ге дейін қашықтықта кепілді байланыс желісін ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

Салыстыру үшін: GFSK-модуляциясын пайдалана отырып, зияткерлік есептеу құралдарының деректерін берудің максималды мүмкін болатын қашықтығы 1-2 км-ден аспайды. Мысалы, SF=12 кеңейту коэффициентін қолданғанда LoRa демодуляторы радиоқабылдағыш кірісіндегі сигнал/шу қатынасы 20 дБ тең болған жағдайда жұмыс істей алады (кесте. 1.1).



Бұл жерде теріс мәндер сигналды өз шуы деңгейінен төмен қабылдау мүмкіндігін көрсетеді. Қателерді түзету жіберілетін пакеттегі деректерді қосымша кодтаумен байланысты шамалы артықшылықты енгізуді талып етеді.

LoRa-құрылғылар 4G/LTE стандарттары жабдықтарының субгигагерц сигналдарынан күшті интерференциялық кедергілердің әсері жағдайында тұрақты жұмыс істейді. Мысалы, SX1272-дегі жолақішілік интерференциялық кедергілердің басу деңгейі жиілік манипуляциясымен салыстырғанда 25 дБ –ге күштірек. Тағы бір ерекшелігі қабылдағыштардың жоғары деңгейдегі таңдау мүмкіндіктері болып табылады. Тиісті көрсеткіштердің үлгі мәндері нақты қолданылатын құрылғыларда қарастырылады. 2.3 суретте радиоқабылдағыш трактатының қабылдағышындағы сигнал/шу қатынасы көрсетілген.



Сурет 2.3 – радиоқабылдағыш трактатының қабылдағышындағы сигнал/шу қатынасы

LoraWAN-MAC деңгейі. Егер LoRa модуляциясы физикалық деңгей болса (OSI layer 1), онда LoRaWAN (LongRangeWide-AreaNetworks) – MAC арналық деңгей протоколы болып табылады (OSI layer 2. LoRaWAN желісі қарапайым "жұлдыз" топологиясына ие (құрылғылар арасындағы ретрансляторлар және тікелей өзара байланыс көзделмеген)). Желі тораптары үшін шамалы энергия тұтыну, деректер алмасудың жоғары емес жылдамдығы және байланыстың үлкен қашықтығымен (ауылдық жерлерде 15 км және тығыз қалалық құрылыста 5 км) сипатталады.

LoRaWAN хаттамасы энергияға тәуелді шеткі құрылғылар үшін оңтайландырылған және дербес қуат көздерін пайдалану кезінде ақпаратты жеткізу жылдамдығы мен құрылғылардың жұмыс уақыты арасындағы ақылға қонымды компромистті қамтамасыз ете отырып, құрылғылардың түрлі

кластарын қамтиды. Хаттама толық екі жақты байланысты, сондай-ақ криптозғалтқышты қамтамасыз етеді.

LoRaWAN шлюздері желісінде (базалық станциялар) соңғы құрылғылардан алынған шифрланған деректерді провайдер желісінің орталық серверіне (NetworkServer) және одан әрі деректер түпкі жүйеге-тұтынушыға түсетін сервис-провайдердің қосымшалар серверіне (AppServer) береді.

Қазіргі уақытта LoRaWAN құрылымының екі іске асырылуы бар: біріншісі Semtech — LoRaMAC, ал екіншісі IBM (LoRaWANin C). Екі іске асыру әмбебап Hal құрылғы драйверін пайдаланады, бұл ашық LoRaWAN коды әртүрлі жабдықта қолдану үшін бөлінеді. Smartiko соңғы құрылғыларын іске асыруда Semtech-тен UOS операциялық жүйесіне бейімделген (өңделген) LoraMAC-ты қолданады.

## 2.7 LoraWan - шеткі құрылғылары

LoRa соңғы құрылғылары LoRaWAN желісінің элементтері болып табылады, онда олар өлшеу, басқару немесе бақылау сияқты функцияларды орындайды. Шеткі құрылғылар алыстан орналасады және әдетте автономды қорегі бар. LoRaWAN желілік протоколын пайдалана отырып, бұл соңғы нүктелер LoRa шлюзімен (концентратор немесе базалық станция) байланыс үшін бапталуы мүмкін.

LoRaWAN желісіндегі деректер соңғы нүктеден серверге де, немесе, керісінше екі жаққа да жіберілуі мүмкін. Нүктелер деректерді үнемі емес, тек кейбір уақыт аралығында ғана (әдетте 1-5 секундқа) қосып алып кетеді, және ол уақыт біткеннен соң деректерді қабылдау үшін екі уақытша терезе ашылады. Қалған уақытта түпкі түйіндердің трансиверлері не белсенді емес күйде (sleep) не құрылғы сыныбына (A, B немесе C) байланысты қабылдау жағдайында болады.

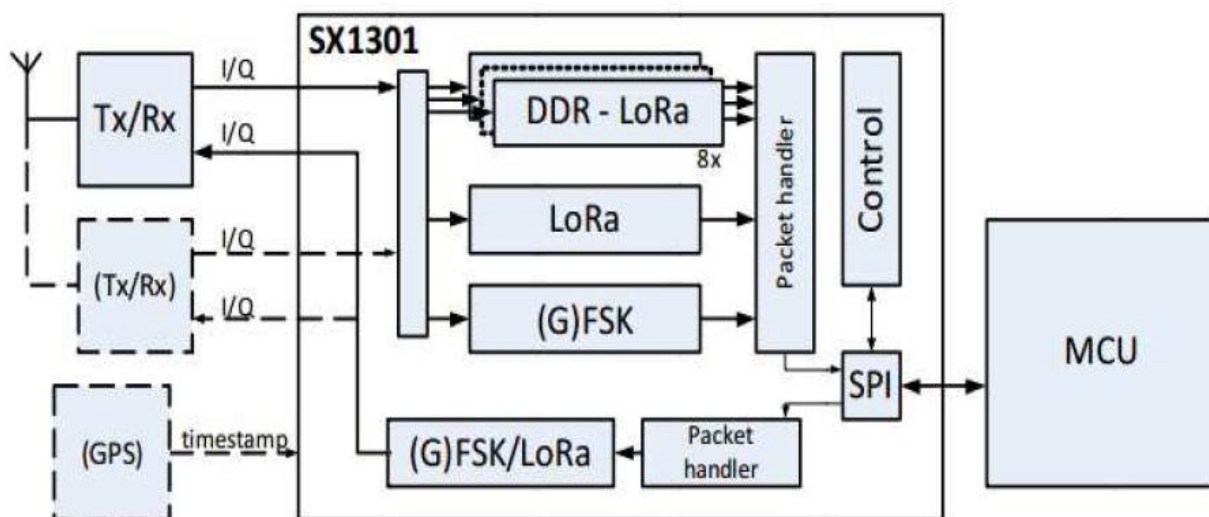
Нүктелер бір және бірнеше шлюздермен алмасу жасай алады, тораптар екі режимде жұмыс істей алады: нүкте-нүкте,соңғы құрылғы мен шлюз арасында алмасу жүргенде және гибридік режимде, бір жағынан, радиоарна бойынша басқа тораптарға қосылған кезде, ал екінші жағынан, TCP/IP бойынша желіге сым қосылған және шлюз рөлінде әрекет етеді. Мұндай бір арналы шағын шлюз деректерді қабылдау және жіберу үшін арналған шағын шлюздердің бос уақыттық слоттары кезінде өзара бәсекелесе келе бір және бірнеше ондаған шеткі құрылғыларға қызмет көрсете алады.

### LoRaWAN концентраторлары

LoRa шлюздері LoRaWAN жүйесінде үлкен радиус әсерінің радиалды жұлдыз тәрізді желілік архитектураларында пайдалануға арналған. Шлюздер бір уақытта бірнеше арналардың демодуляциясын орындауға қабілетті, тіпті бір арнада көптеген сигналдарды сол арнада ғана бір уақытта демодуляциялай алатын көп арналы мультимодемді трансиверлерді қамтиды.

Сипатталған шлюздер желінің жоғары сыйымдылығын қамтамасыз ету үшін соңғы нүктеде қолданылатын шлюздерден өзгеше радиожиілікті компоненттерді пайдаланады. Шлюздер соңғы тораптар мен орталық сервер арасындағы хабарламаларды жіберуге арналған мөлдір көпір түріндегі интерфейс ретінде қызмет етеді.

LoRaWAN оператор желісінің (көлік backhaul желісі) орталық сервері мен концентраторлар арасындағы байланыс TCP/IP хаттамасы бойынша дәстүрлі технологиялар (Ethernet, WiFi, GSM) көмегімен жүзеге асырылады. LoRaWAN желісінің тораптары (end-node) бір және бірнеше шлюз ретінде қамту аймағында болуы мүмкін. Абоненттік құрылғысының тығыздығы жоғары болатын желілерде шлюзбен бірге бірнеше түйіндерден бір уақытта деректерді қабылдау мүмкіндігі бар арнайы көп арналы концентраторлар жұмыс атқарады. Шлюздің дәл бұл мүмкіндігі бір концентратор ғана қызмет атқаратын жергілікті жер учаскесіндегі абоненттік құрылғылардың (end-node) тығыздығына тікелей максималды әсер тигізеді.



2.4 Сурет – Sx1301 базасындағы шлюздің құрылымдық сұлбасы

Semtech SX1301 базасындағы концентраторлар бір шаршы километрге 5 мыңға дейінгі абоненттік құрылғыларға қызмет көрсету мүмкіндігіне ие (8 тәуелсіз арна және бір көлік backhaul арна бір уақытта жұмыс істей алатын қос RF фронтэндті қамтамасыздандыратын 2 чип бортындағы sx1257).

