

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Уразғалиева Айжан Аманқосовна

«Су астындағы оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін зерттеу»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Алматы 2024 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы



ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Су астындағы оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін зерттеу»

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Орындаған:

А.А.Уразғалиева



Пікір беруші
Халықаралық ІТ университеті
т.ғ.к., қауымдастырылған профессоры
Илипбаева Л.Б.

« 30 » 05 2024 ж.



Ғылыми жетекші
ҚазҰТЗУ, Электроника,
телекоммуникация және ғарыштық
технологиялар кафедрасының аға
оқытушысы, PhD
Утебаева Д.Ж.

« 30 » 05 2024 ж.

Алматы 2024 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

6B06201 Телекоммуникация

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

Е. Таштай

«30» 04 2023 ж.

Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА

Білім алушы *Уразғалиева Айжан Аманқосовна*

Тақырыбы *«Су астындағы оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін зерттеу»*

Университет ректорының *«4» желтоқсан 2023 ж. №548-П* бұйрығымен бекітілген.

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

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

1) *Оптикалық-акустикалық байланыс жүйесі*; 2) *Су астындағы оптикалық-акустикалық байланыс жүйесі*; 3) *Оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін су астында жобалау.*

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) *Оптикалық-акустикалық байланыс жүйесінің әдістері*; б) *Оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін су астында жобалаудың әдістері.*

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс): *Су астындағы оптикалық-акустикалық байланыс жүйесінің құрылымдық сұлбасы.*

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 1) *Codd-Downey, Robert & Jenkin, Michael. (2018). Wireless Teleoperation of an Underwater Robot using Li-Fi. 859-864. 10.1109/ICInfA.2018.8812544.* 2) *Alamu, Olumide & Olwal, Thomas & Djouani, Karim. (2023). Energy Harvesting Techniques for Sustainable Underwater Wireless Communication Networks: A Review. e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy. 5. 100265. 10.1016/j.prime.2023.100265.*

Дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау

КЕСТЕСІ

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

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

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	Д.Ж. Утебаева, PhD, ЭТЖҒТ каф. аға оқытушысы	<i>1.03.2024</i>	<i>Утебаева</i>
Теориялық ақпарат	Д.Ж. Утебаева, PhD, ЭТЖҒТ каф. аға оқытушысы	<i>30.04.2024</i>	<i>Утебаева</i>
Норма бақылау	Досбаев Ж.М., PhD, ЭТЖҒТ каф.аға оқытушысы	<i>30.05.2024</i>	<i>Досбаев</i>

Ғылыми жетекшісі

Утебаева

Утебаева Д.Ж.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы

Уразғалиева

Уразғалиева А.А.



Күні «9» желтоқсан 2023 ж.

АНДАТПА

Дипломдық жоба дауыстық ақпаратты Li-Fi технологиясының көмегімен су астында жарық арқылы байланыс орнатуға арналды. Су астындағы сымсыз байланыстың тиімділігіне әсер ететін негізгі физикалық принциптер мен шектеулер, мысалы, сигналдардың жұтылуы және шашырауы сияқты факторлар зерттелді. Оған қоса, акустикалық, радио және оптикалық байланыс сияқты қолданыстағы технологиялардың қай түрі су астында тиімді болатыны жайында талдауды қамтиды. Қазақстанның батыс өңіріндегі Каспий теңізінің географиялық жағдайын бағалап, Li-Fi акустикалық хабар берудің су асты жүйесін орнатуды зерттедім. Су астында сымсыз акустикалық дерек тарату мақсатында жасалынған оптикалық байланыс жүйесін OptiSystem бағдарламалық жасақтамасында жобалау жұмысын атқардым. Нәтижесінде, зерттеудің теориялық және практикалық қорытындыларын растайтын су астындағы оптикалық-акустикалық байланыс жүйесінің макетін жасадым.

АННОТАЦИЯ

Дипломный проект был посвящен передаче голосовой информации через световые волны под водой с помощью технологии Li-Fi. Были изучены основные физические принципы, влияющие на эффективность подводной беспроводной связи, такие как поглощение и рассеяние сигналов. Работа включает анализ того, какие существующие технологии, такие как акустическая, радио и оптическая связь, наиболее эффективны под водой. Оценив географическое положение Каспийского моря в западном регионе Казахстана, я исследовала установку подводной системы акустического вещания Li-Fi. Я работала над проектированием системы оптической связи в программном обеспечении OptiSystem, разработанной для беспроводной акустической передачи данных под водой. В результате, я разработала макет подводной системы связи, подтверждающий практические выводы исследования.

ANNOTATION

The diploma project is focused on the transmission of voice information through light waves underwater using Li-Fi technology. The basic physical principles affecting the efficiency of underwater wireless communication, such as signal absorption and scattering were studied. The work includes analyzing which existing technologies such as acoustic, radio and optical communication are most effective underwater. After evaluating the geographical location of the Caspian Sea in the western region of Kazakhstan, I researched the installation of an underwater Li-Fi acoustic broadcasting system. I worked on the design of an optical communication system in OptiSystem software developed for underwater wireless acoustic transmission. As a result, I developed a sample of the underwater communication system, confirming the practical conclusions of the research.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 Оптикалық-акустикалық байланыс жүйесіне шолу	9
1.1 Су астындағы сымсыз байланыстың физикалық аспектілеріне шолу	10
1.2 Су астындағы сымсыз байланыс технологияларына салыстырмалы шолу	14
1.3 Су астындағы оптикалық сәуленің таралуын зерттеу	16
2 Оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін су астында жобалау үшін Li-Fi технологиясын пайдалану	22
2.1 Li-Fi технологиясының тарихы және негізгі дағылары	22
2.2 Li-Fi технологиясының архитектурасы	23
2.3 Li-Fi технологиялық жүйесіндегі жарық сигналдарының энергия шығынын есептеу әдісіне шолу жасау	25
3 Оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін су астында жобалау	28
3.1 Су астында сымсыз акустикалық дерек таратуды OptiSystem бағдарламаласымен жобалау	28
3.2 Li-Fi байланыс желісінің өткізу қабілетін есептеу	32
4 Каспий теңізіне су астындағы Li-Fi акустикалық ақпарат беру жүйесін орнату	38
4.1 Каспий теңізінің географиялық жағдайын бағалау	38
4.2 Каспий теңізінде Li-Fi технологиясын жобалау есептері	39
4.3 Жоба құрылғысын жүзеге асыру	41
Қорытынды	44
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	45

КІРІСПЕ

Жер шарының басым бөлігін, нақтырақ айтсақ, 71%-ын су алып жатыр. Сондықтан да, су астындағы ақпарат пен сигналдардың таралуын зерттеу қазіргі технология үрдісінің маңызды бөлімі болып табылады. Аталған статистикаға сүйенсек, сонымен қатар, мұхит тереңдігін ескерсек, ең қиын және қысылтаяң жағдайларда тиімді ақпарат алмасу жүйелерін қамтамасыз ете алатын сенімді коммуникацияны әзірлеу дағдыларын жетілдіру қажет екені байқалады.

Су астында деректерді сымсыз тарату әскери, өнеркәсіп және ғылыми қауымдастық үшін үлкен қызығушылық тудырады. Атап айтсам, мұхиттардың ластануын бақылауда, судағы мұнай деңгейін тексеру мақсатында, су көліктеріне техникалық қызмет көрсетуде, климаттың өзгеруін бақылауда және мұхиттану зерттеулерінде аса маңызды рөл атқарады. Айталған тармақтарды жеңілдету мақсатында ақпаратты беру үшін өткізу қабілеттілігі жоғары су астына орналастырылатын пилотсыз көліктер, автоматтандырылған роботтар немесе құрылғылар жиі қолданылады.

Оптикалық-акустикалық байланыс (ОАБ) терминіне қысқаша сипаттама берер болсам, ақпаратты тарату мақсатында жарық пен дыбыс толқындарын пайдаланатын деректерді жеткізу әдісі екендігі айқындалады. Су астындағы коммуникация түсінігінде ОАБ судың астында ұзақ қашықтыққа дейін байланыс орнатуға мүмкіндік береді және су арқылы деректерді беру үшін жарық толқындарын, көбінесе инфрақызыл сәулелерді қолдануға негізделіп құрылады. Осылайша, оптикалық және акустикалық байланыстың тіркесімі арқылы су астындағы ортада тиімді деректерді беру жүйелерін құра аламыз және оларды әртүрлі салаларда, нақтырақ айтсам, теңізді зерттеуде, су астындағы объектілерді анықтауда, сондай-ақ су асты аппараттарымен және су асты қайықтарымен байланыс орнату үшін пайдалануға болады.

Бұл дипломдық жоба барысында су астындағы оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін зерттеу үшін Light Fidelity (Li-Fi) технологиясы қолданылады. Негізінен Li-Fi дегеніміз – бұл деректерді жарық толқындары арқылы тарату әдісі, бұл ақпарат таратудың жоғары жылдамдығына қол жеткізуге және су астында сенімді байланыс ортасын жасақтауға мүмкіндік береді. Оған қоса, дипломдық жұмыста су астындағы акустикалық байланыс саласындағы соңғы жетістіктер жан-жақты зерттеледі. Арналардың сипаттамалары, модуляция сұлбалары, кодтау әдістері және UOWC-қа (Underwater Optical Wireless Communications) тән әртүрлі шу көздері талқыланады. Негізінен, Wi-Fi технологиясына қарағанда, Li-Fi технологиясының деректерді беру жылдамдығы жоғарырақ, толықтырап болсам, қазіргі стандарттарға сәйкес Wi-Fi технологиясының орташа деректерді тарату жылдамдығы – 9,6 Гбит/с, ал Light Fidelity технологиясында – жылдамдық 100 Гбит/с-қа дейін бара алады. Оған қоса, радиожілік толқындарында дерек жіберуде кедергілер немесе тағы да басқа қиындықтар туатын орын және орталар үшін өте қолайлы, мысалы, авиацияда, ал менің жағдайымда, су астында және т. б.

Бұл зерттеудің басты **мақсаты** – су астындағы оптикалық-акустикалық байланыстың ерекшеліктерін зерттеу, сонымен қатар су астындағы деректерді беруді оңтайландыру үшін есептеу модельдері мен сұлбаларын жасау. Жоба бойынша жұмыс барысында есептеулер жүргізіліп, әзірленіп жатқан байланыс жүйесінің тиімділігі мен сенімділігін бағалауға мүмкіндік беретін жоба макеті жасап шығару.

Өзектілігі: Су астындағы акустикалық хабарды тиімді беру үшін жасалған технология адам өмірін сақтау үшін үлкен маңызға ие жоба. Аталған жүйені бассейндерге, аквапарктерге, теңіз жағалауларындағы жүзуге арналған аудандардың ішіне орнату арқылы суға батып кету қауіпінен сақтансақ болады. Сонымен қатар, қазіргі кезде Қазақстанда өзектілігін жоғалтпай тұрған негізгі мәседе – су тасқынымен күресу мақсатында, судың деңгейін бақылауда ұстауға маңызға ие.

Қазақстанның болашағы – жастар болғандықтан, бұл технология үрдісін Қазақстанның батысындағы Каспий теңізіне жүргізу есептеулерін жүргіземін. Каспий теңізіне Li-Fi технологияларын орнату ғылыми зерттеулер тұрғысынан да, экономикалық даму тұрғысынан да Қазақстан үшін зор маңызға ие. Бұл ел болашағының маңызды бөлігі бола алатын перспективті бағыт. Сонымен қатар, Li-Fi жүйелер теңіздің ластану деңгейін нақты уақыт режимінде бақылай алады, бұл экологиялық мәселелерге уақтылы жауап беру және Арал теңізінің жағдайы сияқты, жағымсыз салдарды болдырмау үшін өте маңызды. Мұнай-газ өнеркәсібін дамыту үшін де бұл ғылыми зерттеуімнің маңызы зор, өйткені Каспий теңізі мұнай мен газ өндіруде шешуші рөл атқарады. Су астындағы Li-Fi технологиялары апаттардың алдын алу және су асты және жер үсті нысандары арасындағы деректерді беру тиімділігін арттыру арқылы құбырлар мен жабдықтардың күйін қауіпсіз бақылауды қамтамасыз етеді.

Менің ойымша, Li-Fi жүйелерін дамыту экономикалық өсуге және аймақтағы жұмыс орындарын құруға ықпал ететін жаңа инфрақұрылымды жобалауды талап етеді. Бұдан басқа, бұл технологиялар ұлттық қауіпсіздік деңгейін арттыра отырып және ықтимал қауіптерден қорғауды қамтамасыз ете отырып, Қазақстанның су асты шекараларын қорғау үшін де пайдаланылуы мүмкін екенін айта кету қажет. Li-Fi арқылы су астындағы ықтимал диверсиялардан сақтануға және қорғауға ықпал етеді. Экономикалық пайда Қазақстанның ғылыми және өнеркәсіптік секторларына халықаралық инвестицияларды тартуды, сондай-ақ Каспий теңізінің экожүйесінің жай-күйін жақсарту және оның тазалығын қамтамасыз ету есебінен туризмді дамытуды қамтиды, сол себептен өңірді туристер үшін неғұрлым тартымды етеді.

Ғылыми жобам Қазақстанды ғана емес, бүкіл әлемді көркейтуге үлесін қосады деген үміттемін!

1 Оптикалық-акустикалық байланыс жүйесіне шолу

Оптикалық-акустикалық байланыс жүйесі дегеніміз – деректерді берудің оптикалық, яғни жарыққа негізделген және акустикалық – дауысқа негізделген әдістері біріктірілген гибриді технология [8]. Бұл жүйе екі технологияның да шектеулерін жеңу үшін артықшылықтарын пайдаланады, әсіресе менің дипломдық жұмысымдағы қиын су асты жағдайларында бұл технологияны пайдалану дерек тарату мүмкіндіктерін кеңейтеді.

Оптикалық байланыс жүйесінің негізгі компоненттері әртүрлі модуляция әдістері арқылы деректерді жібере алатын жарық сигналдарын жасау үшін жарық диодтарын немесе лазерлерді жарық көздері ретінде пайдаланады. Мысалы, қосу және өшіру модуляциясы (ООК) немесе импульстік позицияны модуляциялау (PPM) әдістерін қолдану мақсатында. Фотодетекторлар – жарық сигналдарын қабылдайды және оларды әрі қарай өңдеу үшін қайтадан электрлік сигналға түрлендіреді. Акустикалық байланыс электр сигналдарын дыбыстық толқындарға және керісінше айналдыратын түрлендіргіштерді, сондай-ақ дыбыс толқындарын қабылдайтын және оларды электрлік сигналдарға түрлендіретін микрофондарды пайдаланады [8].

Жүйенің жұмыс принципі оптикалық арналар арқылы деректерді беру болып табылады, мұнда жоғары жиіліктің арқасында жарық сигналдары үлкен көлемдегі деректерді жоғары жылдамдықта, әсіресе жұтылу аз болатын таза суда тасымалдай алады. Жарық диоды немесе лазер сияқты оптикалық таратқыш жарық импульстері ретінде кодталған деректерді жібереді, содан кейін оны фотодетектор қабылдап, декодтау процессі жүреді. Акустикалық таратқыш, мысалға, пьезоэлектрлік түрлендіргішті алайық, электр сигналдарын су арқылы таратып және акустикалық ресивер қабылдайтын дыбыс толқындарына түрлендіреді [8].

Екі технологияның интеграциясы қоршаған ортаға байланысты оптикалық және акустикалық арналар арасында ауысуға мүмкіндік береді: таза суда деректерді берудің жоғары жылдамдығы үшін оптикалық байланысқа басымдық берілсе, ал судың бұлыңғыр жағдайында жүйе акустикалық байланысқа ауыса алады. Бұл жүйелердің негізгі артықшылықтарына – оптикалық және акустикалық әдістердің үйлесімі арқылы сенімділіктің жоғарылауы, оптикалық байланыс кезінде жоғары деректер жылдамдығы және акустикалық байланыс кезінде ұзақ қашықтыққа деректерді беру мүмкіндігі жатады. Осылайша, оптикалық-акустикалық байланыс жүйесі әмбебап және сенімді деректерді беру құралы болып табылады, әсіресе қоршаған ортаның өзгеруі әр технологияның тиімділігіне жеке әсер етуі мүмкін су асты жағдайында пайдалы [8].

