

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

Бағдоллаұлы Есен

«Жоғары жиілікті озонаторды сенсорлық желі көмегімен тиімділігін зерттеу»

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

«7М06201 – Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

"Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті"
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

ӘОЖ 528.5-529

Қолжазба құқығында

Бағдоллаұлы Есен

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін
МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Диссертацияның атауы

Жоғары жиілікті озонаторды сенсорлық желі көмегімен
тиімділігін зерттеу

Дайындау бағыты

7M06201– Телекоммуникация

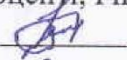
Ғылыми жетекші
ЭТЖҒТ кафедрасының
қауым. профессор, т.ғ.к.

 Абдыкадыров А.А.

«9» 01 2025ж.

Рецензент

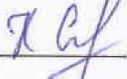
Г.Дәукеев атындағы Алматы энергетика
және байланыс университетінің
доценти, PhD, т.ғ.к.

 Ермекбаев М. М.

«6» 01 2025ж.

Норма бақылаушы

ЭТЖҒТ каф. оқытушысы, т.ғ.м.

 Кенгесбаева С.С.

«9» 01 2025ж.



ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

ЭТЖҒТ каф. меңгерушісі
т.ғ.к., қауым. профессор
Е. Таштай

«15» 01 2025ж.

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

"Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті"
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

7M06201 – Телекоммуникация



**Магистірлік диссертация орындауға арналған
ТАПСЫРМА**

Магистрант Бағдоллаұлы Есен

Тақырыбы *«Жоғары жиілікті озонаторды сенсорлық желі көмегімен тиімділігін зерттеу»*

Университет ректорының «4» сәуір 2023 ж. № 145 -П/Ө бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған диссертацияны тапсыру мерзімі «25» желтоқсан 2024 ж.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты: Сенсорлық желіні пайдалана отырып, жоғары жиілікті озонатордың тиімділігін зерттеу.

Магистрлік диссертацияда әзірленуге жататын сұрақтардың тізімі немесе магистрлік диссертацияның қысқаша мазмұны:

1. *Жоғары жиілікті озонаторды сенсорлық желілер мен GSM модульдерін қолдана отырып, қашықтан басқару және автоматты бақылау жүйесін құру.*

2. *Қашықтан басқару жүйесінің негізгі компоненттерін таңдау және олардың өзара әрекеттесуін қамтамасыз ету.*

3. *Температураны нақты уақыт режимінде бақылау және деректерді GSM модулі арқылы жіберу үшін бағдарламалық жасақтаманы әзірлеу.*

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер:

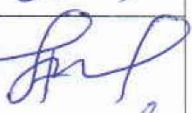
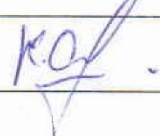
1. Abdykadyrov A. et al. Investigation of the Efficiency of the Ozonator in the Process of Water Purification Based on the Corona Discharge //Journal of Ecological Engineering. – 2023. – Т. 24. – №. 2. <https://doi.org/10.12911/22998993/156610>

2. Pusede S. E., Steiner A. L., Cohen R. C. Temperature and recent trends in the chemistry of continental surface ozone //Chemical reviews. – 2015. – Т. 115. – №. 10. – С. 3898-3918. <https://doi.org/10.1021/cr5006815>

Магистірлік диссертацияны дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Жоғары жиілікті озонаторларды сенсорлық желілермен басқару саласындағы қазіргі зерттеулерге шолу (әдебиеттерге шолу)	23.01.2023-26.04.2023	орындалды
Жоғары жиілікті озонаторды сенсорлық желімен басқарудың теориялық негіздері	04.09.2023-19.04.2024	орындалды
Озонаторды GSM модулі арқылы қашықтан басқару жүйесін құру және талдау	22.04.2024-20.12.2024	орындалды

Аяқталған магистрлік диссертация үшін, оған қатысты бөлімдердегі
диссертациялар кеңесшілері мен норма бақылаушысының қойған
қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диссертация жұмысының тақырыбын талдау	Абдыкадыров А.А., ЭТжҒТ каф. қауымдастырылған профессоры, т.ғ.к.	10.10.2024 ^ж	
Теориялық ақпарат және тәжірибелік бөлім	Абдыкадыров А.А., ЭТжҒТ каф. қауымдастырылған профессоры, т.ғ.к.	10.01.2025 ^ж	
Норма бақылау	Кенгесбаева С.С., ЭТжҒТ каф. оқытушысы, т.ғ.м.	09.01.2025 ^ж	

Ғылыми жетекшісі



Абдыкадыров А.А.