Желі сыйымдылығы қазіргі уақытта алынуы мүмкін пакеттердің санына тәуелді болып келеді. 8 арналы Sx1301-дегі бір шлюз LoRaWAN протоколын пайдалана отырып, күніне 1,5 млн. пакетті алуға қабілетті. 2.4 суретте Sx1301 базасындағы шлюздің құрылымдық сұлбасы келтірілген.

### 3 Негізгі параметрлерді есептеу бөлімі

#### 3.1 LoRaWan құрылғыларының пайдаланатын қуатын есептеу

Деректерді тарату кезіндегі қолданылатын қуат деректер пакетінің өлшемімен тікелей байланысты. Microchip RN2483 үшін тарату кезіндегі пайдалану тогы өндірушілердің көрсетуі бойынша 14,2 мА құрайды. 2 В батареясын пайдаланғанда деректерді тарату кезіндегі тұтынылатын қуаттылықтың мәні келесіні құрайды:

$$P = UI, \quad (3.1)$$

$$P = 14,2 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 2,84 \text{ мВт.}$$

Microchip RN2483 үшін деректерді қабылдау кезіндегі пайдалану тогы өндірушілердің көрсетуі бойынша 2,8 мА құрайды. 2 В батареясын пайдаланғанда деректерді қабылдау кезіндегі тұтынылатын қуаттылықтың мәні (2.1) формуладағыдай келесіні құрайды:

$$P = 2,8 \cdot 10^{-3} = 0,56 \text{ мВт.}$$

LoRaWan во құрылғыларын тұтыну тогы "ұйқы" режимі кезінде 1,8 мкА-ны құрайды, 2 В батареясын пайдаланғанда "ұйқы" режимі кезінде тұтынылатын қуат мәні келесіні құрайды:

$$G = 10 G_{\text{Id}}/10 \quad (3.2)$$

$$G = 10 * 2,2 / 10 = 1,66.$$

Қабылдағыштың сезімталдылығы қайта кодтауға келетін минималды түсетін сигнал ретінде анықталады. RN2483 қабылдағышының сезімталдылығы -143 дБм-ді құрайды. Ват түрінде шама алу үшін келесі формуланы қолданамыз:

$$P_r = \frac{P_{\text{дБм}}}{1000} \quad (3.3)$$

$$P_r = \frac{\left(\frac{-143}{10}\right)}{1000} = 5,0118 \cdot 10^{-18}$$

Берілген ток шамасы барлық пайдалану режимдерінде LoRaWan мәнінің қай күйде болуына, сондай-ақ олардың әрқайсысының жұмыс істеу ұзақтығына байланысты болады. Орташа тұтыну тогы мына формула бойынша анықталады:

$$I_{\text{сред.}} = I_{\text{МГН}} \frac{t_{\text{Вкл}}}{t_{\text{Вкл}} + t_{\text{Откл}}} \quad (3.4)$$

мұндағы  $I_{\text{лездік}}$  – берілген режимдегі лездік шама;

$t_{\text{қосу}}$  – LoRaWan құрылғысының токты қолдану уақыты;

$t_{\text{өшіру}}$  – құрылғының тыныш күйдегі уақыты.

Құрылғы үш жұмыс режимін қамтиды:

а) күту режимі. Бұл режимде тұтыну тогы RN2483 микроконтроллермен 2,6 мкК (номиналды мән), 3 мкК (максималды мән) құрайды. Біздің есептеу үшін тұтынылатын токтың максималды мәнін таңдаймыз;

б) маяк сигналдарды қабылдау және оларды өңдеу. Маяктік фреймдерді алу үшін ұйқы режимінен шығу әрбір 10 с 6 мс-та орын алады;

в) деректерді беру режимі. Есептеу үшін деректерді беру тәулік ішінде әр сағат сайын жүргізіледі, бұл ретте тұтыну тогы 100 мс ішінде 40 мА құрайды.

Сигналдарды қабылдау кезінде орташа токты анықтаймыз:

$$I_{\text{орт.қабылдағыш}} = 40 \cdot 10^{-3} \frac{(6 \cdot 10^{-3})}{10} = 24 \text{ мкА.}$$

Сигналдарды тарату кезіндегі орташа токты анықтаймыз:

$$I_{\text{орт.таратқыш}} = 40 \cdot 10^{-3} \frac{24 \cdot (100 \cdot 10^{-3})}{86400} = 1,1$$

Құрылғының пайдаланған орташа тогын 2.5 формула бойынша тауып аламыз

$$I_{\text{орташа}} = I_{\text{орта}} + I_{\text{орташа қабылдағыш}} + I_{\text{орташа таратқыш}} \quad (3.5)$$

$$I_{\text{орташа}} = 3 + 24 + 1,1 = 28,1 \text{ мкА}$$

Сигнал деңгейін анықтауға болатын радиотолқындарды таратудың үш үлгісі бар. Оның сезімталдық шегінен жоғары болуы сигналды табысты қайта кодтау мүмкіндігін анықтайды.

LoRaWan желісінің қабылдағыш-таратқыш торабы көп уақыт бойы ұйқылы режимде жатыр. Сондықтан торапты пайдалану әр түрлі жұмыс

режимдерінде тұтынылатын қуатқа байланысты. Сондықтан да, электр энергиясын тұтыну осы екі режимге байланысты болады. Арнаны тыңдауға және деректерді өңдеуге әлдеқайда аз энергия жұмсалады.

IEEE 802.15.4 стандартында ең қысқа деректер пакеті болып жиынтық ұзындығы 11 байтқа тең растау пакеті табылады. Сонда ұзындығы  $L_{data}$  (шифрлаусыз, 16 биттік адресациясы бар) деректерді тарату/қабылдау үшін энергия шығындары келесі өрнекпен табылуы мүмкін.

$$e_{data}(n) + \frac{L(n)}{L_{ACK}} = \frac{17+n}{11} \quad (3.6)$$

мұндағы  $n$  – деректер аумағының өлшемі (байт).

Берілген есептеуде  $L_{data}$  ұзындығымен деректер аймағының үш мәнін қарастырайық:  $L_{data} = 26$  байттық деректер пакеті хабарландыру 9 байт стандарт бойынша мұндай ұзындықпен қабылдағыштың сезімталдығының өзгешеліктері анықталады,  $L_{data} = 75$  байт және хабарландыру мөлшері 58 байт деректер аймағы, максималды ұзындығы бар  $L_{data} = 133$  байт және хабарландыру мөлшері 118 байт деректер пакет аймағы.

Үш мәндердегі қабылдау және тарату пакеттеріне кеткен энергиялық шығындарды есептейік:

$$e_{data}(n) + \frac{L_{data}(n)}{L_{ACK}} = \frac{17 + 9}{11} = 2,36,$$

$$e_{data}(n) + \frac{L_{data}(n)}{L_{ACK}} = \frac{17 + 58}{11} = 6,82,$$

$$e_{data}(n) + \frac{L_{data}(n)}{L_{ACK}} = \frac{17 + 118}{11} = 12,27.$$

### 3.2 LoRaWan желісінің қабылдау/тарату трактііндегі шуылдарды есептеу

Кез келген тарату деректері тарату жүйесіне енгізілетін әртүрлі бұрмаланушылықтармен түрленіп жіберілген сигналдан тұрады, сонымен қатар әр түрлі сигналдарды тарату кезінде бастапқы толқынмен өзара әрекеттесетін қосымша қажетсіз сигналдардан тұрады деген тұжырым әділ болып табылады. Бұл қажетсіз сигналдар шу деп аталады. Шу байланыс жүйелерінің өнімділігін шектейтін негізгі фактор болып табылады.

Байланыс жүйелері өнімділігінің жоғарғы шегі жылу шуын анықтайды. Ол барлық жиіліктер спектрі бойынша бөлінген және тарату және қабылдау

құрылғыларына, сондай-ақ электромагниттік сигналдарды тарату ортасына әсер етеді.

Жылу шуының спектрлік тығыздығы жиілікке байланысты емес, сондықтан кең диапазонда ақ шу деп қарастырылуы мүмкін.

Жылу шу жиілігіне байланысты емес, сондықтан канал еніндегі шу қуатының тығыздығы келесіні құрайды:

$$N = kTB, [Вт] \quad (3.7)$$

мұндағы,  $k = 1,3803 \cdot 10^{-23}$  Дж/К Больцман тұрақтылығы;  
 $T$  = Кельвинмен берілетін абсолютті температура;  
 $B$  = байланыс желісінің ені, Гц.

Шу қуаттылығының тығыздығын анықтайтын формуланы децибел-ватты қолдану арқылы жазайық:

$$N = 10 \lg k + 10 \lg T + 10 \lg B, [\text{дБВт}] \quad (3.8)$$

LoRaWan арнасының ені 5 МГц құрайды, LoRaWAN стандартты шарттармен 298 К температурада, сондай-ақ төменгі және жоғары температура жағдайындағы шуыл қуаты тығыздығының мәнін табамыз:

$$N = 10 \lg(1,38 \cdot 10^{-23}) + 10 \lg 298 + 10 \lg 5 \cdot 10^6 = -136,3 [\text{дБВт}],$$

$$N = 10 \lg(1,38 \cdot 10^{-23}) + 10 \lg 323 + 10 \lg 5 \cdot 10^6 = -136 [\text{дБВт}],$$

$$N = 10 \lg(1,38 \cdot 10^{-23}) + 10 \lg 223 + 10 \lg 5 \cdot 10^6 = -138 [\text{дБВт}].$$

Импульстік бөгеуілдердің пайда болу мүмкіндігі туралы айтып кету қажет, бұл бөгеуілдердің пайда болуы кездейсоқ процесс болып табылады.