1.1 Су астындағы сымсыз байланыстың физикалық аспектілеріне шолу

Су астындағы акустикалық байланыс саласында үлкен технологиялық жетістіктер мен айтарлықтай биік белестерге қарамастан, ол әлі де өткізу қабілеттілігінің мүмкіндігімен шектелген. Бұл шектеулі қамту және басқа мәселелер су астындағы оптикалық сымсыз байланыстың (UOWC – Underwater optical wireless communications) зерттеулері мен дамуының өркендеуіне әкелді. UOWC-тің басты артықшылығы – бұл дәстүрлі байланыс жүйелерімен салыстырғанда жоғары жылдамдықты қамтамасыз етеді, сонымен бірге айтарлықтай аз энергияны қажет етеді және қысқа қашықтықтағы сымсыз желілер үшін есептеу күрделілігінің қарапайымдылығымен ерекшеленеді [1].

Су астындағы оптикалық сымсыз байланыс мүмкіндіктері әртүрлі және оларды мұхиттың терең теңіз аймақтарынан жағалау суларына дейін әртүрлі аймақтарда пайдалануға болады. Алайда, UOWC-ті сәтті қолдану жолында үлкен кедергілер бар, туындайтын ең басты қиындық – мұхит немесе теңіз суының негізгі сипаттамалары болып табылады. Бұл мәселелерді шешу байланыстың өткізу қабілеті мен сенімділігіне әсер ететін күрделі физика-химиялық және биологиялық жүйелерді терең және жан-жақты түсінуді қажет етеді [1].

Соңғы бірнеше жылда жердегі, ғарыштағы және су астындағы байланыс желілері үшін оптикалық сымсыз байланысқа деген қызығушылық айтарлықтай өсті. Алайда, су астындағы оптикалық сымсыз байланыс желілері салыстырмалы түрде аз зерттелген, себебі олар атмосфералық аналогтарымен салыстырғанда үлкен техникалық серпіліс екені анық. Қазіргі уақытта, қазіргі заманғы технология негізінен су астындағы байланыс үшін жарық толқындарын пайдалану арқылы хабар таратуда. Бірақ, бұл әдістің тиімділігі келесі факторлармен шектеледі [1]:

- төмен өткізу қабілеттілігі;
- берілістің жоғары шығыны;
- жоғары кідіріс;
- доплерлік таралу.

Аталған тұжырымдардың барлығы акустикалық арнаның уақытша және кеңістіктік өзгерістерге ұшырауына әкеледі, бұл жүйенің қол жетімді өткізу қабілеттілігін шектейді. Қолданыстағы су астындағы акустикалық байланыс құралдары деректерді беру жылдамдығын секундына ондаған килобитке дейін ұзақ қашықтыққа (бірнеше шақырым ішінде) және қысқа қашықтыққа (бірнеше метр) секундына жүздеген килобитке дейін жеткізе алады [1].

Тарату диапазонына байланысты оптикалық-акустикалық байланыс арналарының келесі түрлерін (1.1-сурет) ажыратуға болады.



1.1-сурет – Оптикалық-акустикалық байланыс арналарына шолу

Кесте 1.1 – Су астындағы акустикалық байланыс желілеріндегі әртүрлі диапазондар үшін өткізу қабілеттілігі [1]:

Арақашықтық	Ұшу қашықтығы (км)	Өткізу жолағы (кГц)	Деректерді тарату жылдамдығы*
Өте алыс	1000	< 1	~ 600 бит/с
Алыс	10 – 100	2 – 5	~ 5 кбит/с
Орташа	1 – 10	≈ 10	~ 10 кбит/с
Қысқа	0.1 – 1	20 – 50	~ 30 кбит/с
Өте қысқа	< 0.1	> 100	~ 500 кбит/с

1.1-кестеге сәйкес әртүрлі диапазондағы су астындағы акустикалық байланыс арналары үшін өткізу қабілеттілігі көрсетілген. Мұндағы * – жылдамдықтың судың түріне, әрекет ету қашықтығына, көлденең/көлбеу таратуға тәуелділікті білдіреді [1].

Дегенмен, әртүрлі су – асты көліктері, біріктіріліп басқарылатын зерттеу роботтары және басқа да құралдар секундына бірнеше Мбит/с-тан ондаған мегабит деректер жылдамдығын қамтитын байланыс арнасын қажет етеді. Үлкен стационарлық құрылғылар жағдайында талшықты-оптикалық немесе мыс кабельдер әдетте деректерді берудің жоғары жылдамдығын қамтамасыз ету үшін қолданылады. Алайда, бұл шешімдер айтарлықтай техникалық шығындар мен тұрақты техникалық қызмет көрсетуді талап етеді [1].

Физика курсынан өткен мәліметтерге сәйкес, электромагниттік толқындардың таралу жылдамдығы бірнеше факторларға байланысты екенін білемін, мысалы, өткізгіштік (μ), электр өткізгіштігі (σ), зарядтың көлемдік тығыздығы (ρ) және диэлектрлік өткізгіштік (ε). Бұл параметрлердің әртүрлі су асты жағдайлары мен жиіліктеріндегі мәндері байланыс тиімділігіне тікелей әсерін тигізеді [1].

Радио толқындарының жиілігінің өсуі оның әлсіреуінің жоғарылауымен қатар жүреді, әсіресе теңіз суында, сондықтан да, су астындағы байланыс коммутациясы үшін жиілік диапазондарын мұқият таңдау қажет.

Өткізу қабілеттілігі кең болатын оптикалық толқындарды су астындағы сымсыз байланыс үшін де пайдалануға болады мәлім. Алайда олардың таралуына температураның ауытқуы, жарықтың шашырауы мен сынуы, дисперсиясы және сәуленің бағыты сияқты факторлар кедергі келтіреді және оптикалық жиілік диапазонында жарықтың жұтылуымен және кедергі бөлшектерден кері шашырауға байланысты қысқа қашықтықтармен мүмкіндігі шектеледі [5].

Су астындағы ортада көк-жасыл толқын ұзындығы таралуына мүмкіндік бар, онда әлсіреу салыстырмалы түрде төмен болады және дәл осы әдіс су астындағы оптикалық сымсыз байланысты (UOWC) зерттеушілердің назарын аударады. Көк-жасыл толқындар 100 метрге дейінгі қысқа қашықтықта жоғары өткізу қабілеттілігін қамтамасыз етеді [1].

Мен су астындағы байланыс саласындағы соңғы зерттеулерге шолу жасаған болатынмын. Соның ішіндегі ең есте қалғаны 2021 жылы Сян Цюй және Мэн Цинь Лай [2] есімді зерттеушілер су астындағы сымсыз байланыстың желілік архитектурасын, физикалық деңгей технологияларын және энергияны үнемдеу әдістерін, соның ішінде баламалы энергия көздерін қарастыра отырып, су астындағы сымсыз байланыстың энергия тиімділігін арттыруға назар аударды. 2022 жылы Луидің зерттеу ізін жалғастырған Аман есімді зерттеуші ауа мен су арқылы трансшекаралық байланысты егжей-тегжейлі зерттеп, дамудың үш негізгі түрін атап өтті: тікелей оптикалық байланыс, ретрансляцияға сүйемелденген байланыс және тікелей оптикалық емес байланыс. Сондай-ақ, 2022 жылы зерттеушілер су асты және әуе сымсыз желілері үшін қауіпсіздік мәселелері мен қарсы шараларды, соның ішінде заманауи технологияларды және қауіпсіздікті арттырудың ең тиімді ықтимал шешімдерін қарастыруды талдады. 2023 жылы алтыншы буын (6G) инфрақұрылымына қосымша ретінде су астындағы сымсыз байланыс (UWC) әлеуетін зерттеу жүргізілді. Кейінірек әртүрлі модуляция технологияларын қоса алғанда, су астындағы байланыс арналарын модельдеудің физикалық деңгей әдістері мен міндеттеріне шолу жасалды. Сүңгуір қайықтардағы байланыс саласындағы зерттеулердің көпшілігі электромагниттік, акустикалық және оптикалық әдістерге негізделген [2].

Луи, Аман және Каза [1] ғалымдарының зерттеулер нәтижесі 1.2-кестеде су астындағы әртүрлі сымсыз технологиялардың өшулік мәні, жылдамдығы, кідіріс, арақашықтық, өткізу қабілеті, жиіліктер диапазоны, тарату қуаты, антенна өлшемі, тиімділігі және деректерді тарату жылдамдығы сияқты параметрлері салыстыру негізінде келтірілген, ал су астындағы байланыс жүйелерін егжей-тегжейлі зерттеу мен салыстыру олардың артықшылықтары мен кемшіліктерін сипаттайтауға арналған оңтайлы әдіс, су астындағы сигналдардың артық өшулігін, сигналдың шашырауын, жұтылуын, дифракциясын, дисперсиясын, турбуленттілігі сияқты басқа да шығындарды болдырмау үшін толық талдауларды талап етеді. Бұндай талдауларды [1], [2] дереккөздерден зерттеп, берілген жұмысқа қосуды жөн көрдім.

Кесте 1.2 – 3 түрлі сымсыз су асты технологияларын салыстыру [1]

Параметрлері	Акустикалық байланыс	Электромагниттік байланыс	Оптикалық байланыс
Өшулік	Жиілік пен қашықтыққа тікелей байланысты (0,1 – 4 дБ/км)	Жиілік пен өткізгіштікке байланысты (3,5 – 5 дБ/м)	0,39 дБ/м (мұхит суы) – 11 дБ/м (мөлдір емес су)
Жылдамдық (м/с)	1500 м/с	$\approx 2.255 \cdot 10^8$ м/с	$\approx 2.255 \cdot 10^8$ м/с
Деректерді беру жылдамдығы	~кбит/с	~ Мбит/с	~ Гбит/с
Кідіріс	Жоғары	Орташа	Төмен
Арақашықтық	Бірнеше км	10 метрге дейін	$\approx 10 - 100$ метр аралығы
Өткізу қабілеті	Арақашықтыққа байланысты: 1000 км < 1 кГц 1 – 10 км < 10 кГц < 100 м \approx 1 кГц	Бірнеше МГц	10 – 150 МГц
Жиіліктер диапазоны	10 – 15 кГц	30 – 300 Гц (ELF) (бір орында тұратын су астындағы тікелей баланыс үшін)	$10^{12} - 10^{15}$ Гц
Тарату қуаты	10 Ватт	Арақашықтыққа байланысты бірнеше МВт-тан 100 Ватт-қа дейін	Бірнеше Ватт
Антенна өлшемі	0.1 м	0.5 м	0.1 м
Тиімділігі	≈ 100 бит/джоуль		$\approx 30\ 000$ бит/джоуль
Жұмыс параметрлері	Температура, су тұздылығы және қысым	Өткізгіштік және диэлектрлік өткізгіштік	Жұтылуы, диффузия/ластану, органикалық заттар

1.2 Су астындағы сымсыз байланыс технологияларына салыстырмалы шолу

1. Акустикалық толқындар – су астындағы сымсыз байланыстың негізгі элементін құрайды. Толқындардың барлық белгілі түрлерінің ішінде олар салыстырмалы түрде аз жұтылады және ұзақ қашықтықта деректер беру сияқты қасиеттері жақсырақ дамыған [1].

Су астындағы аудио-акустика саласындағы алғашқы қадамдар Америка Құрама Штаттарында жасалды. Олар 8-ден 15 кГц-ке дейінгі жиіліктерде тасымалдаушыны басатын бір жолақты (SSB) амплитудалық модуляцияны қолданды. Бұл импульстарды қалыптастыру үшін қарапайым дауыс диапазоны мен сүзгілерді қолдануды көздеді. Алайда, қабылданған сигнал сапасыз болды және адамның құлағы мен миының бұл бұрмаланған сөздерді түсінуге және өңдеуге қабілеті келмеді. 1960 жылдары цифрлық байланыстың енгізілуімен деректер жылдамдығы мен ауқымы айтарлықтай жақсарды. Белгілі бір уақыт аралығында зерттеушілер су астындағы акустикалық байланысты тиімдірек ету үшін арнаны бағалаудың күрделі әдістерін және әртүрлі алгоритмдерді әзірлеген болатын. Ортогональды жиілікті бөлу мультиплекстеу (OFDM) сонымен қатар күрделі эквалайзерлерді қажет етпестен жоғары деректер жылдамдығына қол жеткізу үшін су астындағы акустикалық байланыста кеңінен қолданыла бастады [1].

Дегенмен, осы және басқа да көптеген технологиялық жетістіктерге қарамастан, су астындағы акустикалық байланыс әлі де тиімді байланыс үшін көптеген кедергілерге тап болады. Су астындағы ортаны бір қарағанда еш қиындықсыз табындыруға болады дегенмен де, бұл ортада архитектура құру күрделі екені білінеді.

Су асты каналындағы толқындар олардың тиімділігіне әсер ететін үш негізгі факторға ұшырайды: жиілікке тәуелді әлсіреу, уақыт бойынша өзгеретін көп жолақты таралу және жоғары кідіріс. Көп сәулелі құбылыс 50-100 мс жетуі мүмкін кідірістің таралуына әкеледі. Бұл кідіріс дисперсиясы секундына 2-10 килосимволдық деректер жылдамдығында 20-300 таңбадан асатын таңбааралық кедергілерді (ISI) тудыруы мүмкін, осылайша су астында деректер жылдамдығы шектеледі [1].

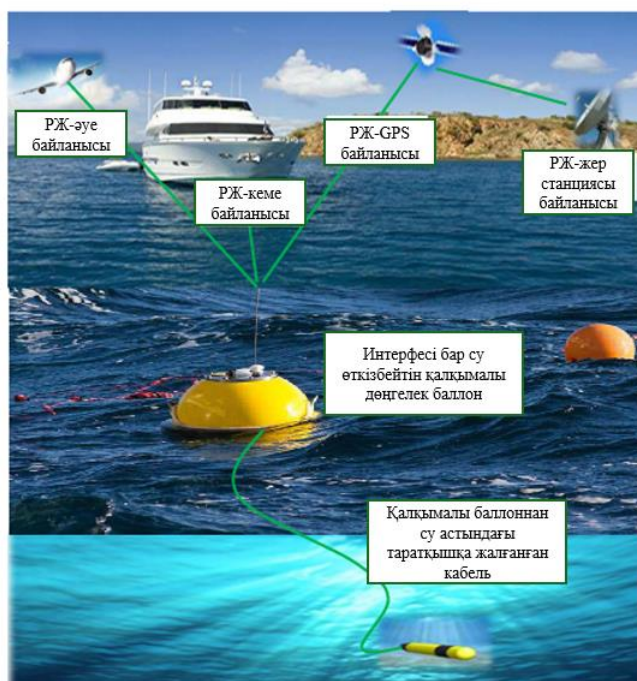
2. Радиожиілік толқындары – су астындағы сымсыз байланыста деректер жылдамдығын жақсартудың әлеуетті құралы ретінде зерттелді. Бұл толқындарды пайдалану су асты жағдайында өткізу қабілеттілігі мен деректерді беру жылдамдығын арттырып, оларды зерттеуге тартымдылықты арттырды. Жүйенің нақты архитектурасына байланысты бұл радиожиілік толқындарының диапазоны бірнеше ондаған Гц-тен ГГц-ке дейін болуы мүмкін [1].