Білім алушы тапсырманы орындауға алды



Бағдоллаұлы Е.

Күні

«25» 12 2024 ж.

АНДАТПА

Бұл жұмыста жоғары жиілікті озонаторларды сенсорлық желілер арқылы қашықтан басқару жүйесінің теориялық және тәжірибелік негіздері зерттелді. Жұмыс барысында озонаторларды басқару технологияларының даму тарихы, олардың артықшылықтары мен тиімділігін арттыру жолдары талданды. Сенсорлық желілердің озонаторларды басқарудағы рөлі, олардың модельдеу тәсілдері және температураның озонатор жұмысына әсері теориялық тұрғыдан қарастырылды. Зерттеудің тәжірибелік бөлігінде Arduino Uno, SIM900 GSM модулі, DHT11 температура сенсору және реле модульдері қолданылып, олардың өзара байланысы мен жұмыс алгоритмдері зерттелді. SMS арқылы озонаторды басқару, температуралық деректерді алу және оларды жеткізу процестерінің дәлдігі мен жылдамдығы анықталды. Жұмыс нәтижелері жоғары жиілікті озонаторлар мен сенсорлық желілерді біріктіру арқылы қашықтан басқару жүйелерінің тиімділігі айқындалды. Бұл зерттеу сенсорлық желілерді қолданудың заманауи тәсілдерін кеңейтуге және озонаторды басқарудың инновациялық шешімдерін ұсынуға бағытталған.

АННОТАЦИЯ

В данной работе исследованы теоретические и практические основы системы дистанционного управления высокочастотными озонаторами с использованием сенсорных сетей. В ходе работы проанализирована история развития технологий управления озонаторами, их преимущества и пути повышения эффективности. Теоретически рассмотрена роль сенсорных сетей в управлении озонаторами, методы их моделирования, а также влияние температуры на работу озонаторов. В практической части исследования использовались Arduino Uno, GSM-модуль SIM900, температурный датчик DHT11 и релейные модули, их взаимосвязь и алгоритмы работы были детально изучены. Были определены точность и скорость процессов управления озонатором через SMS, получения температурных данных и их передачи. Результаты работы показали эффективность объединения высокочастотных озонаторов и сенсорных сетей в системах дистанционного управления. Данное исследование направлено на расширение современных методов применения сенсорных сетей и предложение инновационных решений в управлении озонаторами.

ANNOTATION

This study explores the theoretical and practical foundations of a remote control system for high-frequency ozonators using sensor networks. The development history of ozonator control technologies, their advantages, and methods to enhance their efficiency were analyzed. Theoretical aspects such as the role of sensor networks in ozonator control, modeling methods, and the impact of temperature on ozonator performance were examined. In the practical part of the study, Arduino Uno, the SIM900 GSM module, the DHT11 temperature sensor, and relay modules were utilized, and their interconnection and operational algorithms were analyzed. The accuracy and speed of processes such as controlling the ozonator via SMS, receiving temperature data, and transmitting it were determined. The study's results demonstrated the effectiveness of integrating high-frequency ozonators with sensor networks in remote control systems. This research aims to expand modern approaches to using sensor networks and to propose innovative solutions for ozonator control.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	6
1 Жоғары жиілікті озонаторларды сенсорлық желілермен басқару саласындағы қазіргі зерттеулерге шолу	8
1.1 Озонаторларды басқару технологияларының даму тарихы және олардың артықшылықтары	8
1.2 Жоғары жиілікті озонаторлар тиімділігін арттыру бойынша соңғы зерттеулер	15
1.3 Сенсорлық желілердің озонаторларды басқаруда қолданылуындағы мәселелер мен перспективалар	19
1.4 Жоғары жиілікті озонаторларды сенсорлық желілермен басқару саласындағы негізгі проблемалар	25
2 Жоғары жиілікті озонаторды сенсорлық желімен басқарудың теориялық негіздері	28
2.1 Жоғары жиілікті озонаторлардың жұмыс принциптері және тиімділік параметрлері	28
2.2 Сенсорлық желілердің озонаторды басқару жүйесіндегі рөлі және олардың модельдеу тәсілдері	34
2.3 Температураның озонатордың жұмыс көрсеткіштеріне әсерінің теориялық зерттелуі	38
2.4 Қашықтан басқару жүйелерінің (GSM) жұмыс алгоритмдері және математикалық негіздері	42
3 Озонаторды GSM модулі арқылы қашықтан басқару жүйесін құру және талдау	50
3.1 Құрылғы элементтерінің электрлік схемасы және талдауы	50
3.2 Жүйенің жалпы құрылымдық және жұмыс жүйесінің схемасын талдау	58
3.3 Жүйенің функционалдық сынағы және оң нәтижелерді талдау	65
Қорытынды	69
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	70