### **3.3 Электр қосалқы станцияның ғимаратына деректерді беруге жиілігі бойынша жақын болатын электромагниттік сәулеленудің әсері**

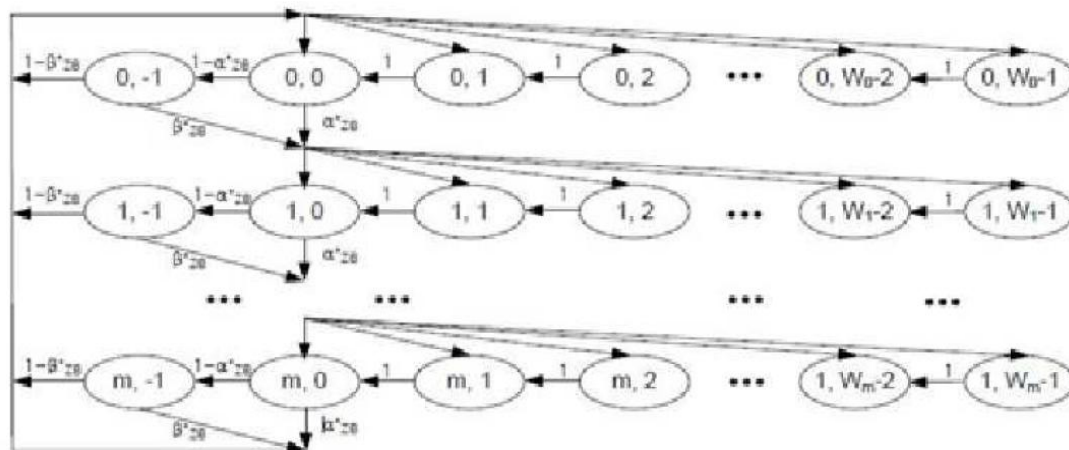
LoRaWan құрылғыларының электр қосалқы станциясындағы жұмысы кезінде жиілік бойынша жақын электромагниттік сәулеленудің әсері болуы мүмкін, мысалы, жедел персонал пайдаланатын байланыс құрылғылары. Осындай жағдайларда интермодуляциялық шу болуы мүмкін. Ол екі бастапқы сигналдың қосындысын, айырымын немесе көбейтіндісін білдіретін жиіліктерде пайда болатын кедергілер жиынтығы болып табылады. Бұл паразиттік сигнал байланыс сигналымен интерференциялануы мүмкін. Сонымен қатар интермодуляциялық шу қабылдағыштың, таратқыштың немесе аралық тарату жүйесінің сызықсыз болуы салдарынан туындауы мүмкін.

Жақын жердегі электромагниттік сәулеленудің әсерін LoRaWAN желісімен бірге жұмыс істеу кезінде Bluetooth желісінің кедергі келтіретін әрекеті мысалында қарастыруға болады.

LoRaWAN және Bluetooth желілері 2,4 ГГц ISM жиілік жолағында жұмыс істейді.

LoRaWAN жұмысының тиімділігін бағалау үшін Bluetooth желісі тарапынан кедергілері болғанда Марков тізбегінің математикалық моделін қолданамыз. Марков тізбегі бұрынғыға қарамастан тіркелген қазіргі болашақ кезіндегі соңғы немесе есептеу саны нәтижесімен берілген кездейсоқ оқиғалардың тізбегін қарастырады.

Суретте 3.1 Bluetooth кедергілерінің қатысуымен LoRaWAN құрылғылары жұмысын модельдеу үшін Марков тізбегі моделі келтірілген. Егер LoRaWAN құрылғысы  $i$  кейінге қалдыру кезеңінде және оның күйінің мәні нөлге тең болса, онда LoRaWAN құрылғысы арна күйінің бірінші бағалау жағдайын орындайды.



Сурет 3.1 - Bluetooth әсері кезіндегі LoRaWAN желісі жұмысының Марковтық тізбек моделі

Егер арна күйінің бірінші бағалауы Bluetooth-дың басқа да құрылғыларынан сәтсіз жіберілетін жағдайлар туындаса, онда LoRaWAN құрылғысы мерзім кезеңінің күйін  $i$ -ден  $i+1$ -ге арттырады және  $[0, W_{i+1} - 1]$  ауқымында кездейсоқ санауыштың жаңа мерзімін таңдайды. Ал егер арнаның бірінші бағасы сәтті өтсе, онда LoRaWAN құрылғысы екінші ССК-ны орындайды. Егер арна күйін екінші бағалау орындалмаса, құрылғы сол процедураны қайтадан орындайды. ССК сәтті болған жағдайда деректер пакеті беріледі. Бұл Марков тізбегінің моделінде бірінші және екінші ССК-да қатенің мүмкіндігі мерзім кезеңдеріне қарамастан тұрақты болады және тиісінше  $\alpha_{ZB}$  және  $\beta_{ZB}$  белгіленеді. Осылайша, күйлер арасынан өту ықтималдығы келесідей анықталады:



$$P\{b_{i,j}/b_{i,j+1}\} = 1, \quad i \in (0, m) \text{ и } j \in (0, W_j - 2), \quad (3.9)$$

$$P\{b_{i,j-1}/b_{i,0}\} = 1 - \alpha_{LoRa}^*, \quad i \in (0, m), \quad (3.10)$$

$$P\{b_{i,-1}/b_{i,0}\} = 1 - \frac{\alpha_{LoRa}^*}{W_i}, \quad i \in (1, m) \text{ и } j \in (0, W_j - 1), \quad (3.11)$$

$$P\{b_{i,j}/b_{-1,-1}\} = \frac{\beta_{LoRa}^*}{W_i}, \quad i \in (1, m) \text{ и } j \in (0, W_j - 1) \quad (3.12)$$

$$P\{b_{0,j}/b_{i,-1}\} = \frac{1 - \beta_{LoRa}^*}{W_0}, \quad i \in (1, m - 1) \text{ и } j \in (0, W_0 - 1) \quad (3.13)$$

мұндағы  $b_{i,j}$  – тұрақты ықтимал күйлерді  $(i, j)$  анықтайды;

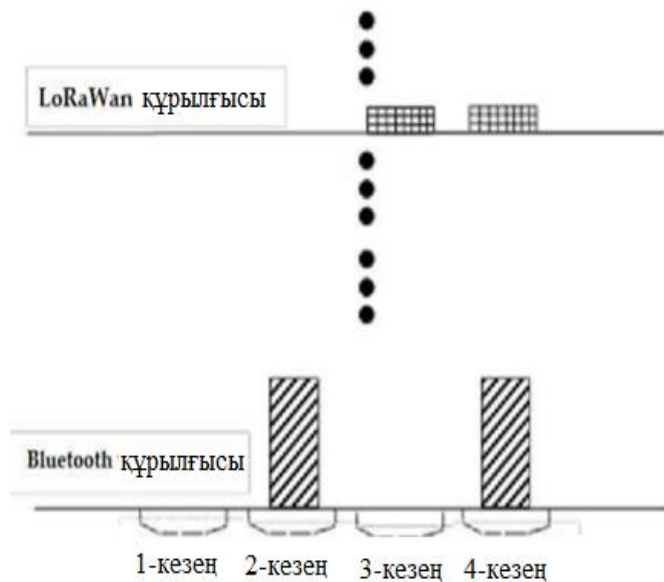
$m$  – мерзім кезеңінің максимумы;

$W_i$  – мерзімнің  $i$ -кезеңіндегі терезе мөлшері;

$LW$  – мерзім кезеңінен ССК-ның бастапқы күйіне өту ықтималдылығы.

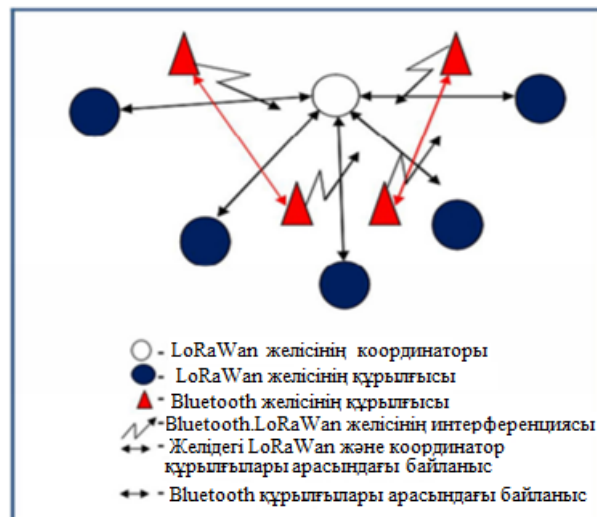
Bluetooth жүйесі нүкте-нүкте байланысын, сондай-ақ нүкте - көп нүкте байланысын да қамтамасыз етеді. Bluetooth арнасы уақыт аралығына бөлінген, әрбір уақыт аралығының ұзақтығы 625 мкс құрайды. 2,4 ГГц ауқымында 79 Bluetooth арнасы бар. Bluetooth құрылғыларының деректерін бір-бірімен жіберу осы жиілік жолағындағы спектрді (FHSS) кеңейте отырып, жиіліктің секірмелі қайта құрылуын пайдалану арқылы жүзеге асырылады. Деректер пакеттерін жіберу жылдамдығы өзгертін секірмелі арна арқылы жүзеге асырылады. 1 (DM1) орташа жылдамдықпен немесе 1 (DH 1) жоғары жылдамдықпен берілетін деректер пакеттері де бар және олар бір уақыт аралығын қамтиды. Деректер пакетінің басқа түрлері бес слотқа дейін берілуі мүмкін. Bluetooth құрылғылар үш қуат сыныбына бөлінеді. 1, 2 және 3-сыныптағы шығатын қуаттылықтың ең жоғары деңгейі тиісінше 100 мВт, 2,5 мВт және 1 мВт-қа орнатылған.