Өте төмен жиілікте (ELF) жұмыс істейтін электромагниттік толқындар, яғни 30-300 Гц, әскери мақсатта және құрлық пен су асты нысандары арасындағы байланыс құралы ретінде кеңінен қолданылды. Бұл толқындар деректерді алыс қашықтыққа тасымалдауда тиімді екенін дәлелдеді және әскери-теңіз күштерінің сүңгуір қайықтарымен байланысу үшін сәтті қолданылды. 1968 жылы жердегі

радиобайланыс арналары арқылы жоғары өткізу қабілеттілігімен байланысты қамтамасыз ету үшін сүңгуір қайықты жер бетіне шақыру үшін ескерту жүйесін қолданған алғашқы жобасы жасалды. Зерттеушілер радиожилік толқындары МГц диапазонындағы жиіліктері шамамен 100 ватт жоғары тарату қуаты бар дипольді сәулеленуді пайдаланған кезде теңіз суында 100 м-ге дейін таралуы мүмкін деп мәлімдейді [1]. Алайда, бұл процесс күрделі антенналарды және жоғары беріліс қуатын қажет етеді, бұл оны жүзеге асыруға кедергі келтіруі мүмкін.

Су асты және жер үсті таратқыштары арасындағы байланыс арнасын пайдалануды көздейтін радиожилік жүйесін әзірлеу және жобалау процесінде МГц-тен ГГц-ке дейінгі жиіліктердің кең ауқымын тиімді пайдалануға болады. Бұл әсіресе су астында және жер бетінде сенімді байланыс орнатуды қажет ететін жағдайларға қатысты. Мұндай байланыс жүйелері 1.2-суретте көрсетілген қалқымалы радиожилік байланыс жүйелері деп аталды. Алайда, олар толыққанды су астындағы байланыс жүйесі емес екенін атап өткен жөн. Сонымен қатар, конструктивті шешімнің тағы бір нұсқасы бар, ол таратқыш пен қабылдағыш арасында тікелей радиожилік байланысының болуын болжайды, олар тікелей су астында орналасуы мүмкін немесе олардың біреуі суда, екіншісі ауада орнатылуы мүмкін. Жүйе дизайнының бұл нұсқасы тікелей радиожилік байланыс жүйесі деп аталады және оны 1.3-суреттен оны көруге болады. Мұндай жүйеде байланысты қамтамасыз ету үшін әдетте ELF немесе LF диапазонындағы жиіліктері бар сигналдар қолданылады. Жұмыста [1] радиожилік пен акустикалық байланыс салыстырылды, онда әртүрлі жиілік диапазондары үшін максималды таралу қашықтығы көрсетілген (100 кГц-те – 6 м, 10 кГц-те – 16 м және 1 кГц-те – 22 м). Радиожилік байланысында деректерді беру жылдамдығын бірнеше кіріс және бірнеше шығыс (MIMO) сұлбаларын қолдану арқылы арттыруға болады. Ал төрт таратқыш антеннасы бар квадратуралық фазалық манипуляция (QPSK) схемасы 2 км-ге дейінгі қашықтыққа 23 кГц өткізу қабілеттілігінде 48 Кбит/с дейінгі жылдамдықпен деректерді жіберуге қабілетті екенін атап өтті. Су асты байланысы үшін радиожиліктерді пайдалануға қатысты көптеген зерттеулер жүргізілді [1] және [2], бірақ олар теңіз суының жоғары өткізгіштігіне байланысты жоғары шығын мәселесіне тап болады. Теңіз суындағы орташа өткізгіштік 4 мом/м құрайды, бұл тұщы судағы өткізгіштіктен екі ретке жоғары. Бұл теңіз суындағы жоғары жиіліктегі жұтылу шығындарын көбейтеді [1].

Қорытындылай келе, бұл бөлімде ғылыми жетекшінің тапсырмасына негізделген су астындағы бірнеше сымсыз байланыс технологияларын өзара салыстыруға тоқталдым. Әр технологияның даму перспективасы, өткізу қабілеті, деректерді тарату жылдамдығы және т.б. сияқты параметрлерін зерттедім.



1.2-сурет – Су астындағы радиожилілік жүйесін жобалау архитектурасының қалқымалы баллонға негізделген радиожилілік байланыс жүйесі



1.3-сурет – Су астындағы радиожилілік жүйесін жобалау архитектурасының тікелей радиожилілік байланыс жүйесінің көрінісі

1.3 Су астындағы оптикалық сәуленің таралуын зерттеу

Су астында оптикалық сәуленің таралу процесін жүзеге асыру өте күрделі міндет болып табылады. Бұл әр түрлі факторларды, соның ішінде әр түрлі су объектілерінің ерекшеліктері мен сипаттамаларын – таяз су қоймаларынан бастап үлкен мұхит тереңдігіне дейін ескеру қажет. Бұл параметрлердің барлығы

бір-бірінен айтарлықтай ерекшеленеді және су астында болатын күрделі физика-химиялық ортаны терең және жан-жақты түсінуді қажет етеді. Әр түрлі су объектілерінің қасиеттері олардың географиялық орналасуына байланысты өзгеруі мүмкін, бұл терең мұхиттарға да, құрлыққа жақын жағалау суларына да қатысты. Сонымен қатар, әртүрлі еріген заттардың концентрациясы да коммуникациялық байланыс ортасын қалауда маңызды рөл атқарады [3].

Толығырақ айтатын болсам, судың келесі түрлерін ажыратуға болады: таза теңіз суы. Бұл жағдайда көрінетін спектрде (400-700 нм) таза теңіз суындағы еріген тұздардың жұтуын елемеуге болады деп болжанады [1].

Мұндағы ең маңызды шектеуші фактор – толқын ұзындығының үлкеюімен жұтылудың қоса ұлғаюы. Нәтижесінде 500 нм қызыл толқын ұзындығы көгілдір жарыққа қарағанда әлсірейді, сондықтан терең, мөлдір мұхит суы қанық көк түске ие болады. Таза теңіз суындағы суды сіңіру коэффициенті келесі формуладағыдай көрсетіледі [1]:

$$a_{sea\ water}(\lambda) < K(\lambda) - \frac{b(\lambda)}{2} \quad (1.1)$$

бұл формуладағы,

λ – толқын ұзындығы;

K – шашырау коэффициенті;

b – жұтылу коэффициенті.

Айта кету керек, b және K параметрлерінің төмен мәндері жағдайында оптикалық сәуле негізінен түзу сызықпен қозғалады, бұл оны зерттеуді айтарлықтай жеңілдетеді [1].

Алайда, су астында болатын заттар оптикалық сәуленің таралу сипатына айтарлықтай әсер етуі мүмкін екенін ескерген жөн. Мысалы, мұхит суында әдетте әртүрлі еріген бөлшектердің, соның ішінде тұздардың, минералдардың, сондай-ақ боялған органикалық қосылыстардың жоғары концентрациясы болады. Жағалаудағы мұхит суы әдетте еріген бөлшектердің одан да көп концентрациясына ие, бұл лайлану деңгейінің жоғарылауына әкеледі. Мұндай жағдайларда сіңіру және дисперсия процестері айқынырақ болады, бұл оптикалық сәуленің таралу сипатына әсер етеді. Еріген және өлшенген бөлшектердің концентрациясы жоғарылаған сайын су мөлдірлігін жоя бастайды. Мұндай жағдайларда оптикалық сәуленің таралуы сіңіру мен шашыраудың жоғарылауына байланысты шектеледі (1.5-сурет) [4].

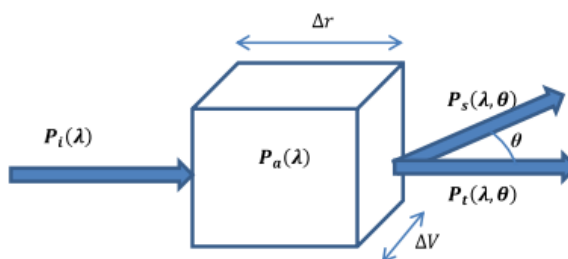
Судың оптикалық қасиеттері әдетте ішкі және көрінетін болып екі түрге жіктеледі. Ішкі қасиеттер тек қоршаған ортаның сипаттамаларына, соның ішінде ондағы бөлшектердің құрамы мен концентрациясына байланысты. Көрінетін қасиеттер тек ортаға ғана емес, сонымен қатар шашыраңқы сәуле болсын, жарық көзінің геометриялық құрылымына да байланысты. Ішкі оптикалық қасиеттерге сіңіру коэффициенті, шашырау коэффициенті, әлсіреу коэффициенті және көлемдік шашырау функциясы сияқты параметрлер жатады (1.4-сурет). Бұл

параметрлер су астындағы сымсыз байланыс арнасының бюджетін анықтауда маңызды болып табылады [6].



1.4-сурет – Су астындағы оптикалық байланыс таратуға әсер ететін факторлар

Су ортасындағы оптикалық сигналдың қарқындылығының төмендеуіне немесе бағытының өзгеруіне әкелетін құбылыстарды талдау кезінде екі негізгі процеске назар аудару керек: жұтылу және шашырау. Бұл екі процесс жарық сигналының сумен қалай әрекеттесетінін анықтауда шешуші рөл атқарады. Олардың әсерін жақсы түсіну үшін біз 1.5-суретте көрсетілген қарапайым геометриялық модельді қарастыра аламыз. Бұл модель қалыңдығы r болатын V судың қарапайым көлемін пайдаланады [4].



1.5-сурет – Оптикалық физикаға тән құбылыстар

Суды P_i қарқындылығы мен толқын ұзындығы λ болатын жарық сәулесімен жарықтандыру кезінде қызықты құбылыс орын алады. Түскен жарықтың белгілі бір бөлігі сумен жұтылады, оны P_a деп белгіледім, ал жарықтың басқа бөлігі жұтылады, мен оны P_s деп белгіледім.

Алайда, барлық жарық жоғалмайды, қалған жарық қарқындылығы, P_t , өзгеріссіз су арқылы өтуді жалғастырады. Бұл сіңіру мен шашырауға қарамастан, жарықтың бір бөлігі әлі де су арқылы өтуге қабілетті екенін көрсетеді. Мұның бәрі энергияны үнемдеу принципіне толық сәйкес келетінін ескеру маңызды. Мұны келесі теңдеу түрінде көрсетуге болады [1]:

$$P_i(\lambda) = P_a(\lambda) + P_s(\lambda) + P_t(\lambda) \quad (1.2)$$

Жұтылу коэффициенті A сіңірілген қуаттың түсетін қуатқа қатынасы ретінде анықталады. Дәл сол сияқты, шашырау қуаттың жұтылған қуатқа қатынасы шашырау коэффициенті B ретінде анықталады [1]:

$$A(\lambda) = \frac{P_a(\lambda)}{P_i(\lambda)} \quad (1.3)$$

$$B(\lambda) = \frac{P_s(\lambda)}{P_i(\lambda)} \quad (1.4)$$

Жұтылу және шашырау коэффициенттері шекті қалыңдыққа қабылдау арқылы анықталады және r шексіз аз болады және келесі түрде беріледі [1]:

$$a(\lambda) = \lim_{\Delta r \rightarrow 0} \frac{\Delta A(\lambda)}{\Delta r} = \frac{dA(\lambda)}{dr} \quad (1.5)$$

$$b(\lambda) = \lim_{\Delta r \rightarrow 0} \frac{\Delta B(\lambda)}{\Delta r} = \frac{dB(\lambda)}{dr} \quad (1.6)$$

Су астында жарықтың қалай сөнетінін енді түсінген боларсыз. Бұл құбылысты c белгісімен көрсетілген сәуленің әлсіреу коэффициенті сияқты шамамен сипаттауға болады, бұл коэффициент басқа екі маңызды шаманың қосындысының нәтижесі болып табылады: жұтылу коэффициенті және шашырау коэффициенті. Осылайша, жалпы алғанда, судағы жарықтың ыдырау процесін сипаттайтын математикалық формуланы білдіруге болады [4]:

$$c(\lambda) = a(\lambda) + b(\lambda) \quad (1.7)$$

Жарықтың жұтылуы және дисперсия коэффициенттерінің стандартты мәндерін 1.3-кестеден табуға болады. Әрі қарай, толқын шамасы мен z белгісімен белгіленетін қашықтықтың функциясы болып табылатын таралу шығындарының коэффициенті L_p төмендегі формулаға сәйкес анықталады [4]:

$$L_p(\lambda, z) = \exp^{-c(\lambda)z} \quad (1.8)$$

Кесте 1.3 – Өртүрлі су орталарындағы жарықтың жұтылуы және шашырау коэффициенттерінің есептелген мәндері:

Су ортасының түрі	$a(m^{-1})$	$b(m^{-1})$	$c(m^{-1})$
Мөлдір мұхит	0.115	0.038	0.152
Жағалаудағы мұхит	0.180	0.220	0.340
Лас су	0.367	1.830	2.196

1.3-суретте турбулентті шашырау ұғымы көрсетілген. Оған тұжырымдама беретін болсам, турбуленттілік немесе турбулентті шашырау дегеніміз – жарық бөлшектерінің диаметрінің квадратына пропорционал және теңіз суының сыну көрсеткішінің (n) кездейсоқ өзгеруінің нәтижесінде пайда болатын шама. Негізінен, ол судың тұздылығына, қысымға, температурасына және толқын ұзындығына байланысты өзгеруі мүмкін [7].

Өр түрлі технологиялардың негізгі өшулік параметрлерін қарастырайын:

– Радио жиілік толқындары: судағы RF толқындарының әлсіреуі, әсіресе жоғары жиілікте, өте жоғары болатыны белгілі. Мысалға, Wi-Fi технологиясында қолданылатын 2,4 ГГц жиілігінде орташа сигнал әлсіреуі шамамен 200 дБ/м-ді құрайды.

– Жарық толқыны (Li-Fi технологиясы): жарық толқындарының жұтылуы толқын ұзындығына байланысты болады. Мысалы, шамамен 520 нм болатын жасыл жарық мөп-мөлдір таза суда орташа өшу коэффициенті 0,1 – 0,3 дБ/м шамасында сөнеді.

– Акустикалық толқындардың ыдырауы судың жиілігі мен температурасына тығыз байланысты болады. Шамамен 50 кГц жиілік үшін орташа әлсіреу мәні шамамен 0.1 дБ/м құрайды.

Сонымен, берілген параметрлерге сәйкес 20 м қашықтықтағы өшулік шамасын 1.9-шы формула арқылы есептеп көрейік [8]:

$$L = \alpha \times d \quad (1.9)$$

мұндағы,

α – технологиядағы орташа сөну мәні, Дб/м;

d – таратқыш және қабылдағыш арасындағы қашықтық, м.

1. 2,4 ГГц RF толқындары үшін өшулік:

$$L_{RF} = \alpha_{RF} \times d = 200 \times 20 = 4000 \text{ дБ}$$

2. Li-Fi технологиясы (520 нм көк жарық үшін):

$$L_{Li-Fi} = \alpha_{Li-Fi} \times d = 0.2 \times 20 = 4 \text{ дБ}$$

3. 50 кГц акустикалық толқындар үшін:

$$L_{\text{акустик}} = \alpha_{\text{акустик}} \times d = 0.1 \times 20 = 2 \text{ дБ}$$

Қорытындылай келе, 2.4 ГГц толқын жиілігінде әлсіреу 20 м қашықтықта 4000 дБ құрайды, бұл RF толқындарын су астында алыс қашықтыққа деректерді беру үшін өте тиімсіз етеді. Ал, жасыл жарықтың сөнугі 20 м-ге 4 дБ құрайды, бұл технологияны RF толқындарымен салыстырғанда әлдеқайда тиімділігі жоғары. Li-Fi дұрыс толқын ұзындығын пайдаланған кезде су астындағы салыстырмалы түрде ұзақ қашықтыққа деректерді тасымалдауға жарамды. Акустикалық толқындарға келер болсақ, 50 кГц жиіліктегі әлсіреу 20 м-ге 2 дБ құрайды, бұл акустикалық толқындарды су астындағы ұзақ қашықтыққа деректерді беру үшін, әрине, жақсы көрсеткіш, дегенмен де, акустикалық толқындардың деректер жылдамдығы Li-Fi-мен салыстырғанда айтарлықтай төмен екені мәлім.