КІРІСПЕ

Озонаторларды сенсорлық желілер арқылы басқару жүйелерін зерттеу қазіргі заманғы технологиялар мен автоматтандыру саласының маңызды бағыттарының бірі болып табылады. Жоғары жиілікті озонаторлар суды тазарту, ауа сапасын жақсарту және дезинфекциялау салаларында кеңінен қолданылады. Алайда, олардың тиімділігін арттыру және тұрақты жұмысын қамтамасыз ету үшін қашықтан басқару мен бақылау мүмкіндіктерін жетілдіру қажеттілігі туындайды. Сенсорлық желілер мен GSM технологияларын қолдану бұл мәселені шешудің перспективалы әдістерінің бірі болып табылады. Бұл зерттеу озонаторларды сенсорлық желілер арқылы басқарудың қазіргі тәсілдерін қарастырып, олардың даму мүмкіндіктері мен артықшылықтарын талдауға бағытталған. Жоғары жиілікті озонаторлардың жұмысын тұрақтандыру және автоматтандыру заманауи технологиялардың үйлесімді қолданылуы арқылы жүзеге асырылады, бұл олардың тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Бұл жұмыстың басты мақсаты — жоғары жиілікті озонаторларды сенсорлық желілер арқылы басқарудың теориялық және тәжірибелік негіздерін зерттеу. Жүйенің функционалдық мүмкіндіктері мен тұрақтылығын арттыру үшін Arduino Uno, SIM900 GSM модулі, DHT11 температура сенсору және реле модульдері сияқты құрылғылар пайдаланылды. Пайдаланушыға озонаторды SMS арқылы қашықтан басқару, температураны бақылау және деректерді алу мүмкіндіктерін ұсыну зерттеудің негізгі міндеттері ретінде анықталды. Сонымен қатар, температураның озонатор жұмысына әсерін зерттеп, желдеткіштің автоматты басқару алгоритмдерін құру мәселелері талданды. Бұл зерттеу нәтижелері сенсорлық желілерді тиімді қолданудың жаңа тәсілдерін айқындап, озонаторларды басқарудағы маңызды мәселелерді шешуге бағытталған.

Бұл зерттеудің маңыздылығы жоғары жиілікті озонаторлардың жұмыс тиімділігін арттыру арқылы экологиялық және технологиялық мәселелерді шешуге бағытталған. Сенсорлық желілердің көмегімен озонаторларды басқару нақты уақыттағы деректерге негізделген дәл бақылауды қамтамасыз етіп, энергия шығындарын азайтады. Бұл тәсіл су тазарту, ауаны зарарсыздандыру және өндірістік процестердегі озонаторларды қолдану тиімділігін арттырады. Осындай зерттеулер экологиялық қауіптерді азайту және ресурстарды тиімді пайдалану тұрғысынан аса маңызды.

Зерттеу барысында жоғары жиілікті озонаторларды сенсорлық желілер арқылы басқару жүйелерінің негізгі элементтері мен олардың өзара әрекеттесу принциптері талданды. Әдебиеттерге шолу арқылы озонаторларды басқару технологияларының даму тарихы мен олардың артықшылықтары қарастырылды. Сонымен қатар, жоғары жиілікті озонаторлардың тиімділігін арттыру жолдары мен сенсорлық желілерді қолданудағы мәселелер мен перспективалар зерттелді. Бұл жүйенің теориялық негіздері озонаторлардың жұмыс принциптері мен сенсорлық желілердің олардың тиімділігін

арттырудағы рөлін талдау арқылы құрылды. Қашықтан басқару жүйесінің алгоритмдері мен математикалық негіздері анықталып, оларды тәжірибелік түрде іске асыру тәсілдері қарастырылды.