Bluetooth деректер пакеттерін тасымалдау LoRawan құрылғылары жағынан интерференцияға байланысты емес, сонымен қатар, бұл құрылғы өзінің төртінші деректер беру кезеңінде, 3.2 суретте көрсетілгендей, Bluetooth құрылғысына кедергі жасайды. Bluetooth құрылғылары болған кезде деректерді тасымалдау кейінге қалдырылуы тиіс.



Сурет 3.2 – LoRawan және Bluetooth құрылғыларының жіберілетін деректері

3.3 суретте сұлбалық деректер тораптарына LoRaWan ғимаратындағы электр станцияның Bluetooth желісінің кедергі әсері көрсетілген. LoRaWan тораптарының деректері базалық станцияға жіберіледі, бұл ретте берілген 2,4 ГГц жиілігінде жиілік бойынша тұрақты түрде жылжу кезінде Bluetooth құрылғыларының байланысы орын алады.



Сурет 3.3 - LoRawan және Bluetooth желілерінің интерференциясы

Тек  $\alpha_{ZB}^{BT}$  Bluetooth құрылғыларының көмегімен арна күйін бағалаудың бірінші ықтималдық сәтсіздігі  $2/79$  құрайды, бір ғана белсенді Bluetooth құрылғысы LoRaWan құрылғысына кедергі жасағанда,  $\alpha_{ZB}^{BT}$  мәні мынаған тең болады:

$$\alpha_{ZB}^{BT} = 1 - \left(\frac{77}{79}\right)^m, \quad (3.14)$$

мұндағы  $m$  Bluetooth құрылғыларының белсенділігін көрсетеді.

Сонда LoRaWan және Bluetooth желілерінің бірлескен жұмысы кезіндегі арна күйінің сәтсіз бағалануының бірінші ықтималдығын табамыз:

$$\alpha_{LR}^{BT} = 1 - \left(\frac{77}{79}\right)^m = 0,02$$

### 3.4 Бос кеңістіктің моделі

Жоғары вольтты қосалқы станциядағы мониторинг жүйелерінде жұмыс істеу үшін LoRaWan желісі ғимараттың ішінде жиі қолданылады. Бос кеңістік моделі ғимараттардың ішінде радиосигналдарды таратудың ең көп қолданылатын (оңайлатылған) моделі болып табылады.

Бұл модель радиосигналдың таралу арнасында радиотолқындардың сынуы, шағылысуы, жұтылуы, шашырауы және дифракциясы құбылыстарының болмауын болжайды. Сигнал энергиясы қабылдағыш пен таратқыш арасындағы қашықтық квадратына кері пропорционал болып азаяды, ал таратқыш антеннаның сигнал қуаты мен қабылдағыш және таратқыш антеннаның күшейту коэффициенттерінің ұлғаюымен көбейеді.

Есептеу үшін қажетті байланыс параметрлерінің мәні 2.1-кестеде келтірілген.

Кесте 3.1 - Есептеу үшін байланыстың бастапқы параметрлері

Параметрлер	Мағынасы
$r$ радиобайланыстың қашықтығы, м	20м; 30м
$D_0$ эталон қашықтығы, м	1
$\alpha$ трактідегі шығын дәрежесінің көрсеткіші	3
$P_t$ таратқышының орташа шығатын қуаты, дБм	1 мВт (0 дБм)
$P_n$ қабылдағышы шуының орташа деңгейі, дБм	-95,5
ОСШ ортаквадраттық ауытқуы, дБ	3
Қабылдайтын және тарататын антеннаның күшею коэффициенті	1,66
Көтергіштің толқын ұзындығы	0,125м

Қабылданған сигналдың қуатын анықтау үшін трактіде шығындардың таралу формуласы қолданылады

$$P = \frac{P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d^4 L}, \quad (3.15)$$

мұндағы  $P_t$  – таратылған антенна сигналының қуаты, дБ;  
 $P_r$  – қабылданған антенна сигналының қуаты, дБ;  
 $L$  – көтергіштің толқын ұзындығы, м;  
 $d$  – екі антенна арасындағы қашықтық;  
 $G_t, G_r$  – таратқыш және қабылдағыш антеннаның күшею коэффициенті, дБ.

Ашық ғимараттағы әлсіреу мәнін дБ-мен формула бойынша табамыз:

$$P_L = 10 \log \frac{P_t}{P_r} - 10 \log \frac{\varphi^2}{(4\pi)^2 d^2} \quad (3.16)$$

3.2-кестеде есептеу нәтижелері келтірілген. Есептеулерден қабылданатын сигналдың қуаты шамамен -95 дБ (эксперимент жүргізу кезінде қолданылатын LoRaWan платформасының сезімталдық шегі) болғанда, ашық кеңістіктегі әлсіреу мәні 65 дБ жетуі мүмкін.

Кестеден 3.4 суретте көрсетілгендей ара қашықтық артқан сайын қабылданатын сигналдың деңгейі күрт төмендейді және 30 м қашықтықта сезімталдылық шегінен төмен қарай азаяды.

Кесте 3.2 - Есептеу нәтижелері

Қашықтық, м	Қабылданатын сигнал қуаттылығы, Вт	Ашық бөлмедегі әлсіреу, дБ
5	$1,09 \cdot 10^{-8}$ (-79,62 дБ)	59,63
10	$2,729 \cdot 10^{-9}$ (-85,63 дБ)	55,63
15	$1,21 \cdot 10^{-9}$ (-89,17 дБ)	59,17
20	$6,82 \cdot 10^{-10}$ (-91,66 дБ)	61,66
25	$4,36 \cdot 10^{-10}$ (-93,6 дБ)	63,60
30	$3,03 \cdot 10^{-10}$ (-95 дБ)	65,19
35	$2,22 \cdot 10^{-10}$ (-96,5 дБ)	66,53
40	$1,7 \cdot 10^{-10}$ (-97,7 дБ)	67,69
45	$1,35 \cdot 10^{-10}$ (-98,6 дБ)	68,69
50	$1,09 \cdot 10^{-10}$ (-99,62 дБ)	69,62

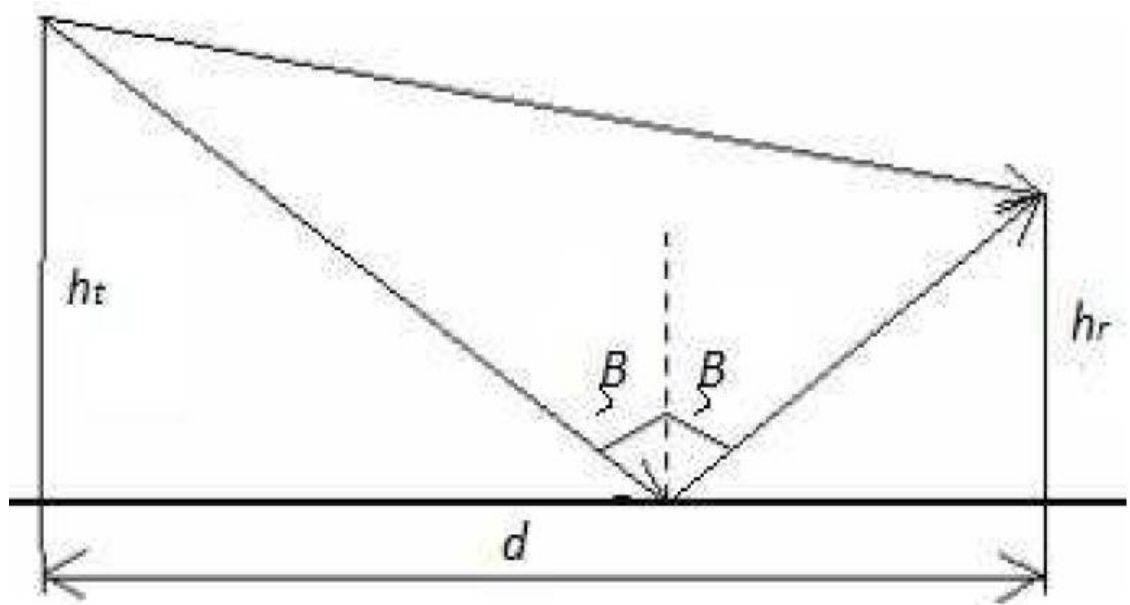


Сурет 3.4 – Қабылданатын сигнал қуаттылығының қашықтық бойынша өзгерісі

Бос кеңістік моделі жер беткейінің шағылуын, тыну және көп сәулелердің таралуын ескермейді. Есептеу кезінде үлкен дәлдікті тек екі сәулелі модель және көлеңкелеу моделі бере алады.

### 3.5 Қос сәулелі модель

Бұл модель таратқыштан қабылдағышқа жіберілетін сигналдың түзу сызықтық таралуы жалғыз емес деп есептейді, сондай-ақ жер беткейінің шағылуы да бар. Екі әртүрлі ортамның ортасында орналасқан жазық шекарасының маңында орналасқан электромагниттік өрісті екі түрлі электромагниттік толқындардың – орта шекарасынан келетін тіке және шағылған толқындардың бірігуі түрінде ұсынуға болады (3.5-сурет).



3.5 Сурет - Қос сәулелі таралу моделі

Берілген модель еркін кеңістік моделімен салыстырғанда өте жақсы нәтиже беретіні белгілі.