Жүргізілген есептеулерге сүйене отырып, су астындағы сигналдың әлсіреуі қолданылатын технологияға байланысты айтарлықтай өзгертінін байқауға болады. Акустикалық толқындар ең аз әлсіреуді көрсетеді, бұл деректерді ұзақ қашықтыққа, бірақ шектеулі жылдамдықпен жіберуге мүмкіндік береді. Li-Fi әлсіреу мен деректер жылдамдығы арасындағы қолайлы тепе-теңдікті ұсынады, бұл баланс су астында жарық арқылы дауыстық хабарламалар жіберуді ыңғайлы етеді. RF толқындары ең үлкен әлсіреуге ие және су астындағы деректерді айтарлықтай қашықтыққа жіберуге мүлде жарамайтыны есептелді. Сонымен қатар, Li-Fi жүйесі акустикалық толқын жүйесімен салыстырғанда біршама арзан, себебі ол тек жарық диодтары мен фотодиодтар жиынтығынан тұрады [9]. Есептеу нәтижесін 1.4-кестеден айқын бақылауға болады:

Кесте 1.4 – Әр түрлі технологиялардың негізгі өшулік параметрлері

Технология атауы	Орташа әлсіреу коэффициенті, дБ	Арақашықтық, м	Есептелген өшулік нәтижелері, дБ
RF толқындары	200	20	4000
Li-Fi технологиясы	0,2	20	4
Акустикалық толқын	0,1	20	2

Бұл бөлімді мен әртүрлі су орталарындағы, нақтырақ айтар болсам, мөлдір мұхит суы, лас су, жағалаудағы мұхит сулары және химиялық қосылыстары немесе бөлшектері бар, тұзды су орталарында жарық арқылы байланыс таратуға қандай факторлар әсер ететінін нақтырақ айтып, ондағы жарықтың шашырау және жұтылу коэффициенттерін ескеру мақсатында жаздым.

2 Оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін су астында жобалау үшін Li-Fi технологиясын пайдалану

2.1 Li-Fi технологиясының тарихы және негізгі дағылары

Li-Fi технологиясының негізгі идея бастамасы 1960 жылдары пайда болды, бірақ содан кейін оны іс жүзінде жүзеге асыру мүмкін болмады, себебі ол кездерде қолданыста вольфрам қыздыру шамдары кең таралған. Ал, қазіргі таңда Li-Fi технологиясын құруға мүмкіндік беретін жарық диодтарының өнертабысымен жағдай жаңа ағынға жол ашты. 2011 жылдың наурыз айларында «TED Global» конференциясында бұл технология туралы Харальд Хасс есімді профессор алғаш рет айтқан болатын. Li-Fi-дің алғашқы жұмыс істеу принципінің прототипін Эдинбург университетіндегі «Pure Life» атты университеттік ұйым жасаған, бірақ ол жағдайда жүйе әуе ортасында қолдануға арналған [10].

Қазіргі мезет технологиялық мүмкіндіктердің нағыз дамушы кезеңі, сымсыз байланыс жүйелерінің, әсіресе Wi-Fi жүйелерінің шақыртау шегінде тұрғаны бәрімізге мәлім. Wi-Fi технологияларының функционалды мүмкіндігі дамығаны сонша, қайда қарасаң да бізбен бірге, яғни, көк тіреген үйлерде де, жер үйлер де де, кеңсе мен ғылыми институттарда, басқа да қоғамдық орындардың бәрінде орнатылған ең тиімді байланыс коммуникациясының бірі және ақпарат тарату үшін радио толқындарын пайдаланады [11].

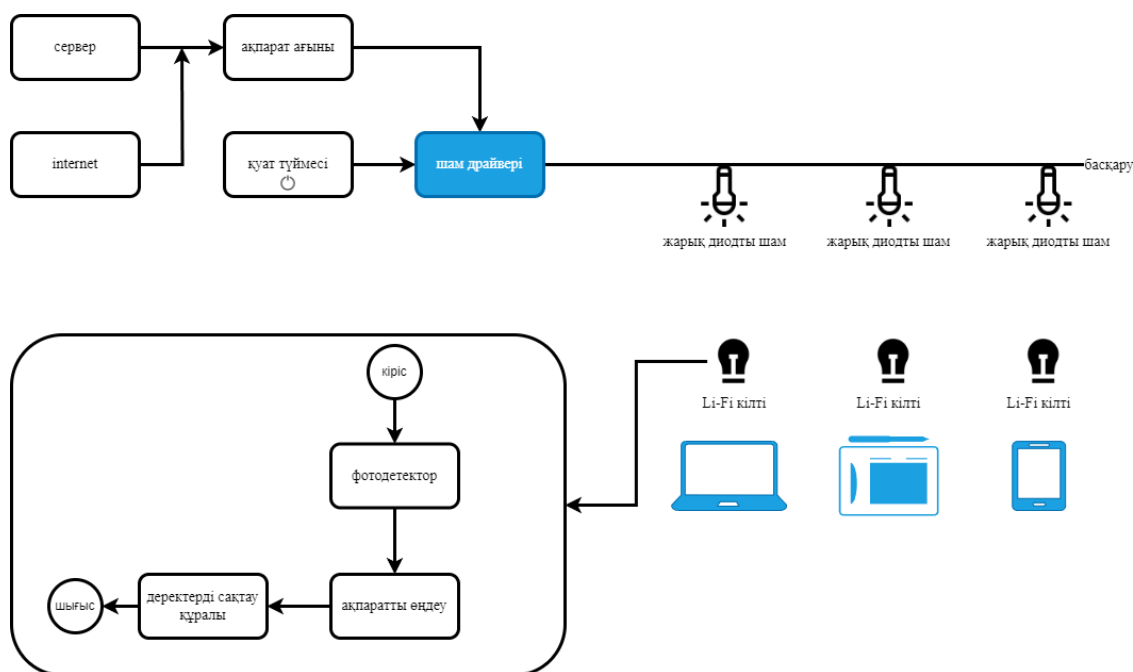
Дегенмен де, пайдалану көлемі мен аталған артықшылықтарына қарамастан, Wi-Fi жүйесін мінсіз деп айту қиын. Желінің қол жетімділік ерекшеліктеріне байланысты Wi-Fi технологиясының өткізу қабілеттілігі, қамту аймағы, абоненттердің жүктемесі, тиімділігі және қауіпсіздік тұрғысында бірқатар мәселелер туындайды. Сонымен қатар, халық арасында Wi-Fi жүйелерінде қолданылатын электромагниттік толқындар зиян деген ойлар туындауда. Өкінішке қарай, медициналық құрал-жабдыққа әсер етуі мүмкін радио толқындар медицина орталықтарында да пайдаланады екен. Бұл ауруханалар немесе ғылыми мекемелер сияқты кейбір жағдайларда Wi-Fi технологиясын пайдалануға шектеу болуы мүмкін дегенді білдіреді. Осыған байланысты ғылыми қауымдастық Li-Fi технологиясына негізделген жүйелерді мұқият зерттеп дамытуда [12]. Li-Fi технологиясы толықтай Wi-Fi-ді басады деп кесіп айту, мен үшін, дұрыс емес, дегенменде бұл екі жүйенің біріктірілуі NGN аясында болашақтағы ақпарат алмасу жүйелерінің дамуына және алыс қашықтыққа жоғары жылдамдықты хабар жіберу жүйесіне үлкен серпін қосатыны анық.

Li-Fi немесе Light Fidelity жүйесі – бұл радио кедергілерді болдырмайтын жоғары тығыздықтағы сымсыз жарық арқылы деректерді берудің жаңа технологиясы. Оны әртүрлі денсаулық көрсеткіштерін өлшеу үшін биосенсорлық құралдарда пайдалануға да болады. Соңғы онжылдықта жарықдиодты өндірісті жылдам жетілдірудің арқасында Visible Light Communication (VLC) атты технология айтарлықтай қызығушылық тудырып зерттелуде [12].

Мен аталған дипломдық жұмысымда су астындағы коммуникацияны орнату үшін Li-Fi технологиясын пайдалануды жөн көрдім. Себебі, су астында кабель тарату жүйелері тиімсіз және күнделікті қызмет көрсету жұмыстарын, оған қоса, монтаждау және жөндеу жұмыстарын қамту көптеген шығындарды әкеледі. Оған қоса, алдыңғы бөлімде анықтағанымыздай, есептеулерге жүгінсек, су астында дерек беру үшін ең қолайлы тәсіл – көрінетін жарық арқылы хабарлар жіберу, себебі осы әдіс арқылы деректерді жоғары жылдамдықпен, сонымен қатар, сигнал өшулігінің аз мәнінде қолдануға болатынын түсіндім.

2.2 Li-Fi технологиясының архитектурасы

Li-Fi деректер жүйесі ақпаратты жоғары жылдамдықпен беру үшін жарық қарқындылығы үлкен диодтарды пайдаланады, технология қарқындылығын адамның көзімен салыстырғанда тезірек өзгертеді [11]. Li-Fi технологиясын су астында пайдаланған кезде айтарлықтай кедергісіз 20-дан 35 метрге дейінгі тарату қашықтығына қол жеткізуге болады. Ақпарат екілік форматта кодталады және жоғары жарықтандырылған жарық диодтары арқылы беріледі, олар деректерді 0 және 1 биттерін беру арқылы сәйкесінше қосулы және өшірулі күйлер арасында жылдам ауыса алады. Яғни, жарық бар мезет – 1-мен белгіленеді, жарық жоқ мезет 0-мен белгіленеді.



2.1-сурет – Li-Fi технологиясының архитектурасы

Негізінен, аталған Li-Fi технологиясы – бұл көрінетін жарықтың көмегімен деректерді жіберу. Бұл технологияның әрекет ету принципі – жарық диодты шам арқылы деректерді беру арқылы жүзеге асырылады, айтқанымдай, оның жарық қарқындылығы адам көзінің мүмкіндіктерінен әлдеқайда жоғары жылдамдықпен

2.3 Li-Fi технологиялық жүйесіндегі жарық сигналдарының энергия шығынын есептеу әдісіне шолу жасау

Бұл жұмыста жарық көзі ретінде жарық диодтарын және лазерін қолдана тұра, 4 метрге дейінгі қашықтықта 9600 бит/с сымсыз деректерді жіберуге қабілетті су астындағы оптикалық байланыс жүйесі ұсынылған [14]. Жүйе жарық сәулесін қабылдағышқа бағыттайтын, электрлік деректер сигналын оптикалық сигналға түрлендіретін таратқыш модульдерінен тұрады. Таратқыш деректерді сериялық интерфейс арқылы алады, оны спецификация бойынша кодтайды және жарық диодтары арқылы жарық импульстарын жасайды. Қабылдағыш оптикалық сигналды қабылдап, оны қайтадан электр сигналына айналдырады. Ол 460-тан 520 нм-ге дейінгі толқын ұзындығына сезімтал лазермен [11] жабдықталған.

Әдетте су астындағы сигналдың таралуы кезіндегі шығынды табу үшін біз жарықтың жұтылуы мен шашырауына байланысты ортадағы әлсіреуін есептеу үшін Бир-Ламберт заңын (2.1) [7] қолданамыз. Тендеу мәні келесідей:

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha d} \quad (2.1)$$

мұндағы,

I – су ортасы арқылы өткеннен кейінгі сигналдың қарқындылығы;

I_0 – сигналдың бастапқы қарқындылығы – бұл таралу бағытындағы аудан бірлігіне қанша энергия толқын түрінде берілетіндігінің өлшемі. Байланыс жүйелерін зерттеу және жобалау үшін сигналдың қарқындылығын түсіну маңызды, әсіресе орта сигналды айтарлықтай әлсірететін жағдайларда аса көңіл аудару қажет.

d – таратқыш және қабылдағыш антенналардың арасындағы қашықтық, м;

α – су астындағы орташа жұтылу коэффициенті;

λ – толқын ұзындығы, м;

L_{uw} – сигналдың жоғалуы, дБ.

Бастапқы беріліс мәндері:

$\lambda = 650$ нм (көрінетін қызыл жарық үшін)

$d = 20$ м

$\alpha = 0.9$ м⁻¹

Сигналдың жоғалу коэффициентін есептеу керек:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\alpha d} \quad (2.2)$$

Берілген мәндерді ауыстырып сәйкестендіру:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-0.9 \times 20} = e^{-18}$$

$$e^{-18} = 1.52 \times 10^{-8}$$

Сондықтан су астында 20 метр жүргеннен кейін сигналдың қарқындылығы бастапқы қарқындылықтың шамамен $1,52 \times 10^{-8}$ -ін құрайды. Шығынды децибелмен (дБ) өрнектеу үшін келесі формуланы (2.3) қолданамыз:

$$L_{uw}(\text{дБ}) = 10 \times \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad (2.3)$$

$$\text{Яғни, } \frac{I}{I_0} \approx 1.52 \times 10^{-8}$$

$$\frac{I}{I_0} \approx \frac{1}{1.52 \times 10^{-8}} = 6.58 \times 10^7$$

Кейіннен:

$$L_{uw}(\text{дБ}) = 10 \times \log_{10}(6.58 \times 10^7)$$

$$L_{uw}(\text{дБ}) = 10 \times \log_{10}(6.58) + 10 \times \log_{10}(10^7)$$

$$L_{uw}(\text{дБ}) = 10 \times 0.818 + 10 \times 7 = 78.18$$

$\alpha = 0.7 \text{ м}^{-1}$ -ді құраса, сигналдың жоғалу шығынын келесі түрде есептейміз:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-0.7 \times 20} = e^{-14} = 8.3 \times 10^{-7}$$

$$\frac{I}{I_0} \approx \frac{1}{8.3 \times 10^{-7}} = 5.47 \times 10^5$$

$$L_{uw} = 10 \times \log_{10}(5.47 \times 10^5) = 57.37 \text{ дБ}$$

Ал $\alpha = 0.5 \text{ м}^{-1}$ -ді құраса, сигналдың жоғалу шығынының мәні келесідей:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-0.5 \times 20} = e^{-10} = 4.54 \times 10^{-5}$$

$$\frac{I}{I_0} \approx \frac{1}{4.54 \times 10^{-5}} = 2.2 \times 10^4$$

$$L_{uw}(\text{дБ}) = 10 \times \log_{10}(2.2 \times 10^4) = 43.42$$

Дәл осы формулаларды қолданып, еш қиындықсыз $\alpha = 0.3 \text{ м}^{-1}$ кезіндегі, сигналдың жоғалу шығынының мәнін анықтап аламыз. Кейіннен есептелген мәндердә 2.1-кестеге енгіземіз.

$$\frac{I}{I_0} = e^{-0.3 \times 20} = e^{-6} = 2 \times 10^{-3}$$

$$\frac{I}{I_0} \approx \frac{1}{2 \times 10^{-3}} = 500$$

$$L_{uw} = 10 \times \log_{10}(500) \approx 27 \text{ дБ}$$

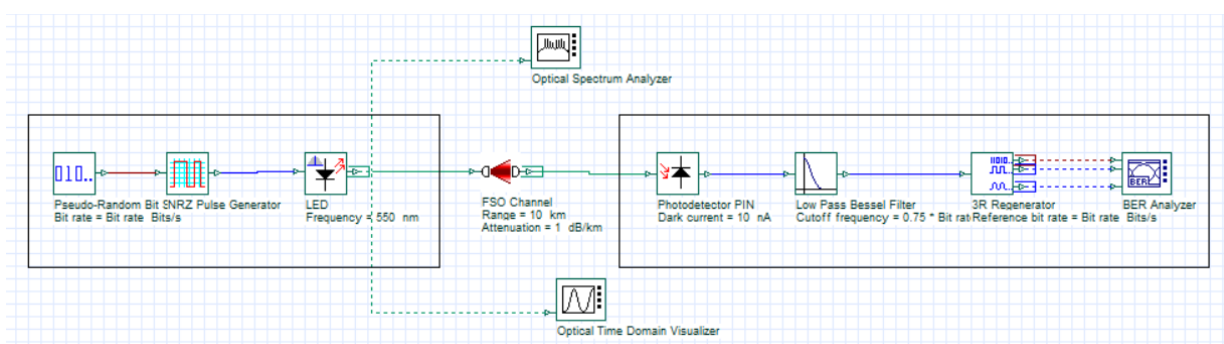
Кесте 2.1 – Li-Fi технологиялық жүйесіндегі жарық сигналдарының энергия шығынын есептеу нәтижелері

Сигналдың жоғалуын зерттеу параметрлері	Есептеу нәтижелері			
	0,9	0,7	0,5	0,3
Жұтылу коэффициентінің орташа мәні (стандартты), м^{-1}	0,9	0,7	0,5	0,3
Сигналдың жоғалуы, дБ	78,18	57,37	43,42	27

3 Оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін су астында жобалау

3.1 Су астында сымсыз акустикалық дерек таратуды OptiSystem бағдарламаласымен жобалау

OptiSystem бағдарламалық қосымшасы инженерлер мен студенттерге оптикалық байланыс торабын физикалық тұрғыда жүзеге асырмас бұрын, алдынала шығындарды, байланыс жүйесінің құрылымының дұрыс жиналуын бақылауда ұстауға арналған электронды жасақтама құралы рөлін ойнайды. Optisystem бағдарламасында байланыс жүйесін модельдеуге арналған түрлі компоненттер бар, атап айтсам, спектрлік анализатор, бит генераторы, сигнал визуализациясын қадағалауға арналған блоктар. Жобалаудың кең спектрына қарай байланыс жүйесінің виртуалды моделін іске асыра алады. Аталған себептерге байланысты мен су астындағы акустикалық хабарлар тарататын Li-Fi технологиясын OptiSystem бағдарламасында жобалауды жөн көрдім.