Зерттеудің жаңалығы жоғары жиілікті озонаторларды сенсорлық желімен интеграциялау бойынша нақты шешімдерді ұсынады, бұл технология саласындағы тың бағыт болып табылады. Қашықтан басқару мүмкіндіктері, нақты уақыттағы параметрлерді бақылау және жүйені автоматтандыру арқылы озонаторлардың жұмысын оңтайландырудың жаңа тәсілдері қарастырылады. Сонымен қатар, диссертацияда ұсынылған теориялық және эксперименттік нәтижелер болашақ технологиялық әзірлемелер үшін негіз бола алады.

Жалпы алғанда, бұл зерттеу жұмысы жоғары жиілікті озонаторларды сенсорлық желілер арқылы басқарудың мүмкіндіктерін кеңейтуге бағытталған. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, заманауи технологияларды қолдану озонаторлардың тиімділігін арттырып қана қоймай, олардың сенімділігін де қамтамасыз етеді. Жүйенің функционалдығы SMS арқылы озонаторды қосу, өшіру және температуралық деректерді алу мүмкіндіктерін қамтиды. Бұл қашықтан басқару тәсілдері пайдаланушыға құрылғының жұмыс күйін нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, зерттеуде озонаторларды сенсорлық желілер арқылы басқару саласындағы негізгі мәселелер мен оларды шешу жолдары қарастырылып, олардың практикалық қолданылуы анықталды. Бұл жұмыс озонаторларды басқарудың жаңа деңгейін қамтамасыз ететін перспективалық шешімдерді ұсына отырып, сенсорлық желілерді қолданудың инновациялық бағыттарын көрсетеді.

1 Жоғары жиілікті озонаторларды сенсорлық желілермен басқару саласындағы қазіргі зерттеулерге шолу

1.1 Озонаторларды басқару технологияларының даму тарихы және олардың артықшылықтары

Озонаторлар – озон газын өндіруге арналған арнайы құрылғылар. Олардың пайда болуы ғылымдағы маңызды жаңалықтардың бірі болып саналады. Озон алғаш рет 1785 жылы Мартинус Ван Марумның электр разряды тәжірибесі кезінде анықталды. Ол электр разрядынан кейін ерекше иіс шығатынын байқаған. Бұл құбылысты кейінірек 1840 жылы Христиан Фридрих Шёнбейн зерттеп, «озон» деген атау берген. Шёнбейн озонның ауадағы оттегі молекулаларының өзгерген формасы екенін анықтады және оның ерекше химиялық қасиеттерін зерттеді [1].

1.1-кесте – Озонның техникалық сипаттамалары

Параметрлері	Көрсеткіштер	Сипаттамалар
Молекулалық формула	O ₃	Озон молекулалары үш оттегі атомынан тұрады
Молекулалық масса	48 г/моль	Озонның молекулалық массасы
Тұрақтылығы	20-25°C температурада тұрақты	Озон температура мен қысымға сезімтал
Температурадағы ыдырау	300-400 К (27-127°C)	Температура жоғарылаған сайын озонның тұрақтылығы төмендейді
Қысымдағы ыдырау	0.1 - 1.0 atm	Жоғары қысымда озонның тұрақтылығы азаяды
Концентрация	0 - 1000 ppm	Озон концентрациясының өлшеу диапазоны
Энергия көзі	Электр энергиясы (озонатор арқылы)	Озонды өндіргенде қолданылатын энергия көзі
Оптикалық қасиеттері	254 нм толқын ұзындығы бойынша жұту	Озон 254 нм диапазонында ультрафиолет сәулелерін жұтады
Қауіптілік деңгейі	0.1 - 0.5 ppm (ұзақ уақыт әсері)	Озонның адам ағзасына қауіпті концентрациясы
Тұтқырлық	$1.45 \times 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ (25°C)	Озонның молекулалық тұтқырлығы

Кестедегі озонның техникалық сипаттамалары бойынша бірнеше маңызды көрсеткіштерді талдайық. Озонның молекулалық формуласы O₃