Қабылдау және тарату құрылғысының биіктігін ескере отырып алынған сигнал қуаты мынадай формула бойынша анықталады:

$$P = \frac{P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d^4 L} \quad (3.17)$$

мұндағы  $h_t$  - LoRaWan таратқыш құрылғысы орналасқан биіктік оны 1,5 м тең деп қабылдаймыз;

$h_r$  - LoRaWan қабылдау құрылғысы орналасқан биіктік оны 1,5 м тең аламыз;

$G_t$  – таратқыш антеннаның күшею коэффициенті, дБ;

$G_r$  – қабылдағыш антеннаның күшею коэффициенті, дБ.

2.3-кестеде LoRa қабылдағыш және таратқыш құрылғысы арасындағы қашықтыққа байланысты алынған сигнал қуатының есептелген мәндері келтірілген. Қос сәулелі тарату моделі үшін алынған есептеу нәтижелерінен көрініп тұрғандай, екі ортадағы бөлімнің болуы бос кеңістіктің моделімен салыстырғанда жылдамырақ, азаюға алып келеді. 20 метр қашықтықта алынған қуат мәні -70 дБ дейін төмендейді.

Қос сәулелі модельде тарал жолында орналасқан түрлі кедергілердің шағылуы ескерілмейді.

3.6-суретте қабылдағыштан алынған қуаттылықтың қашықтыққа тәуелділігі туралы қос сәулелі модел бойынша есептелген радиосигналдың таралу (3.3 кесте) деректері арқылы тұрғызылған график келтірілген. Графиктен арақашықтық көбейген сайын қабылдағыштың мәліметтерді алу бөліміндегі қуаттылық дейгейінің төмендеуін және де 35-50 м қашықтықта өте

төмен мәнге ие болатынын көріге болады, алайда талап етілген сапа дейгейі арқылы детекторлануы мүмкін.

Кесте 3.3 – Қабылданған сигналдың қуаттылығы

LoRaWAN таратқышы мен арасындағы қашықтық, d(м)	желісінің қабылдағышы (дБ)	Қабылданған сигнал қуаты, Вт
5		$2,232 \cdot 10^{-5}$ Вт (-46,5 дБ)
10		$1,395 \cdot 10^{-6}$ Вт (-58,5 дБ)
15		$2,756 \cdot 10^{-7}$ Вт (-65,6 дБ)
20		$8,719 \cdot 10^{-8}$ Вт (-70,6 дБ)
25		$3,571 \cdot 10^{-8}$ Вт (-74,47 дБ)
30		$1,722 \cdot 10^{-8}$ Вт (-77,63 дБ)
35		$9,296 \cdot 10^{-9}$ Вт (-80,3 дБ)
40		$5,449 \cdot 10^{-9}$ Вт (-82,6 дБ)
45		$3,402 \cdot 10^{-9}$ Вт (-84,7 дБ)
50		$2,232 \cdot 10^{-9}$ Вт (-86,5 дБ)



Сурет 3.6 - Қабылданған қуаттылық деңгейінің қашықтыққа байланысты өзгерісі

Осылайша, ашық бөлмедегі әлсіреу мәнін дБ-де мына формуламен тауып аламыз:

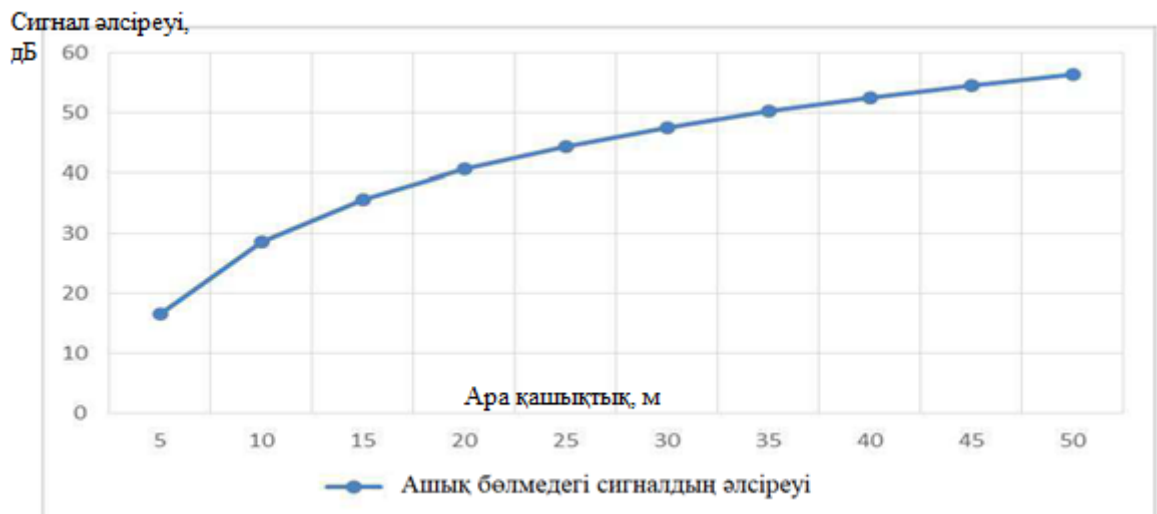
$$P_L = 10 \log \frac{P_t}{P_r} \quad (3.18)$$

Ашық бөлмедегі әлсіреуді есептеу барысында радиосигналдың таралуы кезінде LoRaWan жүйесіндегі қабылдағыш пен таратқыш арасындағы қашықтыққа (3.4-кесте) әлсіреудің тәуелділігі анықталды.

Кесте 3.4 - Ашық бөлмедегі әлсіреу мәндері

LoRaWan желісіндегі қабылдағыш пен таратқыш арасындағы қашықтық, d(м)	Ашық бөлмедегі әлсіреу мәндері, дБ
5	16,51
10	28,55
15	35,60
20	40,60
25	44,47
30	47,64
35	50,317
40	52,637
45	54,683
50	56,53

3.7 суреттегі графиктен қашықтықтың ұлғаюымен сигналдың әлсіреуі күрт көбейеді және таратқыш және қабылдағыш құрылғыларының қашықтығы 50 м-ге жеткенде оның мәні 56 дБ-ға тең болатыны көрсетілген.



Сурет 3.7 - Ашық бөлмедегі сигналдың әлсіреуі

Трактідегі шығындардың логарифмдік-қалыпты үлестіру моделі деп қашықтық пен жиілікке тәуелді трактідегі шығындарды анықтайтын бағалаудың жуықтау тәсілін айтады. Өртүрлі қашықтық үшін трактідегі шығындардың мөлшерін мына формула бойынша анықтаймыз:

$$P_L(d) = 20 \log_{10}(f_{MHz}) + 20\beta \log_{10}(d) - 28, \quad (3.19)$$

3.5-кестеде бағалаудың жуықтау тәсілі көмегімен анықталған трактідегі шығындарды есептеу барысында алынған мәндер келтірілген.



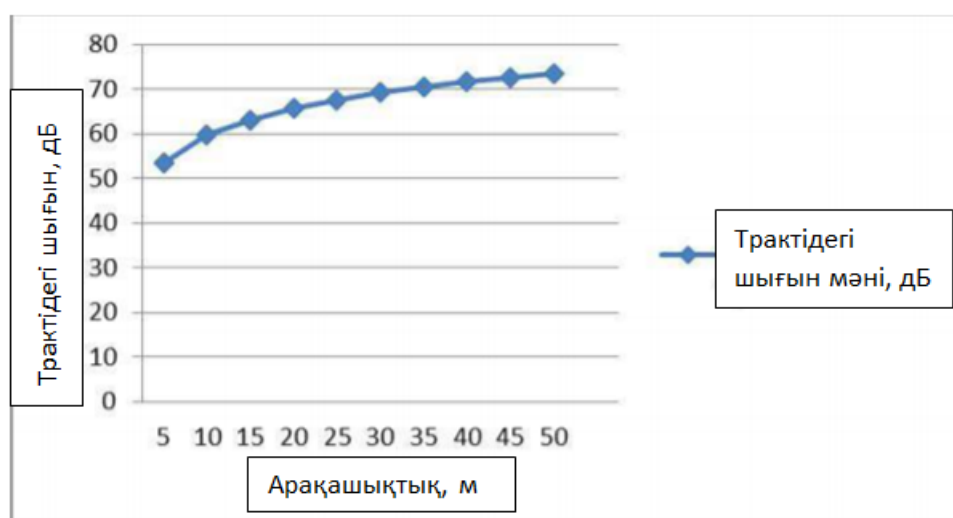
Кесте 3.5 - Трактідегі шығындардың мәндері

LoRaWan желісіндегі қабылдағыш пен таратқыш арасындағы қашықтық, d(м)	Трактідегі шығындардың мәндері, дБ (бағалаудың жуықтау әдісі)
5	53,602
10	59,62
15	63,14
20	65,62
25	67,56
30	69,15
35	70,48
40	71,64
45	72,66
50	73,58

3.8-суреттен қашықтықтың ұлғаюымен трактідегі шығындардың көбеюін және де қабылдағыш-таратқыш құрылғыларының арақашықтығы 50 м –ге болғанда, оның мәні 73,5 дБ-ді құрайтынын көруімізге болады.

Бос кеңістік моделі мен қос сәулелі модель қысқа байланыс желілері үшін сигнал деңгейін сипаттау және тарату үшін ең қолайлы болып келеді. Бірақ үлкен қашықтықтарда, көлеңкелені және көп сәулені тарату сияқты түрлі әсерлерге ұшырауы мүмкін, бұл әсерлерге жоғарыдағы екі модель назар аудармайды, сондықтан бұл жағдайда "көлеңкелеу"(тасалану) моделін қолданған жөн.