3.1-сурет – OptiSystem бағдарламалық қосымшасында ұсынылған байланыс жүйесінің сұлбасы

Алдындағы бөлімдегі есептеу нәтижелеріне қатысты байланыс жүйесінің сұлбасын 3.1-суретте көрсеттім. Суретте екі модуль берілген: сол жақта – таратқыш модулі тіктөртбұрышпен көрсетілсе, оң жақта – қабылдағыш бөлігі реттілікпен тіктөртбұрыш пішіміне алынған. Ортасындағы бөлік – ақпаратты таратқыштан қабылдағышқа жіберетін байланыс арнасы болып табылады. Суреттегі әр блокқа сипаттама берейін:

1) Кездейсоқ биттер тізбегі (PRBS) – жобалаудағы нақты деректерді имитациялау үшін қолданылады, бұл әртүрлі компоненттер мен деректер жүйелерінің өнімділігін тексеруге және талдауға мүмкіндік береді;

2) NRZ импульс генераторы дегеніміз – NRZ (non-Return-to-Zero) кодталған цифрлық сигналдарды жасауға арналған құрал. NRZ – сызықтық деректерді кодтаудың қарапайым формаларының бірі, мұнда «1» және «0» биттер арасындағы нөлге оралмай, екі түрлі сигнал деңгейі ретінде беріледі [15];

3) Толқын ұзындығы 550 нм болатын LED жасыл түсті көрінетін спектрде жарық шығарады. Оптикалық байланыс және Li-Fi контекстінде жарық жиілігін жарық жылдамдығы мен толқын ұзындығын пайдаланып есептеуге болады;

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (3.1)$$

мұндағы,

c – жарық жылдамдығы, $3 \cdot 10^8$ м/с;

λ – толқын ұзындығы, $550 \cdot 10^{-9}$ м.

$$f = \frac{3 \times 10^8}{550 \times 10^{-9}} = 5.45 \times 10^{14} = 545 \text{ ТГц}$$

Осылайша, толқын ұзындығы 550 нм жарық диодының жиілігі шамамен 545 ТГц-ке тең болады.

4) «Бос кеңістіктегі оптикалық арна» (Free Space Optics Channel) жарық сәулелері арқылы деректерді беру үшін су ортасы сияқты кеңістікті пайдаланатын сымсыз оптикалық байланыс арнасының моделіне жатады [16]. 10 км диапазоны туралы айтатын болсақ, бұл жүйе осы арна арқылы деректерді сенімді түрде жібере алатын максималды қашықтықты көрсетеді;

5) PIN типті фотодетектор – оптикалық сигналды электр сигналына түрлендіру үшін қолданылатын құрылғы. PIN фотодетекторы үш қабаттан тұрады: оң легирленген (p-type), инстринзик (i-type) және теріс легирленген (n-type) [3]. Бұл құрылым жоғары сезімталдық пен жылдамдықты қамтамасыз етеді, бұл PIN фотодетекторларын оптикалық байланыс жүйелерінде қолдануға өте ыңғайлы етеді;

6) «Low Pass Bessel Filter» (төменгі жиілікті Бессель сүзгісі) көрсетілген сүзгі жиілігімен сигналдың жоғары жиілікті компоненттерін алып тастау үшін қолданылатын құрал, ол тек төмен жиілікті өткізеді. Кесу жиілігі. Ал cutoff frequency дегеніміз – сүзгі сигналды әлсіретіп, оның амплитудасын төмендете бастайтын жиілік [17], [18]. Бессель сүзгілері минималды фазалық бұрмалануларымен танымал, бұл оларды сигналдың формасы маңызды жобаларда пайдалы етеді;

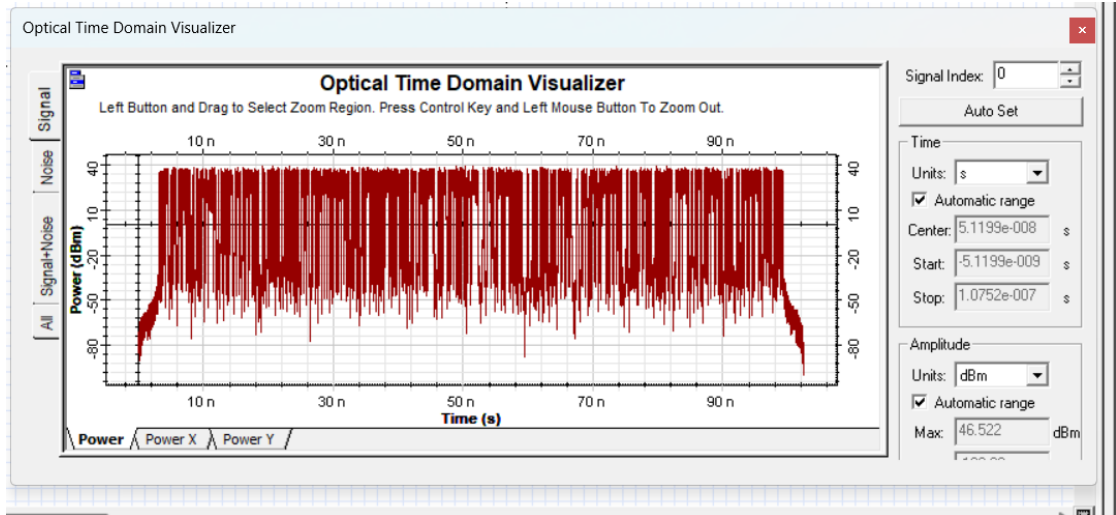
7) 3R Regenerator — оптикалық сигналды үш параметр бойынша қалпына келтіретін құрылғы: амплитудалық регенерация (Reamplification), импульстік пішінді регенерация (Reshaping) және уақытты регенерациялау (Retiming). Бұл үш функция талшықты-оптикалық желі арқылы берілу кезінде әлсіреу мен шу салдарынан пішіні мен синхрондауын жоғалтқан сигналды қалпына келтіруге мүмкіндік береді;

8) BER Analyzer (Bit Error Rate Analyzer) – байланыс жүйесіндегі биттік қатені анықтау және талдау үшін қолданылатын құрылғы. Ол жіберілген биттердің жалпы санына қатысты қате биттердің санын анықтайды, бұл деректердің сапасы мен сенімділігін бағалауға мүмкіндік береді [19];

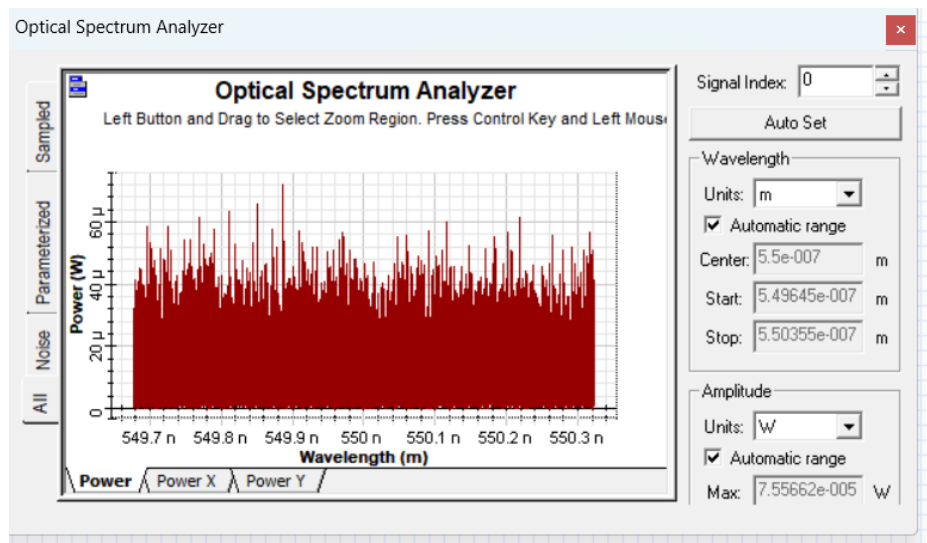
9) Optical Spectrum Analyzer – оптикалық сигнал спектрін талдауға арналған құрал. Ол толқын ұзындығы бойынша сигнал күшінің таралуын

көрсетеді, бұл спектрлік сипаттамаларды талдауға және шу мен кедергі сияқты мәселелерді анықтауға мүмкіндік береді;

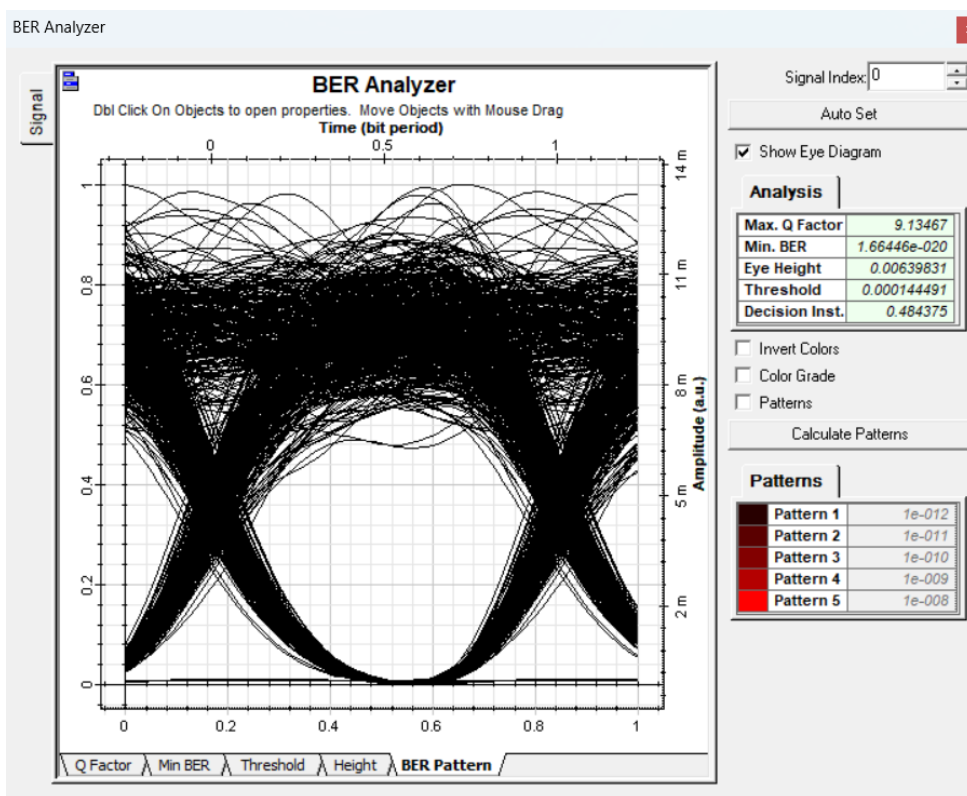
10) Optical time Domain Visualizer – уақыт аймағында оптикалық сигналды бейнелеуге арналған құрал. Бұл импульстардың пішінін байқауға және діріл мен бұрмалану сияқты сигналдың уақыт сипаттамаларын талдауға мүмкіндік береді.



3.2-сурет – Визуалайзер құрылғысындағы сигнал пішімінің көрінісі



3.3-сурет – Optical Spectrum Analyzer құрылғысындағы сигнал қуатының толқын ұзындығына қатынасы



3.4-сурет – Сандық сигналдың графикалық көрінісі

Eye Diagram (көз диаграммасы) дегеніміз – бұл байланыс жүйесіндегі сандық сигналдың графикалық көрінісі және тарату сапасын бағалау үшін қолданылатын диаграмма. Аталған диаграмма көзге ұқсайтын пішінді жасай отырып, көптеген сигнал кезеңдерінің қабаттасуын көрсетеді, сол үшін де «eye diagram» деген атау алған. Бұл әдіс діріл, шу, бұрмалану сияқты сигнал параметрлерін көзбен бағалауға мүмкіндік береді.

BER pattern генераторының мәндерін менің алдыңғы бөлімде атап өткен толқын ұзындығы мен ақпарат тарату жылдамдығы сияқты параметрлерін сәйкестендіріп жасып алу міндетті. Сол кезде ғана есептеу нәтижелерінің дұрыс не бұрыс екендігіне көз жеткізе аламыз.

Көз диаграммасының негізгі сипаттамалары:

а) Ашық көз диаграммасы – көздің кең және айқын ашық түрі сигналдың жақсы сапасын және қателіктердің төмен деңгейін көрсетеді;

ә) Көз диаграммасы сығыр болса, ол бұрмаланған шудың, бөгеттер немесе дірілдің жоғары деңгейін көрсетеді, бұл ақпарат таратуда көптеген қателіктерге әкелуі мүмкін.

Сонымен, OptiSystem бағдарламасында Eye Diagram функциясын пайдалану оптикалық байланыс жүйелерін жан-жақты талдауға және диагностикалауға мүмкіндік береді, бұл параметрлерді оңтайландыруға және деректер сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Бұл құралдар оптикалық байланыс саласында жұмыс істейтін инженерлер мен зерттеушілер үшін өте қажет.

3.2 Li-Fi байланыс желісінің өткізу қабілетін есептеу

Li-Fi технологиясын тиімді енгізу және пайдалану үшін жарық диодтарының өткізу қабілеттілігі, модуляция схемалары және қоршаған орта жағдайлары сияқты көптеген факторларды ескере отырып, желінің өткізу қабілеттілігін мұқият есептеу қажет. Бұл бөлімде жүйенің жұмысына әсер ететін негізгі параметрлерді талдауды қоса алғанда, желінің Li-Fi өткізу қабілетін есептеудің негізгі әдістері қарастырылады. Бұл аспектілерді түсіну жоғары жылдамдықты және сенімді деректерді беру қажеттіліктерін қанағаттандыруға қабілетті жоғары тиімді Li-Fi жүйелерін дамыту үшін өте маңызды.

Клод Шеннон мен Ральф Хартли ғалымдары әзірлеген Шеннон – Хартли теоремасы ақпарат және байланыс теориясының негізі екені айқын. Ол байланыс арнасының максималды өткізу қабілеттілігін оның өткізу қабілеттілігі мен шу деңгейін ескере отырып анықтайды. Бұл теорема деректерді берудің теориялық шекті жылдамдығын бағалау үшін байланыс жүйелерінің көптеген түрлеріне, соның ішінде Li-Fi-да да қолданылады [6], [7].