Бұл модельде деректерді беру кезінде қоршаған орта факторы ескеріледі. Визуалды бақылау жасауға қиын аймақтарда орналасу, кедергілердің көп санының болуы радиосигналдың көп сәулелі таралуына қиындықтар тудырады.



### Сурет 3.8 – Құралдар арасындағы қашықтықтың ұлғаюына байланысты трактідегі шығынның өзгеруі

#### 3.6 «Көлеңкелеу» моделі

LoRaWAN жүйесінің бөлме ішіндегі байланыс арнасын сипаттау кезінде радиосигналдың көрінуге қиын аймақта таралуы кезінде екі аспектіні ескеру қажет:

а) LoRaWAN желісімен қамтылатын аймақтардың өлшемдері ашық жерде таралу жағдайларына қарағанда әлдеқайда аз; б) осы аймақта радиотолқындардың әртүрлі таралу шарттары бар.

Бөлме ішіндегі радиотолқындардың таралуы негізінен келесі параметрлермен анықталады:

- ғимаратты жоспарлаумен;
- құрылыс материалдарымен;
- ғимарат типімен.

Сигнал деңгейі антенналардың орналасуына және бөлмелердегі есіктердің жабық немесе ашық болуына байланысты болады. Бөлме ішінде көбінесе қабырғалар мен қалқалыр, түрлі заттар көп болады, мұның барлығы радио сигналдың таралу мүмкіндігіне айтарлықтай әсер етеді.

Ғимарат ішіндегі қабырғалар мен қалқалар әдетте екі түрге бөлінеді:

- а) " қатты " қабырғалар - ғимарат құрылымының бір бөлігі;
- б) " жұмсақ " қабырғалар – қозғалуы мүмкін қалқалар.

"Көлеңкелеу" моделі екі бөліктен тұрады, модельдің бірінші тарату трактісіндегі шығын үлгісі деп аталады және эталондық тұрақтағы қуатқа қатысты қабылданатын қуаттың орташа мәнін болжайды.

$$\left[ \frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right]_{\text{дБ}} = -10\beta \cdot \log \left( \frac{d}{d_0} \right), \quad (3.20)$$

мұндағы  $\beta$  –тракттегі шығын тұрақтысы, тәжірибе жүзінде анықталған.

Тұрақты шығындардың мәні  $\beta$  сыртқы ортаға байланысты бола отырып, көрінуі қиын аймақ үшін ең үлкен мәнге ие және 4-тен 6-ға дейінгі шектерде таңдалады. Кедергілерден бос аймақ үшін  $\beta$  тұрақты шығынның ең аз мәні 2-ге тең (3.6-кесте).

Бұл жағдайда тұрақты  $\beta$  мәні 4-тен 6-ға дейін болатын жабық бөлмеде қабылданатын қуаттың мәнін есептейміз. Бұл шарттар электр қосалқы станциясының бөлмесіндегі таратқыштарға КРУЭ толығымен сәйкес келеді.

Кесте 3.6 -  $\beta$  тұрақты шығынының мәндері

Сыртқы орта		<i>B</i> ( тұрақты шығын)
Ашық аймақ	Кедергілерден бос	2
	Қала құрылыстары	2,7-5
Жабық аймақ	Көрінуі оңай	1,6-1,8
	Көрінуі қиын	4-6

Электр станциясындағы жабдықтың орналасқан жеріне байланысты LoRaWan датчиктерін орналастыру кезінде тарату трактісінің сапасын бағалау үшін қабылданатын қуаттың әртүрлі қашықтықтағы оңай және қиын көрінетін аймақтар үшін эталондық арақашықтықтағы қуаттылыққа қатынасының мәнін есептейміз. Алынған нәтижелер 3.7-кестеде келтірілген.

Тікелей және қиын көрінетін аймақтарда деректерді тарату LoRaWan желілерін пайдалану кезінде оларды орталық үйлестіруші қабылдай алатын ЭОТТҚ, ОПУ ғимараттарында ғана мүмкін. Есептелген мәндер 3.7-кестеде келтірілген.

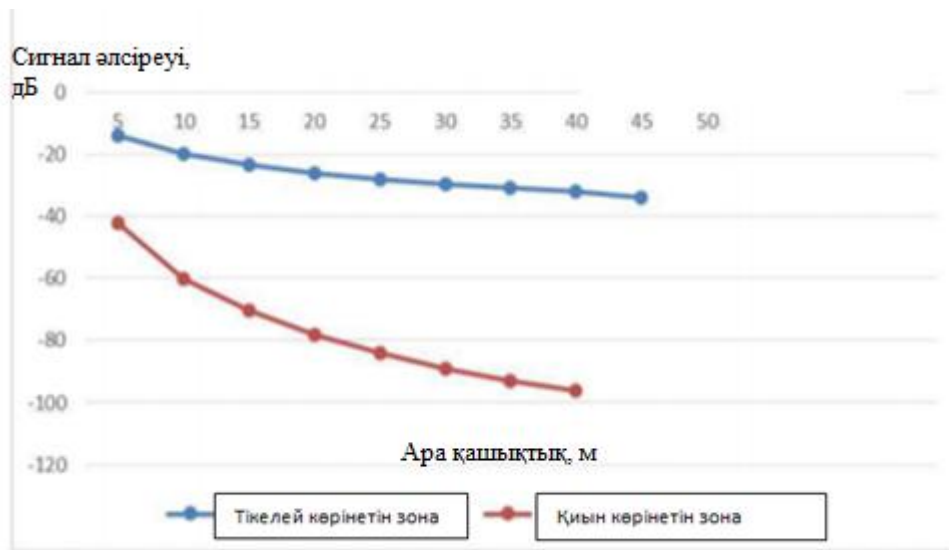
Есептелген мәндер бойынша, яғни қабылданған қуаттың эталондық қашықтықтағы қуатқа қатынасы бойынша берілген көрсеткіштің қашықтыққа тәуелділігі туралы график құрастырылған (2.9 - сурет).

3.9-суреттегі графикте көрсетілгендей, қабылданған қуаттың эталондық қашықтықтағы қуатқа қатынасының шамасы тікелей көрінетін аймаққа карағанда қиын көрінетін аймақта көбірек. Қиын көрінетін аймақ үшін бұл шама 40 м қашықтықта 90 дБм-ді құраса, тікелей көрінетін аймақ үшін 30 дБм-ді құрайды.

Кесте 3.7 - Есептің нәтижесі

LoRaWan желісіндегі қабылдағыш пен таратқыш арасындағы қашықтық, d(м)	$\left[ \frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right]$ дБ (қиын таратылатын жабық бөлме)	$\left[ \frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right]$ дБ (тіке сызықты аймағы бар жабық бөлме)
5	-41,94	-13,98
10	-60	-20
15	-70,57	-23,52
20	-78,06	-26,02
25	-83,88	-27,96
30	-88,63	-29,54
35	-92,64	-30,88
40	-96	-32,04

45	-99	-33,98
----	-----	--------



Сурет 3.9 - Қабылданған қуаттың эталондық қашықтықтағы қуатқа қатынасы

«Көлеңкелеу» моделінің екінші бөлігі нақты бір қашықтықтағы қабылданған сигналдың қуаттылығының өзгеруін көрсететі, сондай-ақ бұл жағдайда Гаустық үйлестірімнің логарифмдік кездейсоқ шамасы ескеріледі. Берілген модель келесі формуламен ұсынылуы мүмкін:

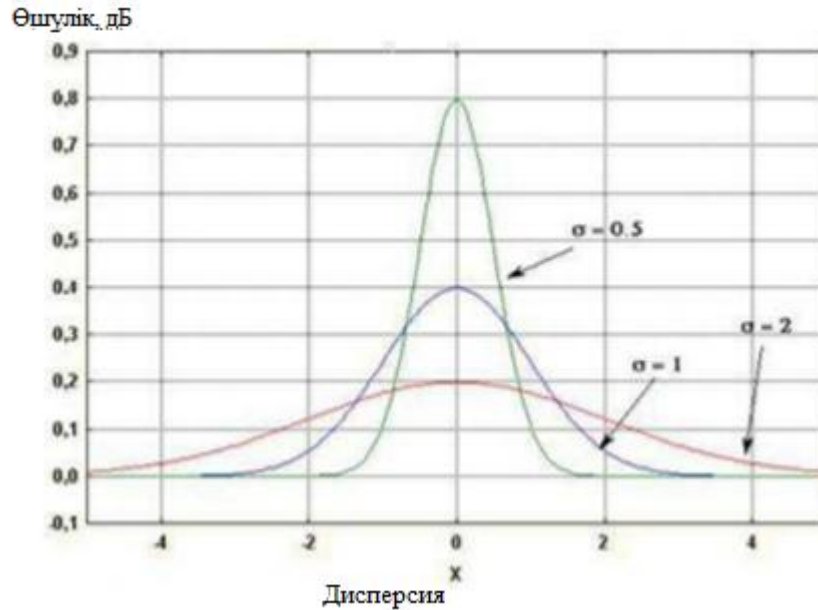
$$\left[ \frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right]_{\text{дБ}} = -10\beta \cdot \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{\text{дБ}}, \quad (3.21)$$

Бұл модельде сигналдың жойылуының таралу аймағы мен негізгі материал түріне тәуелділігі де ескеріледі (2.8 – кесте).

Кесте 3.8 - Девиацияның стандартты шамасы

Сыртқы орта	$\sigma_{\text{дБ}}$ (дБ)
Офис, қатаң бөлім	7
Офис, жұмсақ бөлім	9,6
Завод, тіке көрінетін сызық	3-тен 6-ға дейін
Завод, қиын көрінетін аймақ	6,8
Ашық алаң	4-12

3.10 - суретте нөлдік орташа мен дисперсиямен бірге  $N(0, \sigma_{ch}^2)$ -ді табу үшін әртүрлі стандартты ауытқудың қалыпты таралуы келтірілген.



Сурет 3.10 - Қалыпты таралудың тығыздық графигі

Қалыпты гаустық таралудың функциясының графигі 3.9 суретте көрсетілгендей, күмбез тәрізді қисық түрінде беріледі және оның максималды нүктесінің координатасы  $(a; \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}})$  -ға тең. Бұл ордината  $S$  қисық мәнінің өсуімен  $Ox$  осіне "қысылады") жойылады және  $s$  мәнінің кемуімен (қисық "созылады"  $Oy$  осінің оң бағытында) өседі.

$\mu$  параметрі мәндерінің өзгеруі (өзгермеген  $s$  мәні кезінде) қисықтың формасына әсер етпейді, тек қисықты  $O$  осінің бойымен жылжытады.

Нөлдің Гаусс айнымалысын қалыпты үлестіруден табуға болады. Қалыпты гаусс таралуының тығыздығы мынаған тең:

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-0)^2}{2\sigma^2}}, -\infty < x < \infty \quad (3.22)$$

Егер нөлдік Гаусс айнымалы мәнін 6.8 тең деп есептейтін болсақ (зауыт, қиын көрінетін аймақ), онда берілген мән қабылданған қуаттың эталондық қашықтықтағы қуатына қатынасы ретінде анықталады.

Девиацияның стандартты мәнін ескере отырып, «Көлеңкелеу» моделі бойынша қабылданған қуаттың эталонды қашықтықтағы қуатына қатынасы шамасын есептейміз

$$\left[ \frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right]_{\text{дБ}} = -10\beta \cdot \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + 6,8 \quad (3.23)$$

Жабдықтың үш орналасу аймағы үшін девиацияның стандартты мәндері бар:

а) зауыт, көрінудің қиын аймағы. Электр қосалқы станцияның бөлмесіне әртүрлі жақын орналасқан жабдықтар деректерді беру кезінде кейбір LoRaWan тораптары үшін көрінудің қиын аймағын тудырады;

б) жабық бөлме, тікелей көріну. LoRaWan тораптарын орналастыру кезінде электр қосалқы станциясының жабдықтарының параметрлерінің деректерін беру үшін радиосигналдың таралуы тура көріну аймағында болуы мүмкін.;

с) кедергілерден бос ашық жер.

Тікелей көрінетін аймағы бар жабық бөлме үшін 1.8-ге тең болатын нөлдік гаустық айнымалыны таңдаймыз, оны 3.6-кестедегі 3-тен 6-ға дейінге тең болатын зауыт, тікелей көрінетін сызық дегеннен максималды мәні 6-ны таңдап аламыз.

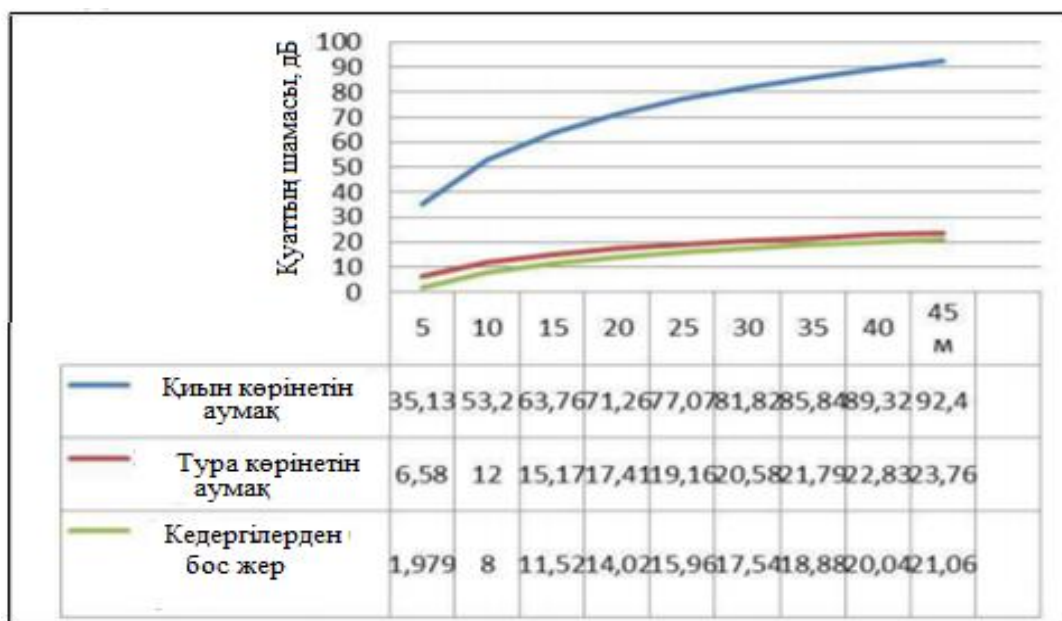
Кесте 3.9 - «Көлеңкелеу» моделі бойынша есептің нәтижелері

LoRaWan желісіндегі қабылдағыш пен таратқыш арасындағы қашықтық, d(м)	$\left[ \frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right]$ дБ шамасы		
	Завод, қиын көрінетін аймақ	Тікелей көрінетін жабық бөлме	Кедергілерден бос ашық аймақ
5	-35,13	-6,58	-1,979
10	-53,2	-12	-8
15	-63,76	-15,17	-11,52
20	-71,26	-17,41	-14,021
25	-77,07	-19,16	-15,96
30	-81,82	-20,59	-17,54
35	-85,84	-21,79	-18,88
40	-89,32	-22,83	-20,041
45	-92,4	-23,76	-21,064

Кедергілерден бос ашық жерде нөлдік Гаусс айнымалы мәнін 2-ге тең және ашық жер үшін  $\sigma_{дБ}(дБ)$  мәнін 4-тен 12-ге дейін, максималды шамасы 12 деп аламыз.

Қабылданатын қуаттың эталондық қашықтықтағы қуатқа қатынасының ең үлкен мәні зауыт, көріну қиын аймақ үшін алынды, ең аз мәні ашық жер, кедергілерден бос аймақ үшін алынды. Жүргізілген есептің нәтижелері 3.9-кестеде келтірілген.

3.11 суреттегі графиктен қабылданатын қуаттың эталонды қашықтықтағы қуатқа қатынасының мәні қиын көрінетін аймақ үшін қабылдағыш датчиктерінің арасындағы арақашықтық ұлғайған сайын күрт жоғаырайтынын және 45 м қашықтық кезінде оның мәні -95дБм құрайтынын көруге болады.



Сурет 3.11 - Қабылданатын қуаттың эталондыққа қатынасының мәндері

Тікелей көрінетін аймақ мен кедергілерден бос аймақ үшін қашықтық сәкесінше 23 және 24 дБм-ді құрайды.

Zigbee қабылдағыш және таратқыш құрылғысы арасындағы Өртүрлі қашықтықтағы қабылданатын қуат мәні радиосигналдың таралу аймағына қатты байланысты. Қиын көріну аймағы үшін байланыс сапасының жоғары деңгейін қамтамасыз етуге болатын қашықтықтың мәні 10-15 метр қашықтықпен шектеледі.

Бұл есептеу қос сәулелік тарату моделімен және бос кеңістік моделімен салыстырғанда қабылданатын сигналдың деңгейін анықтауда неғұрлым дәл нәтижелер береді.

### 3.7 LoRaWan жүйесінде деректерді беру кезінде сигнал-шу қатынасы мен өшу деңгейін анықтау

Таратқыштан қабылдағышқа радио сигналды тарату кезінде әлсіреу деңгейі таратылып жатқан жиілікке, модульдер арасындағы қашықтыққа, сондай-ақ нөлдік Гаусс айнымалы[18] мәніне байланысты болады.

Формула бойынша әлсіреу мәнін табамыз:

$$P_L(d_0) = 20 \log_{10}(f_{MHz}) + 10\beta \log(d) - 28 + N(0, \sigma_{ch}^2), \quad (3.24)$$

мұндағы  $f_{MHz} = 2400$  МГц-ке тең болатын модуль жиілігі; бөлме арасындағы рұқсат етілген қашықтық 50 м-ге тең.

Нөлдік гаустық айнымалы мәнін 1-ге тең деп алсақ,  $\beta=2$ , сонда эталонды қашықтықтағы әлсіреу келесі өрнекпен анықталады:

$$P_L(d_0) = 20 \log_{10}(2405) + 10 \cdot 2 \cdot \log(1) - 28 + 1 = 40(\text{дБ}),$$

Формула бойынша кедергілер салдарынан әлсіреуді ескере отырып, жолдағы шығындардың лог-қалыпты шамасын табамыз:

$$P_L(d) = P_L(d_0) + 10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + N(0, \sigma_{ch}^2), \quad (3.25)$$

- мұндағы  $P_L(d_0)$  – эталон қашықтығында жойылу (дБ);
- $d$  – таратқыш пен қабылдағыш арасындағы қашықтық (м);
- $d_0$  – эталон қашықтығы (м);
- $\beta$  – тракттегі шығын дәрежесінің көрсеткіші;
- $N(0, \sigma_{ch}^2)$  – кездейсоқ гаусс айналымы (дБ).