Шеннон-Хартли теоремасына сәйкес, аддитивті ақ Гаусс шуына ұшыраған аналогтық байланыс арнасы үшін максималды өткізу қабілеттілігі C (деректер жылдамдығының жоғарғы шегі) N сигналдың орташа қуатымен S анықталады.

$$C = B \times \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (3.2)$$

мұндағы,

C – арнаның максималды өткізу қабілеттілігі, бит/с;

B – арнаның өткізу қабілеттілігінің ені, Гц;

S – сигналдың орташа қуаты, Вт;

N – шудың орташа қуаты, Вт;

S/N – сигнал/шу қатынасы.

Сымсыз көрінетін жарық арқылы байланыс технологиясында RGB жарық диодтары қолданылады, бұл жағдайда 3 өткізу жолағын қарастыруға болады: $V_k + V_q + V_j$ – бұл түрлі-түсті модельдерде кескін қалыптастыру үшін қолданылатын түс арналарының тіркесімі [15]. Түрлі көрінетін жарық бойынша қолданылатын диапазондар мәндері 3.1-кестеде көрсетілген.

Кесте 3.1 – Көрінетін жарық бойынша белгіленген диапазондар

Көрінетін жарық атауы	Диапазон мәндері
Қызыл	400 – 480 ТГц
Қою сары	480 – 510 ТГц
Сары	510 – 530 ТГц
Жасыл	530 – 600 ТГц
Көк	600 – 620 ТГц
Көкпеңбек	620 – 680 ТГц
Күлгін	680 – 790 ТГц

Ескере кету керек бір жайт бар, ол практика жүзінде жарық диодтардың толқын ұзындығы 8 нм-ден жоғары диодтар қолданылмайтындығы. Мысалға, жарық диодты шамның бірнеше үлгі нөмірін қамтитын классификациялары бар, соларды қарастырайын [21].



3.5-сурет – Түрлі жарық диодтарының классификациясы

Берілген мәндерді ескеріп, осы бойынша әр жарық түрі үшін диод шамдарының өткізу қабілеттілігінің енін есептеп шығаруға мүмкіндігіміз бар [21]:

$$B_{\text{көк}} = \frac{\vartheta}{\lambda_{\text{кmin}}} - \frac{\vartheta}{\lambda_{\text{кmax}}} = \frac{3 \times 10^8}{460 \times 10^{-9}} - \frac{3 \times 10^8}{470 \times 10^{-9}} = 13,8 \text{ ТГц}$$

$$B_{\text{қызыл}} = \frac{\vartheta}{\lambda_{\text{қmin}}} - \frac{\vartheta}{\lambda_{\text{қmax}}} = \left(\frac{3 \times 10^8}{620 \times 10^{-9}} - \frac{3 \times 10^8}{630 \times 10^{-9}} \right) = 7,6 \text{ ТГц}$$

$$B_{\text{жасыл}} = \frac{\vartheta}{\lambda_{\text{жmin}}} - \frac{\vartheta}{\lambda_{\text{жmax}}} = \left(\frac{3 \times 10^8}{520 \times 10^{-9}} - \frac{3 \times 10^8}{530 \times 10^{-9}} \right) = 10,9 \text{ ТГц}$$

мұндағы,

ϑ – вакуумдағы жарық жылдамдығы, м/с;

$\lambda_{\text{қmin}}$ – қызыл жарық диод шамы үшін қабылданған ең кіші толқын ұзындығының мәні, нм [21];

$\lambda_{\text{қmax}}$ – қызыл жарық диод шамы үшін қабылданған ең үлкен толқын ұзындығының мәні, нм [21];

λ_{kmin} – көк жарық диод шамы үшін қабылданған ең кіші толқын ұзындығының мәні, нм [21];

λ_{kmax} – көк жарық диод шамы үшін қабылданған ең үлкен толқын ұзындығының мәні, нм [21];

$\lambda_{жmin}$ – жасыл жарық диод шамы үшін қабылданған ең кіші толқын ұзындығының мәні, нм [21];

$\lambda_{жmax}$ – жасыл жарық диод шамы үшін қабылданған ең үлкен толқын ұзындығының мәні, нм [21].

Сонымен, қорытындылай келе, өткізу қабілеттілігінің енін шығара аламыз:

$$B_k + B_{\kappa} + B_{\text{ж}} = 13,8 + 7,6 + 10,9 = 32,3 \text{ ТГц}$$

Жарық күшіне байланысты Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігін (канделада) бағалау үшін тұрақты d қашықтығы, өткізу қабілеттілігінің ені 32 ТГц және жалпы жарық 700 люкс, біз Шеннон-Хартли теоремасын (3.2) қолданамыз. Бұл есептеуді жүргізе отырып, технологияның өткізу қабілеттілігінің арақашықтыққа тәуелділігін әртүрлі жарық күші мәндерінде зерттейтін боламын. Бұл жарық күшінің әртүрлі көрсеткіштері Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігіне қалай әсер ететінін анықтайды [7].

N (шу қуаты) мәнін Шеннон-Хартли формуласына ауыстыру үшін әдетте қосымша Гаусс шуының (AWGN) күші өрнек ретінде қолданылады. N шу қуатын шу қуатының спектрлік тығыздығы N_0 және өткізу қабілеттілігінің ені B арқылы анықтауға болады:

$$N = N_0 \times B$$

мұндағы,

N_0 – шу қуатының спектрлік тығыздығы, Вт/Гц;

B – өткізу қабілеттілігінің ені, менің жағдайымда 32,3 ТГц.

Мысалы, шу қуатының спектрлік тығыздығының типтік мәнін алайын, бұл жағдайда $N_0=10^{-21}$ Вт/Гц (бұл 20°C температурасындағы шу мәніне сәйкес келеді). Содан кейін:

$$N = N_0 \times B = 32,3 \times 10^{12} \times 10^{-21} = 3,23 \times 10^{-8} \text{ Вт}$$

S (сигнал қуатын) есептеу үшін біз I жарық күші мен d қашықтығын қолданамыз:

$$S = \frac{I}{d^2} \quad (3.3)$$

Осы формуланың көмегімен 30, 60, 100, 250, 500, 1000 кд жарық күшіндегі 2 м қашықтық үшін сигнал қуаты қанша болатынын таба аламыз [21]:

$$S = \frac{I}{d^2} = \frac{30}{2^2} = 7,5 \text{ Вт}$$

$$C = 32,3 \times 10^{12} \times \log_2 \left(1 + \frac{7,5}{3,23 \times 10^{-8}} \right) = 8,9 \times 10^{14} \frac{\text{бит}}{\text{с}} = 890 \frac{\text{Тбит}}{\text{с}}$$

$$S = \frac{I}{d^2} = \frac{60}{2^2} = 15 \text{ Вт}$$

$$C = 32,3 \times 10^{12} \times \log_2 \left(1 + \frac{15}{3,23 \times 10^{-8}} \right) = 9,3 \times 10^{14} \frac{\text{бит}}{\text{с}} = 930 \frac{\text{Тбит}}{\text{с}}$$

$$S = \frac{I}{d^2} = \frac{100}{2^2} = 25 \text{ Вт}$$

$$C = 32,3 \times 10^{12} \times \log_2 \left(1 + \frac{25}{3,23 \times 10^{-8}} \right) = 9,5 \times 10^{14} \frac{\text{бит}}{\text{с}} = 950 \frac{\text{Тбит}}{\text{с}}$$

Дәл осы формуланың көмегімен жоғарыда көрсетілгендей есептеулер шығарып 30, 60, 100 кд жарық күшіндегі әртүрлі қашықтық үшін, яғни, 2-ден 30 метрге дейінгі сигнал қуаты қанша болатынын таба аламыз. Шығарылған мәндердің бәрін кестеге енгіздім.

Кесте 3.2 – Li-Fi байланыс технологиясының өткізу қабілеттілігінің әртүрлі жарық күшіндегі мәндерінің r қашықтығына тәуелділігін зерттеу

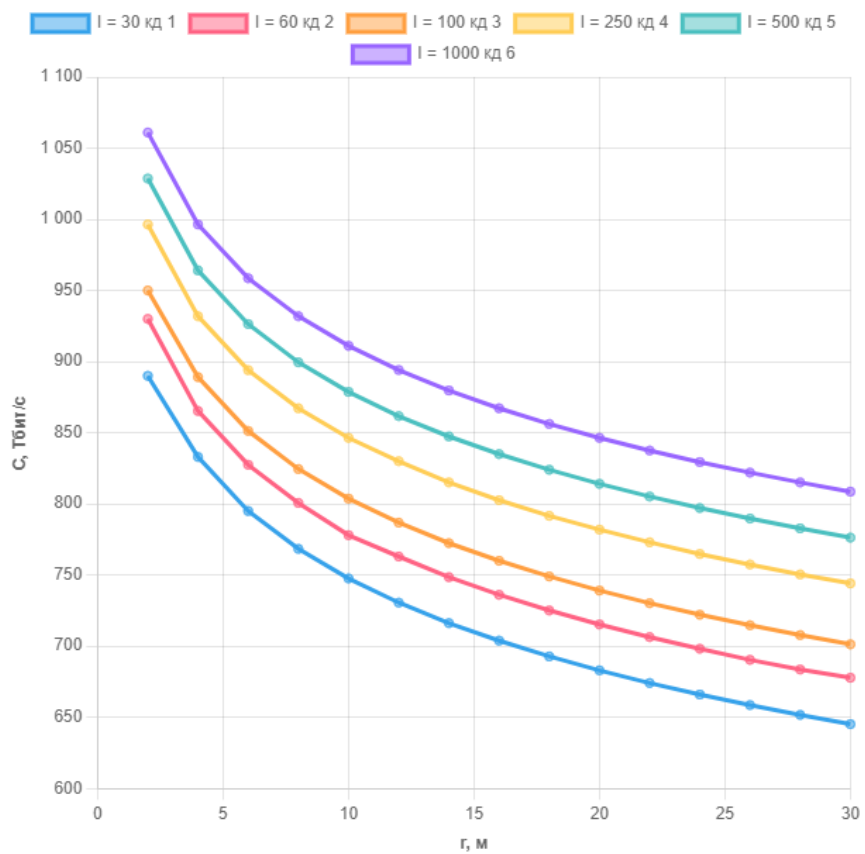
I = 30 кд		I = 60 кд		I = 100 кд	
r, м	C, Тбит/с	r, м	C, Тбит/с	r, м	C, Тбит/с
2	890	2	930	2	950
4	833	4	865,3	4	889,1
6	795	6	827,5	6	851,3
8	768,4	8	800,7	8	824,5
10	747,6	10	778	10	803,7
12	730,6	12	763	12	786,8
14	716,2	14	748,5	14	772,4
16	703,9	16	736,1	16	760
18	692,8	18	725,1	18	749
20	683	20	715,3	20	739,1
22	674,1	22	706,4	22	730,2
24	666	24	698,2	24	722,1
26	658,6	26	690,4	26	714,7
28	651,7	28	683,6	28	707,8
30	645,2	30	677,8	30	701,3

Дәл осы формуланың көмегімен жоғарыда көрсетілгендей есептеулер шығарып 250, 500, 1000 кд жарық күшіндегі 2 м қашықтық үшін сигнал қуаты қанша болатынын таба аламыз. Шығарылан мәндерді 3.2-кестеге енгіземіз.

Кесте 3.2 – Li-Fi байланыс технологиясының өткізу қабілеттілігінің 250, 500, 1000 кд жарық күшіндегі мәндерінің r қашықтығына тәуелділігін зерттеу

I = 250 кд		I = 500 кд		I = 1000 кд	
r, м	C, Тбит/с	r, м	C, Тбит/с	r, м	C, Тбит/с
2	996,4	2	1028,7	2	1061
4	931,9	4	964,1	4	996,4
6	894	6	926,4	6	958,6
8	867,2	8	899,5	8	931,9
10	846,4	10	878,7	10	911,1
12	830	12	861,7	12	894,1
14	815,1	14	847,4	14	879,7
16	802,6	16	835	16	867,2
18	791,6	18	824	18	856,2
20	781,9	20	814,1	20	846,4
22	773	22	805,2	22	837,5
24	764,8	24	797,1	24	829,4
26	757,4	26	789,7	26	822
28	750,4	28	782,8	28	815,1
30	744,1	30	776,3	30	808,6

Li-Fi технологиялық байланыс желісінің өткізу қабілеттілігінің қашықтыққа тәуелділігін есептеу бірнеше маңыздылыққа ие. Бұл зерттеу деректерді берудің жоғары жылдамдығын сақтай отырып, Li-Fi құрылғыларын қаншалықты алыс орнатуға болатындығын түсінуге мүмкіндік береді. Өткізу қабілеттілігінің қашықтыққа тәуелділігін түсіну аумақты барынша қамтуды қамтамасыз ету үшін Li-Fi кіру нүктелерін орналастыруды жоспарлауға көмектеседі. Бұл сигнал жетпейтін аймақтарды азайту және сигналдың біркелкі таралуын қамтамасыз ету үшін жарық диодтарын орнатудың оңтайлы нүктелерін анықтауды қамтиды. Өткізу қабілеттілігінің қашықтыққа тәуелділігін түсіну сигнал беру диапазоны мен сапасын арттыруға бағытталған жаңа технологиялар мен әдістерді дамытуға ықпал етеді. Бұл жарық диодтарының, фотодетекторлардың және модуляция алгоритмдерінің жаңа түрлерін дамытуды қамтиды. Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің қашықтыққа тәуелділігін есептеу оңтайландыру, жоспарлау, қызмет көрсету сапасын жақсарту және технологияны дамыту үшін өте маңызды.



3.6-сурет – Li-Fi байланыс технологиясы желісінің өткізу қабілеттілігінің C қашықтыққа тәуелділік графигі

4 Каспий теңізіне су астындағы Li-Fi акустикалық ақпарат беру жүйесін орнату

4.1 Каспий теңізінің географиялық жағдайын бағалау

Еуразия материгінің жайқалған үлкен бөліктерінің арасында созылып жатқан Каспий теңізі мұхитқа шыға алмайтын жер шарындағы ең үлкен ішкі су қоймасы Қазақстанның батыс бөлігінде орын тепті. 27 метр су деңгейіне қарамастан, оның ауданы кең – 392 600 км² құрайды. Оңтүстік Каспий ойпатының максималды тереңдігі 1025 метрді құрайды, ал орташа тереңдігі 208 метр. Каспий теңізінің солтүстігінен оңтүстік жағалауына дейінгі қашықтық ұлан-ғайыр 1030 км-ді құрайды, ал шығыстан батысқа дейінгі қашықтық – 435 км-ді алып жатыр. Каспий арқылы шектесетін мемлекеттерді де атай кеткен жөн болар, Әзірбайжан Республикасымен жағалау ұзындығы – 955 км, Ресей Федерациясымен – 695 км, Түрікменстанмен – 1200 км, Иран Ислам Республикасымен – 1000 км жерді алып жатыр, ал Қазақстан Республикасындағы жағалау ұзындығы – 2320 км-ге тең. Яғни, басқа мемлекеттерге қарағанда, Қазақстан Республикасында Каспий теңізінің үлесі ең үлкен. Қорытындылай келе, 2017 жылғы зерттеулер мен талдауларға сүйенсек жағалау сызығының жалпы ұзындығы – 5778 км-ді құрайды [22].



4.1-сурет – Каспий теңізінің бойындағы қалалар мен өзге бірліктеріндегі халық санына шолу [22]

Қазіргі күні Каспий теңізінің деңгейінің құлдырауы Батыс Қазақстанның құрғақ климатына және Жайық өзенінің теңізге құяр сағасы бойындағы ірі гидротехникалық және суару қондырғыларының құрылысына байланысты төмендейді. Каспий теңізінің флорасы мен фаунасына шолу жасасам, Каспийдің өсімдіктер әлемінде жоғары су өсімдіктерінің ерекше 7 түрі және қарапайым өсімдіктердің 700-ден астам түрі бар. Бұнда балдырлар алуан түрлілігімен қайран қалдырады, жасыл, көкшіл-жасыл, алтын түстес, қызыл және қоңыр балдырлардың түрлері көптеп кездеседі, балықтар мен жануарлардың 854 түрі есептелген, ал суда жүзетін құстардың бірнеше түрі мекендейді [22].