Бұл есеп трактіде жоғалтудың жақын мәнін береді, өйткені радиосигналдың таралу жолының ерекшеліктері, сондай-ақ кедергі жасалған материалдың түрі, сондай-ақ өлшемдері ескерілмейді. Сондықтан деректерді беру кезінде көп сәулелі таралуды ескеру қажет.

3.12 суреттегі графиктен кедергілер әсерінен тракттегі әлсіреумен бірге жойылу мәні 45 м қашықтықат 75 дБ-ге жетеді. LoRaWAN деректерді тарату жүйесін пайдалану кезінде қабылданатын қуат деңгейі көріну қиын аймақтардағы электр қосалқы станцияларында 10-15 метр қашықтықта да төмен мәнге ие болуы мүмкін.

Кесте 3.10 - Тарату трактіндегі жойылу

Тарататын және қабылдайтын құрылғы арасындағы қашықтық, м	Кедергілер әсерінен тракттегі әлсіреумен бірге жойылу, дБ
5	55
10	61
15	64,52
20	67
25	68,96
30	70,54
35	71,88



40	73,04
45	74,06

Сигнал-шу қатынасының мәнін келесі формула арқылы анықтаймыз

$$\gamma(d) = N(P_t, \sigma_t^2) - P_L(d) - N(P_n, \sigma_n^2), \text{ дБ}, \quad (3.26)$$

мұндағы  $P_t$  – қабылдағыштың орташа шығаратын қуаттылығы (дБм);

$\sigma_t^2$  - шығатын қуаттың дисперсиясы;

$P_n$  – қабылдағыш шуының орташа деңгейі (дБм);

$\sigma_n^2$  – шу деңгейінің дисперсиясы.

3.11 – кестеде сигнал-шу қатынасының модулдар арасындағы әртүрлі қашықтық кезіндегі алынған мәндер келтірілген.

Кесте 3.11 - СШҚ-ң қабылдағыштың кірісіндегі мәндері

Тарататын және қабылдайтын құрылғылардың арасындағы қашықтық, м	Қабылдағыштың кірісіндегі сигнал-шу қатынасы, дБ
5	41,5
10	35,5
15	31,98
20	29,5
25	27,54
30	25,96
35	24,62
40	23,46
45	22,5

### 3.8 Есептеу бөлімі бойынша қорытынды

Дипломдық жұмыстың есептеу бөлімінде LoRaWan жүйесінің радиосигналын тарату кезіндегі негізгі байланыс параметрлері анықталған болатын.

Тарату жолындағы бәсеңдеу бос кеңістік, қос сәулелі таратылу үлгісі және “көлеңкелеу” үлгісі бойынша есептелген болатын. Радиосигнал көрінімділік шамасы төмен аймақта тараған кезде көптеген шағылысулар мен жұтылудың әсеріне түсіп отырады, сол себептен есептеу кезінде барынша дәл деректерді “Көлеңкелеу” үлгісі береді. Анықталғандай, 30 метр қашықтықтың өзінен бастап сигналдың бәсеңдеу мәні 70 дБ-ге жетіп отырады.

Есептеу бөлімін орындау барысында жабдықтың үш орналасу аймағына арнап “Көлеңкелеу” үлгісі бойынша қабылданатын қуаттылықтың эталондық қашықтықтағы қуаттылыққа қатынасының мәні анықталған болатын. Қабылданатын қуаттылықтың эталондық қашықтықтағы қуаттылыққа қатынасының ең жоғары мәні зауытқа, яғни көрінімділігі төмен аймаққа арнап, ал ең аз мәні ашық жерге, яғни кедергілерден бос аймаққа арнап алынған болатын. Көрінімділігі төмен аймақ үшін бұл көрсеткіш қабылдағыш пен таратқыштың арақашықтығы артқан сайын күрт артады және 45 метр қашықтықта -95 дБм мәніне жетеді (сезімталдық шегіне жетеді). Тікелей көрінімділік және кедергілерден бос аймақтар үшін мұндай арақашықтық кезінде соған сәйкес 23 және 24 дБм құрайды.

Қабылдағыштың кірісіндегі сигнал-шуыл қатынасының (СШҚ) мәні анықталды. Арақашықтық ұзарған сайын бұл СШҚ мәні күрт азаяды және 45 метр кезінде шамамен 22 дБ құрайды, бұл байланыс сапасының төмен деңгейіне сәйкес келеді.

Қабылдағыш қуаттылығының мәні радиосигналдың қос сәулелі тарау үлгісі бойынша есептелген болатын. Алынған есептеу нәтижелерінен мынадай қорытынды жасауға болады: екі түрлі ортаның бөлінуі бос кеңістік үлгісімен салыстырғанда қабылданатын қуаттылықтың арақашықтық артқан сайын анағұрлым жылдам түрде бәсеңдеуіне әкеледі. Арақашықтық артқан сайын қабылдағыштың кірісіндегі қуаттылықтың деңгейі азаяды және 35-50 метр қашықтықта төмен мәнге ие болады, алайда қажет етілетін сапа деңгейімен анықталуы мүмкін.

Жиілігі бойынша жуық болып келетін электромагниттік сәуленің әсерін бағалау үшін Bluetooth желісінің LoRaWan желісімен бірге жұмыс істеуі кезіндегі алдыңғысының кедергі жасаушы әсері зерттелген болатын. Бұл жағдайда LoRaWan желісінің Bluetooth желісінің тарапынан бөгеуілдердің орын алуы жағдайындағы жұмыс тиімділігін анықтау үшін Марков тізбегінің математикалық үлгісі қолданылды, ол нәтижелерінің түспкілікті немесе есептік санымен кездейсоқ оқиғалардың реттілігі болып табылады, осы шақ тұрақты болған кезде келешек өткен шаққа тәуелсіз болады. IEEE802.15.4 стандартының дамуы келешекте жиіліктердің жұмыс жолағында басқа құрылғылардың болуын анықтау әдістемелерінің дамуын және биттік жылдамдықты өлшеу немесе кадрдың қате жылдамдығын анықтауды ескереді. Жүйенің бөгеуілден қорғалуын арттырудың ең тиімді шешімі бұл деректер дестелерінің мерзімін анықтау. Сондай-ақ, жиіліктің бейімделген түрде секіру әдісі қолданылуы мүмкін, осылайша LoRaWan желісінің өткізу қабілетін жиіліктер спектрін барынша қолдану арқылы арттыруға болады.

## **ҚОРЫТЫНДЫ**

Бұл дипломдық жобада LoRaWan технологиясы таңдалған, себебі бұл технология энергияны көп қажет етпейтін шағын және қуаттылығы аз радиотаратқыштарды қолданады.

Дипломдық жұмыстың мақсаты желіні жетілдіру үшін LoRaWan сымсыз технологиясын қолдану мүмкіндігін талдау болып табылады. Алға қойылған міндеттер толығымен орындалды.

Бұл жобада:

- Деректерді электрлік қосалқы станциясының жабдықтарынан энергожүйенің параметрлерін мониторингілеу жүйесінің базалық станциясына LoRaWan сымсыз желісі арқылы тарату мүмкіндігі есептелген;

- қабылданатын қуаттылық пен бәсеңдеу деңгейінің арақашықтыққа және радиосигналдың таралу аймағына байланысты мәндері есептелген. Сонымен қатар, сигнал-шуыл қатынасы мен LoRaMod модулінің түрлі жұмыс режимдері кезіндегі тұтынылатын қуаттылықтың деңгейі есептелген.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Ларсен Проектирование космических систем.
- 2 Кантор Л.Я.Справочник. Спутниковая связь и вещание – М.: Радио и связь, 2001. – 336 с.
- 3 <http://www.satinternet.ru//index.php>
- 4 Тяпичев Г.А. Спутники и цифровая радиосвязь.-М:Тех Бук,2004-288с.
- 5 <http://www.radiokanal.ru/>
- 6 <http://www.space.org.ru/Media>

7 <http://russiamaps.newmail.ru/kazakh.htm>

8 Горностаев Ю.М. и др. Перспективные спутниковые системы связи/ Горностаев Ю.М., Соколов В.В., Невдяев Л.М.-М.:Горячая линия-Телеком,2000.-132с

9 Л.Г. Мордухович, А.П. Степанов Системы радиосвязи. Курсовое проектирование: Учебное пособие для высших учебных заведений. – М.: Радио и связь, 1987.

10 Бадалов А.Л., Михайлов А.С. Нормы на параметры электромагнитной совместимости РЭС: Справочник. -М.: Радио и связь, 1990

11 Фролов О.П. Антенны для земных станций,2000.

12 Голубицкая Е.А., Жигульская Г.М. Экономика связи: М.: - Радио и связь, 1999.

13 Беклешев В.К. Техничко-экономическое обоснование ДП. М. 1991.

14 Волков И.М., Грачева М.В. Проектный анализ: Учебник для вузов.- М: Банки и биржи. ЮНИТИ, 1998.

15 Николаева С.А. Принципы формирования и калькулирования себестоимости. - М.: Аналитика-пресс, 1997. с.67

16 Белов А.Н. Безопасность жизнедеятельности. М: Высшая школа, 2006

17 Баклашов Н.И, Китаева Н.Ж, Терехов Б.Д. Охрана труда на предприятиях связи и охрана окружающей среды: Учебник. - М.: Радио и связь,1989

18 Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

19 Хакимжанов Т.Е. Расчет аспирационных систем. Дипломное проектирование. Для студентов всех форм обучения всех специальностей. – Алматы: АИЭС, 2002

20 Назаров А.В. Современная телеметрия в теории и на практике. М: Наука и техника. Санкт-Петербург 2007.