Каспий теңізі – маусымға байланысты әртүрлі климаттық ерекшеліктерге ие бірегей су айдыны. Жазда, шілде және тамыз айларында судың орташа температурасы $+24$ және $+26^{\circ}\text{C}$ аралығында өзгеріп, шығыс жағалауында абсолютті максимум $+44^{\circ}\text{C}$ дейін жетеді. Жылдың бұл мезгілі жылы су мен шуақты күндерден ләззат алғысы келетін шомылушылар мен демалушыларды тартады. Қыста судың температурасы теріс мәндерге дейін төмендейді, солтүстігінде -0 пен -5°C -тан оңтүстігінде -8 және -10°C -қа дейін өзгереді. Солтүстікте теңіз қарашадан наурызға дейін мұзбен жабылып, қалыңдығы 2 метрге дейін жетеді. Бұл кезеңде қысқы балық аулау әуесқойлары мен ерекше мұзды пейзаждарды көргісі келетін адамдарды тартады. Жазда судың беткі температурасы орналасқан жеріне байланысты өзгеретінін ескеру маңызды. Теңіздің оңтүстік бөлігінде ол $+29^{\circ}\text{C}$ -қа жетуі мүмкін, ал солтүстігінде қыста $-0,5^{\circ}\text{C}$ -қа дейін төмендейді, ал ортаңғы бөлігінде -3°C - -7°C -қа дейін өзгереді [22].

Осылайша, Каспий теңізі климаттық ерекшеліктер мен табиғи процестерге қызығушылық танытқандар үшін таңғажайып зерттеу нысаны болып табылады. Каспий теңізінің ерекше сипаттамалары оны ғылыми зерттеулердің флорасы мен фаунасын сақтаудың маңызды нысанына айналды.

4.2 Каспий теңізінде Li-Fi технологиясын жобалау есептері

Жалпы бағдар ретінде деректерді 1 бөлімде айтылған мөлдір теңіз суы үшін пайдалануға болады. Әдетте көрінетін спектр үшін таза теңіз суындағы жарықтың жұтылу коэффициенті $0,05 - 0,2 \text{ м}^{-1}$ диапазонында болады. Каспий теңізінің нақты жағдайлары үшін бұл коэффициент ондағы бөлшектер мен органикалық заттардың болуына байланысты жоғары болуы мүмкін. Мысалға, Каспий теңізінде бір жасушалы балдыр планктондарының ерекше түрі бар екен, егер жасуша күніне бір рет бөлініп, әр бөлінуден 10 кокколит бөлсе, онда 10 күнде 100 кокколит бөлінеді. Бұл жасушаның бөлінуі теңіз суының жарқырауының жоғары нәтижесіне әкеледі, бірақ бұл жасушаның белсенділігі тек жаз айының жайдарлы маусым айына келіп түседі, сондықтан да, жарық жұтылуының көрсеткіші есептелген деңгейден қатты өзгеріс болады деп айта алмаймын [22].

2.2-ші формулаға қайта көз жүгіртейік, Каспий теңізі үшін 0.1 м^{-1} жұтылу коэффициентінің болжамды мәнін қолданамын және жарық интенсивтілігін 1000

лм деп ескеремін. Ендігі кезекте, 20 м қашықтықта жарық қарқындылығын есептейік:

$$I = I_0 e^{-\alpha d} = 1000 e^{-0,1 \times 20} = 135 \text{ лм}$$

30 м қашықтықта жарық қарқындылығы келесідей:

$$I = I_0 e^{-\alpha d} = 1000 e^{-0,1 \times 30} = 50 \text{ лм}$$

Сонымен, есептеу нәтижелерін талдасақ, таратқыш пен қабылдағыш арасындағы қашықтықты арттырған сайын, жарық қарқындылығы деңгейінің төмендеуі байқалуда, бұл мәселені шешу үшін, бастапқы жарық қарқындылығын өсіру, фотоқабылдағыштардың сезімтал түрін қолдану сияқты нұсқаларды қолдана аламыз. Бұл мысалда фотодетектордың сезімталдығы жоғары болған жағдайда 20 м қашықтықтағы 135 лм жарық қарқындылығы жеткілікті болуы мүмкін. Егер жарық қарқындылығы қабылдағыш үшін қажетті шектен төмен болса, онда жарықтың бастапқы қарқындылығын арттыру немесе қашықтықты азайту немесе ресивердің сезімталдығын жақсарту қажет.

4.1 бөлімде Каспий теңізінің аумағы жайында жазған болатынмын, аталған ақпаратқа сай, оның ауданы – 392 600 км²-ті құрайды, орташа тереңдігі 208 метр, ал ең жоғарғы деңгей тереңдігі 1025 метрге тең. Су астындағы акустикалық дерек тарату жүйесін Li-Fi байланыс технологиясының инфрақызыл жарықты қолдану арқылы жіберер болсақ, бұл технологияны құрау үшін келесі бағалау есептерін шығару қажет. Әрине, мен таратқыш пен қабылдағыш құралдарын максималды тереңдікке орнатпаймын, олар 20-30 метр тереңдікте болса жеткілікті.

Орташа су тереңдігін ескерген кездегі, Каспий теңізінің су асты аумағының жалпы ауданын есептеу:

$$392600 \text{ км}^2 \times 30 \text{ м} = 11\,778\,000 \text{ км}^3$$

Әрбір Li-Fi құрылғысы, оның ұзақ қашықтықтағы квадратына пропорционалды аумақты қамтыған жағдайда, құрылғылардың санын су астындағы жалпы аумақты бір құрылғымен жабылған аумаққа бөлу арқылы бағалауға болады.

Мысалы, егер бір Li-Fi құрылғысының радиусы 50 метр (ауданы шамамен 7854 шаршы метрге тең) дөңгелек аймақты жабуға қабілетті деп есептесек, онда орташа тереңдіктегі аумақты жабуға арналған құрылғылар саны шамамен келесі түрде есептеледі:

$$N = \frac{11\,778\,000 \text{ км}^3}{7854 \text{ км}^2} \approx 1500 \text{ құрал}$$

Негізінен бұл өрескел бағалау және құрылғылардың нақты саны судағы жарықтың таралу факторларына және деректердің айтарлықтай тереңдікке

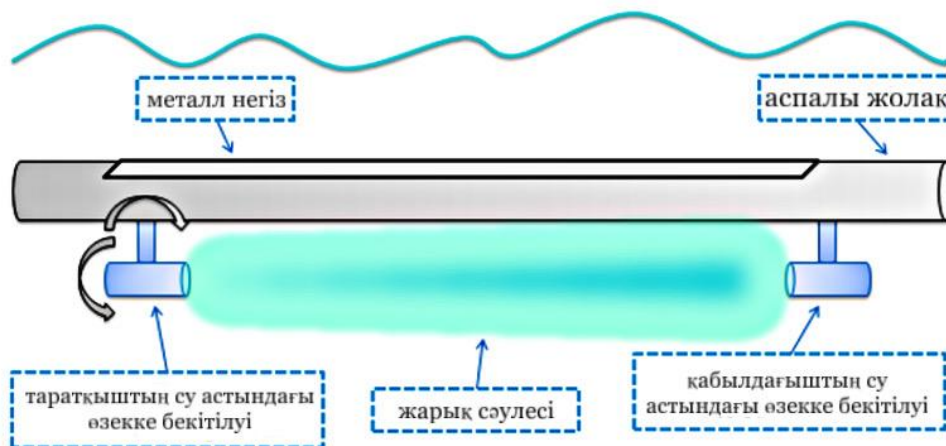
сенімді берілуін қамтамасыз ету қажеттілігіне байланысты сәл-пәл көбірек болуы мүмкін екенін айта кеткен жөн.

4.3 Жоба құрылғысын жүзеге асыру

Су астындағы Li-Fi технологиясының көмегімен дауыстық хабар тарату жүйесін құру үшін, алғашында жобадағы байланыс жүйесінің сұлбасын анықтап алған жөн, себебі, жобаны жоспарлау кезеңі келесі қадамдарда болатын қателіктерді алдын-ала болжауға, сонымен қатар, алдын-алуға мүмкіндік береді және ол келесі 4.2-суретте бейнеленген:



4.2-сурет – Li-Fi технологиясының көмегімен дауыстық хабар тарату коммуникациясының негізгі байланыс сұлбасы

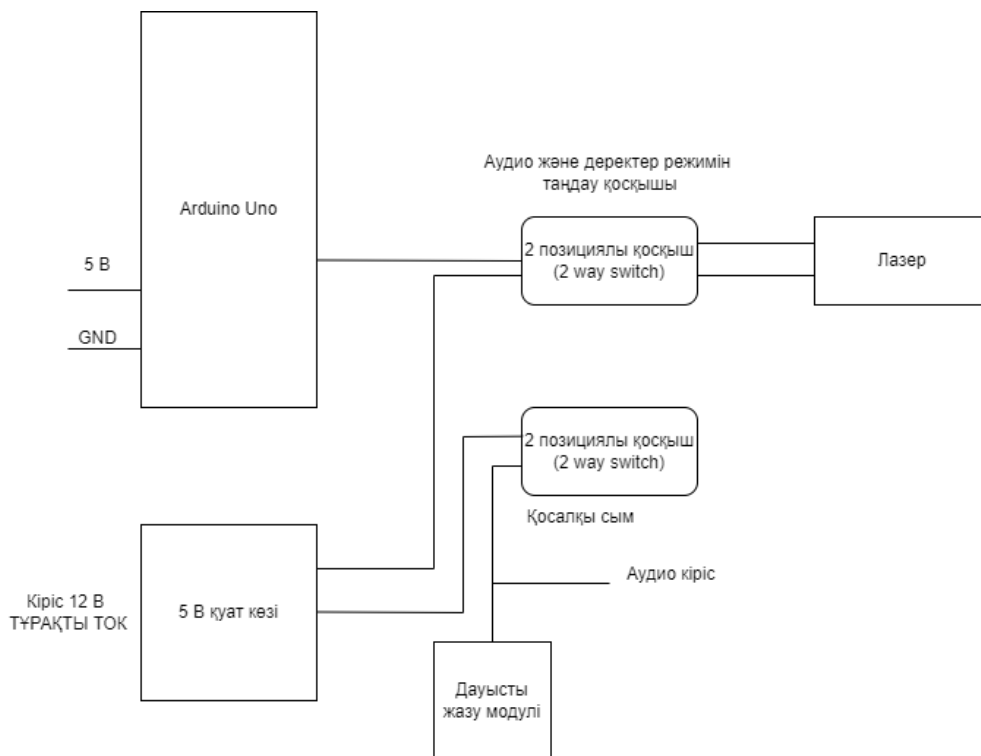


4.3-сурет – Ұсынылған жобаның бассейндегі көрінісі

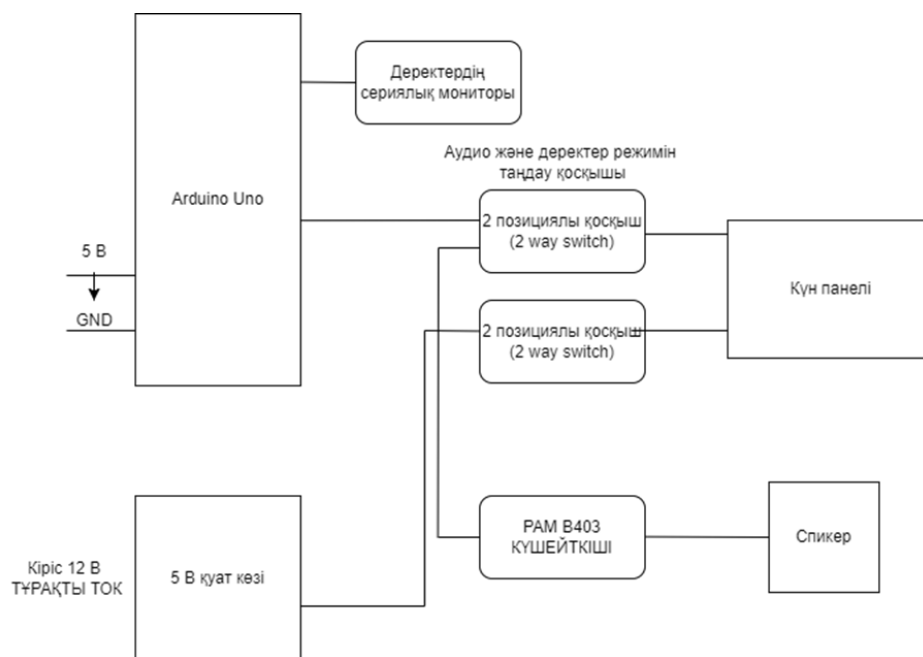
Яғни, бұл жоба мұхит суының ластануы деңгейін, Каспий теңізінің флорасы мен фаунасын сақтауға ғана емес, бассейндердегі қатерлі жағдайларды да алдын-алуға мүмкіндік береді. Бассейндегі адамдардың көп мезетінде, шу мен гүрілдің арасынан құтқарушылар көмек керек адамды дереу таба алады. Дабыл датчигі құтқарушының қолына кигізілсе, ал батып жатқан адамның берекетсіз

қолмен сермеп суда күшті толқындар және белгілі бір дауыстар шыққанын жүйе сезген кезде, дереу құтқарушыға сигнал жібереді.

Жоба, жоғарғы бөлімдерде айтылғандай 2 бөліктен тұрады, біріншісі таратқыш (4.4-сурет), екіншісі – қабылдағыш модулі 4.5-суретте блок-сұлбасы берілген.



4.4-сурет – Таратқыштың блок-сұлба түріндегі көрінісі



4.5-сурет – Қабылдағыштың блок-сұлба түріндегі көрінісі

Акустикалық ақпаратты беру үшін Li-Fi технологиясын пайдалану жобасын жүзеге асыруға арналған компоненттерінің негізгі сипаттамасына тоқтай кетсем, жоба келесі элементтерді қамтиды:

1. Arduino UNO макеттік тақтасы – барлық компоненттерді басқаратын орталық микроконтроллер. Ол микрофоннан алынған деректерді өңдейді және лазер мен күн панелінің көмегімен деректерді беру мен қабылдауды басқарады;

2. 3,5 мм аудио қосылу ұясы – телефондар немесе басқа аудио көздер сияқты сыртқы құрылғыларды қосуға арналған қосқыш. Бұл дыбыстық сигналдарды Li-Fi арқылы әрі қарай өңдеу және беру үшін жүйеге жіберуге мүмкіндік береді;

3. Микрофон 4 мм x 1,5 мм – қоршаған ортадан акустикалық сигналдарды қабылдайды. Микрофон дыбыстық толқындарды электр сигналдарына түрлендіреді, содан кейін оларды Arduino тақтасы өңдейді;

4. Динамик – акустикалық сигналдарды ойнату үшін қолданылады. Динамиктер Arduino-дан өңделген дыбыстық сигналдарды алады және оларды естілетін дыбыстық толқындарға айналдырады;

5. Аудио күшейткіші – микрофоннан электр сигналдарын динамиктерге немесе жарық диодтарына жібермес бұрын күшейтетін төмен вольтты аудио күшейткіш. Бұл сигналдың жеткілікті қуатын қамтамасыз ету үшін қажет;

6. Күн панелі – Li-Fi арқылы берілетін жарық сигналдарын қабылдау үшін қолданылады. Күн батареялары жарықты электр энергиясына айналдырудың жоғары тиімділігін қамтамасыз етеді;

7. 5 Вольттық лазер: Li-Fi жүйесіндегі деректерді берудің негізгі компоненті. Лазер адам көзіне көрінбейтін деңгейде тез жыпылықтайды, деректерді жарық сигналдары түрінде жібереді, содан кейін оларды күн панелі ұстап, өңдеу үшін электрлік сигналдарға айналдырады.

Таратқыш жағында 3,5 мм қосқыш дыбыс көзіне қосылған кезде лазер жарқырай бастайды. Дыбыс болмаған кезде жарықтың қарқындылығы өзгеріссіз қалады. Дегенмен, дыбыс ойнаған кезде жарықтың қарқындылығы өзгере бастайды. Егер дыбыс деңгейі жоғарыласа, лазерлік сәулелену қарқындылығының өзгеруі тез жүргені соншалықты, бұл адамның көзіне көрінбейді. Күн панельдері жоғары сезімталдыққа ие және жарық қарқындылығының шамалы өзгерістерін де қабылдай алады, бұл олардың шығысындағы кернеуінің өзгеруіне әкеледі. Осылайша, лазер сәулесі панельге түскенде, кернеу жарық қарқындылығына сәйкес өзгереді. Содан кейін бұл кернеу сигналды күшейтетін және оны динамик арқылы шығаратын аудио күшейткішке береді. Сигнал күн панелі арқылы лазер жанып тұрғанша беріледі. Айқын дыбыстық сигнал алу үшін лазер күн панелінен 10-20 метрден аспайтын қашықтықта орнатылуы керек. Тарату ауқымын ұлғайту үшін үлкенірек панельді және қуатты лазерді пайдалануға болады [12].

ҚОРЫТЫНДЫ

Тоқсан ауыз сөздің тобықтай түйіні, сонымен, бұл дипломдық жобада, су астындағы оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін зерттеу жұмысы жасалды. Дипломдық жұмысты орындау барысы таза су, лас су және теңіз жағалауындағы суларды қоса алғанда, су ортасының әртүрлі түрлеріндегі жарықтың шашырауын зерттеуден басталды. Бұл осы орталардың әрқайсысы үшін жарықтың орташа жұтылу коэффициенттерін анықтауға мүмкіндік берді, бұл су астындағы оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін жобалау үшін өте маңызды кезең.

Әрі қарай, ақпаратты тарату үшін радио жиілікті қолдану, болмаса акустикалық толқындар немесе Li-Fi технологиясына негізделген оптикалық байланыс сияқты әртүрлі су асты байланыс технологияларына талдау жасалды. Талдау негізінде Li-Fi су астындағы байланыс жүйесін құрудың ең тиімді нұсқасы екендігі анықталды. Деректерді беру үшін жарықты қолданатын бұл технологияның бірқатар артықшылықтары бар, соның ішінде жоғары жылдамдықты беру және ең төменгі кідіріс мөлшері, бұл су ортасында айтарлықтай шығындар мен кідірістерге ұшырайтын радиожилік пен акустикалық әдістерден артық екенін білдірді.

Каспий теңізінің географиялық және физикалық қасиеттеріне шолу зерттеудің келесі кезеңі болды. Бұл Li-Fi оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін жобалауға әсер ететін тұздылық, су температурасы және тереңдік сияқты ерекше жағдайларды қарастыруға мүмкіндік берді. Бұл параметрлерді түсіну нақты жұмыс жағдайында жүйенің тиімділігін дәл модельдеу және есептеу үшін маңызды болды.

Экономикалық орнықтылықты бағалау және ықтимал шығындардың алдын алу үшін OptiSystem бағдарламалық жасақтамасында жүйенің жобасы жүргізілді. Бұл бағдарламалық жасақтама Li-Fi технологиясын қолдана отырып, акустикалық деректерді беруді модельдеуге және жүйенің өткізу қабілеттілігін, қуат тұтынуын және тиімділігін есептеуге мүмкіндік береді. Модельдеу нәтижелері Каспий теңізіне ұсынылған жүйенің жоғары тиімділігі мен тұрақтылығын көрсетті.

Соңғы кезеңде су астындағы оптикалық-акустикалық байланыс жүйесінің макеті жасалды. Бұл макет зерттеудің теориялық және практикалық тұжырымдарын растауға, сондай-ақ жүйенің нақты жағдайдағы жұмысын көрсетуге мүмкіндік берді. Макетті тестілеу барысында Li-Fi технологиясын су астындағы байланыс үшін сәтті қолдануға болатындылығы расталды, бұл деректерді берудің жоғары жылдамдығын және сигналдың минималды жоғалуын қамтамасыз етті.

Осылайша, Li-Fi технологиясын қолдана отырып, су асты оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін зерттеу – су асты байланысын дамытудың жаңа перспективаларын ашады. Бұл технологияны Каспий теңізі жағдайында қолдану оның жоғары тиімділігі мен өміршеңдігін көрсетті, бұл су асты коммуникациясын одан әрі дамытуға және осы салада инновациялық шешімдерді енгізуге ықпал етуі мүмкін.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Kaushal, Hemani & Kaddoum, Georges. (2016). Underwater Optical Wireless Communication. IEEE Access. 4. 1518-1547. 10.1109/ACCESS.2016.2552538.
2. Qu, Zihan & Lai, Mengqin. (2024). A Review on Electromagnetic, Acoustic and New Emerging Technologies for Submarine Communication. IEEE Access. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2024.3353623.
3. Alamu, Olumide & Olwal, Thomas & Djouani, Karim. (2023). Energy Harvesting Techniques for Sustainable Underwater Wireless Communication Networks: A Review. e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy. 5. 100265. 10.1016/j.prime.2023.100265.
4. Saeed, Nasir & Çelik, Abdulkadir & Al-Naffouri, Tareq & Alouini, Mohamed-Slim. (2019). Underwater Optical Wireless Communications, Networking, and Localization: A Survey. Ad Hoc Networks. 94. 101935. 10.1016/j.adhoc.2019.101935.
5. Narmatha.M, Portia Sahayam. J, Prabavathi. M, Tharani. T, K S. Hepzibhai, 2017, Optical Data Transfer in Underwater System using Lifi, INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH & TECHNOLOGY (IJERT) ICONNECT – 2017 (Volume 5 – Issue 13).
6. Kumar, Suresh & Vats, Chanderkant. (2021). Underwater Communication: A Detailed Review. 2889.
7. Al-Zhrani, Saleha & Bedaiwi, Nada & El Ramley, Intesar & Barasheed, Abeer & Abduldaiem, Ali & Alhadeethi, Yas & Umar, Ahmad. (2021). Underwater Optical Communications: A Brief Overview and Recent Developments. Engineered Science. 16. 10.30919/es8d574.
8. Dunbabin, Matthew & Corke, Peter & Vasilescu, Iuliu & Rus, Daniela. (2009). Experiments with Cooperative Control of Underwater Robots. I. J. Robotic Res.. 28. 815-833. 10.1177/0278364908098456.
9. Muhammad, Aman & Qiao, Gang & Muzzammil, Muhammmad. (2021). Design and Analysis of Li-fi Underwater Wireless Communication System. 1100-1103. 10.1109/COA50123.2021.9519887.
10. Thorat, Sanket. (2022). Deep Water Communication Using Light Fidelity (Li-Fi). International Journal of Scientific and Research Publications. 12. 110-114. 10.29322/IJSRP.12.11.2022.p13114.
11. Sasikala S, Priyas, Shanmuga Priyar, Subha Sreep, Vijiyalakshmis. Underwater Li-Fi Communication For Monitoring Scuba Diver's Health. International Journal of Research Publication and Review. pp 966-970, May 2022.
12. Ali, A & Kumar, R & Dheenathalayan, R & Prasanth, N & Parthasaradi, V & Selvaraj, Senthilkumar & Thiyagarajan, Senthil. (2023). Audio Streaming Using Li-Fi Communication. 7. 1-7. 10.46759/IJSR.2023.7101.
13. Balakrishnan Sivakumar, Pooja G, Ranjitha S, Ruchitha S and Vedashree Chavan. IoT implementation of underwater communication using Li-Fi. Department of Telecommunication Engineering Dr. Ambedkar Institute of Technology Bangalore,

India. *Global Journal of Engineering and Technology Advances*, 2022, 12(01), 092–101. Publication history: Received on 05 June 2022; revised on 17 July 2022; accepted on 19 July 2022.

14. Ruba M, Sanjai S, Santhosh A, Srinithya M, Sowmiya D. An Efficient Wireless Data Transfer Model For Underwater Communication Using Li-Fi Technology. Department of ECE Velalar College of Engineering and Technology Erode, India. *International Journal of New Innovations in Engineering and Technology*. April 2023. ISSN: 2319-6319.

15. Oubei, Hassan & Shen, Chao & Kammoun, Abla & Zedini, Emna & Park, Ki-hong & Sun, Xiaobin & Liu, Guangyu & Kang, Chun Hong & Ng, Tien Khee & Alouini, Mohamed-Slim & Ooi, Boon. (2018). Light based underwater wireless communications. *Japanese Journal of Applied Physics*. 57. 08PA06. 10.7567/JJAP.57.08PA06.

16. Codd-Downey, Robert & Jenkin, Michael. (2018). Wireless Teleoperation of an Underwater Robot using Li-Fi. 859-864. 10.1109/ICInfA.2018.8812544.

17. Ali, Mohammad & Jayakody, Dush Nalin & Perera, Tharindu & Sharma, Abhishek & Srinivasan, Kathiravan & Krikidis, Ioannis. (2019). Underwater Communications: Recent Advances.

18. Deng, Yuanpeng & Liu, Qingwen & He, Zuyuan. (2021). Distributed Fiber-Optic Acoustic Sensor for Sparse-Wideband Vibration Sensing With Time Delay Sampling. *IEEE Sensors Journal*. PP. 1-1. 10.1109/JSEN.2021.3068380.

19. Ali, Mohammad & Jayakody, Dush Nalin. (2023). SIMO-underwater visible light communication (UVLC) system. *Computer Networks*. 232. 109750. 10.1016/j.comnet.2023.109750.

20. Chen, Yanhu & Zhang, Luning & Ling, Yucheng. (2022). New approach for designing an underwater free-space optical communication system. *Frontiers in Marine Science*. 9. 971559. 10.3389/fmars.2022.971559.

21. Аркинов Мурадиль Аркинович. Проектирование модели сети беспроводной связи Li-Fi. Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева. Алматы, 2022.

22. Каспийское море состояние окружающей среды. Временный Секретариат Рамочной конвенции по защите морской среды Каспийского моря (Тегеранской конвенции). Редактор Анатолий Крутов Картография: Манана Куртубадзе. ISBN: 978-82-7701-196-7.

СЫН – ПІКІР

Уразғалиева Айжан Аманқосовна

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Тақырыбы: «Су астындағы оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін зерттеу»

- а) графикалық бөлім 44 парақ;
б) түсіндірме жазбасы 6 бет.

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ ЖАСАУ

Дипломдық жобада Уразғалиева Айжан Аманқосовна су астындағы оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін құруды қарастырған. Автор су асты байланысының әртүрлі аспектілеріне кең талдау жасаған, соның ішінде оптикалық-акустикалық жүйелер мен су астындағы сымсыз байланыстың физикалық негіздеріне шолу жасаған. Су астында ақпарат таратудың әртүрлі әдістерінің артықшылықтары мен шектеулеріне сараптама жасалған. Су астындағы оптикалық сәуленің таралуын зерттеу нәтижесінде, су астындағы байланыс мәселелерін шешуді оңтайландыру үшін гибриді Li-Fi жүйесін пайдалану ұсынылған.

Автор Optisystem бағдарламалық жасақтамасын қолдана отырып, оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін сәтті жобалады, бұл Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігін егжей-тегжейлі талдауға мүмкіндік берді. Оған қоса, Каспий теңізінің географиялық ерекшеліктерін ескере отырып, гибриді оптикалық-акустикалық су асты жүйесін орнату үшін есептеулер жүргізілген. Жұмыс автордың заманауи технологиялар мен жобалау әдістерін тиімді қолдана білуін, сондай-ақ күрделі инженерлік мәселелерді шеше білуін көрсетті. Жалпы, бұл жұмыс су астындағы оптикалық-акустикалық байланыс жүйелерін одан әрі дамытуға үлкен қызығушылық тудырды.

Бұл дипломдық жоба жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғары дәрежеде жазылған, алынған нәтижелер – су астындағы хабар тарату мақсатында құрылатын оптикалық-акустикалық байланыс технологиялардағы ғылыми бағытқа жауап береді.

Жұмыс бағасы

Жалпы, дипломдық жұмыс «98/А/өте жақсы» деген бағаға, ал Уразғалиева Айжан Аманқосовна 6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы бойынша «ақпараттық коммуникациялық технологиялар бакалавры» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Сын – пікір беруші

Халықаралық IT университеті

т.ғ.к., қауымдастырылған профессоры

 Илипбаева Л.Б.

(қолы)

« 30 » 04 2024 ж.



ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

Уразғалиева Айжан Аманқосовна

6В06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Тақырыбы: «Су астындағы оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін зерттеу»

Бұл дипломдық жұмыста су астындағы оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін құру қарастырылды.

Аталған жұмыстың бірінші бөлімінде су астындағы оптикалық-акустикалық байланыс жүйесіне және су астындағы сымсыз байланыстың физикалық аспектілеріне шолу, сондай-ақ әртүрлі су асты технологияларына салыстырмалы шолуды қамтитын жан-жақты және егжей-тегжейлі талдау жасалған.

Дипломдық жұмыстың екінші бөлімінде оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін су астында жобалау үшін гибриді Li-Fi технологиясын пайдаланудың қажеттілігін көрсетті. Жұмыста Li-Fi технологиясының тарихы, негізгі дағдылары мен архитектурасы, сондай-ақ Li-Fi жүйесіндегі жарық сигналдарының қуат тұтынуын есептеу әдісі қарастырылған. Сонымен қатар, Li-Fi байланыс желісінің өткізу қабілеттілігін талдау мақсатында OptiSystem бағдарламалық жасақтамасында жүйенің су астындағы дизайнын жобалау жұмысы атқарылған.

Үшінші бөлім Каспий теңізінің географиялық ерекшеліктерін ескере отырып, гибриді оптикалық-акустикалық су асты жүйесін орнату үшін есептеулер мен макет құруға арналған, бұл зерттеудің практикалық құндылығын көрсетеді. Жұмыс жүргізілген зерттеулердің жоғары сапасымен, жобалау және модельдеу әдістерін сауатты қолданумен, сондай-ақ су асты байланысы және Li-Fi технологиясын қолдану саласында жаңа перспективалар ашатын практикалық құрылғыны іске асырумен ерекшеленеді.

Студент Уразғалиева Айжан Аманқосовна дипломдық жұмысты жазу барысында жетекші нұсқаулығымен өз бетінше жұмыс істеу қабілетін көрсетті. Дипломдық жұмыс «95/А/өте жақсы» деп бағаланады, ал студент Айжан Аманқосовнаны 6В06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы бойынша «ақпараттық коммуникациялық технологиялар бакалавры» академиялық дәрежесіне ұсынамын.

Ғылыми жетекші

ЭТЖТ каф. аға оқытушысы, PhD,

Д.Ж. Утебаева

«30» 05 2024 ж.



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

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

Автор: Уразғалиева Айжан Аманқосовна

Тақырыбы: Су астындағы оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін зерттеу

Жетекшісі: Дана Утебаева

1-ұқсастық коэффициенті (30): 2.9

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0.8

Дәйексөз (35): 0.4

Әріптерді ауыстыру: 3

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 2

Ақ белгілер: 0

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

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

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

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

Негіздеме:

30.05.2024

Күні

Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Уразгалиева Айжан Аманкосовна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Су астындағы оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін зерттеу

Научный руководитель: Дана Утебаева

Коэффициент Подобия 1: 2.9

Коэффициент Подобия 2: 0.8

Микропробелы: 2

Знаки из здругих алфавитов: 3

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

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

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

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

Обоснование:

30.05.2024

Дата

Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Уразгалиева Айжан Аманкосовна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Су астындағы оптикалық-акустикалық байланыс жүйесін зерттеу

Научный руководитель: Дана Утебаева

Коэффициент Подобия 1: 2.9

Коэффициент Подобия 2: 0.8

Микропробелы: 2

Знаки из других алфавитов: 3

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

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

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

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

Обоснование:

30.05.2024
Дата


проверяющий эксперт