болып табылады, бұл оның үш оттегі атомынан тұратынын көрсетеді. Молекулалық массасы 48 г/моль және бұл мән озонның химиялық құрамын сипаттайды. Озонның тұрақтылығы 20-25°C температурада жоғары, бірақ температураның көтерілуі оның ыдырауына себеп болады, яғни 300-400 K (27-127°C) аралығында ыдырайды. Озон концентрациясы 0-1000 ppm аралығында өлшенеді, бұл озонды әртүрлі жағдайларда бақылауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, озон 254 нм толқын ұзындығында ультрафиолет сәулелерін жұтып, оптикалық қасиеттеріне әсер етеді, бұл оның қауіпсіздік деңгейін бақылауда маңызды рөл атқарады [24].

Алғашқы озонаторлардың пайда болуы электр разряды арқылы озон өндіру технологиясына негізделді. 1857 жылы Вернер фон Сименс электр разрядтық аппарат жасап, озонды тұрақты өндіру мүмкіндігін ашты. Бұл құрылғы озонаторлардың алғашқы прототипі ретінде тарихта қалды. XX ғасырдың басында озонның дезинфекциялау қасиеттері медициналық және өндірістік салаларда зерттеле бастады. Озонның суды тазалау, ауаны зарарсыздандыру және микробтарды жою қабілеті анықталып, оның қолданылу аясы кеңейе түсті. 1906 жылы Францияның Ницца қаласында әлемдегі алғашқы озонды суды тазалау станциясы ашылды, бұл озонаторларды тәжірибеде қолданудың бастауы болды. [2]

Алғашқы озонаторлар қолмен басқарылды және олардың тиімділігі салыстырмалы түрде төмен болды. XX ғасырдың ортасына қарай олардың техникалық параметрлері жетілдіріле бастады. Электродтардың сапасы, диэлектриктердің төзімділігі және құрылғылардың сенімділігі артты. Жоғары жиілікті озонаторлар XX ғасырдың екінші жартысында кеңінен таралды. Жоғары жиілікті ток қолдану озон өндірісінің жылдамдығын арттырып, құрылғылардың тиімділігін едәуір жақсартты. Мұндай озонаторлар су тазалау станцияларында, өнеркәсіп орындарында және экологиялық жобаларда кеңінен қолданыла бастады [3].

1970-1980 жылдары озонаторлардың автоматтандырылған басқару жүйелері дами бастады. Бұл жүйелер құрылғылардың жұмыс тиімділігін арттырып, процестерді автоматтандыруға мүмкіндік берді. XX ғасырдың соңына қарай экологиялық мәселелер озонаторларды кеңінен қолданудың негізгі себептерінің біріне айналды. Озон экологиялық таза дезинфекциялау құралы ретінде танылып, өнеркәсіп пен тұрмыстық салада белсенді түрде енгізіле бастады. Электрондық басқару жүйелерінің дамуы озонаторларды интеллектуалды құрылғыларға айналдырды. Сенсорлық технологияларды қолдану озон өндірісін нақтырақ бақылауға және процестердің сенімділігін арттыруға мүмкіндік берді [4].

XXI ғасырдың басында озонаторлардың жаңа түрлері пайда болды. Медициналық озонаторлар терапевтік мақсатта озон өндіруге бағытталса, тұрмыстық озонаторлар үйдегі ауаны тазалау және иіссіздендіру үшін қолданылды. Өнеркәсіптік озонаторлар өндірістік процестерде газдарды өңдеу және зарарсыздандыруда пайдаланылып, жоғары өнімділік көрсетті. 2000 жылдары озонаторларға заттар интернеті (IoT) технологиялары енгізілді,

бұл олардың қашықтан басқару мүмкіндіктерін арттырды. IoT технологиялары өнеркәсіптік процестерді толықтай автоматтандыруға мүмкіндік беріп, өндірістік тиімділікті едәуір жоғарылатты.

Жаңа материалдардың, нанотехнологиялардың және инновациялық шешімдердің пайда болуы озонаторлардың жұмыс сапасын арттыруға ықпал етті. Электродтардың заманауи түрлері мен жаңа дизайндар озон өндірісін тиімді етіп, энергия шығынын азайтуға көмектесті. Заманауи озонаторлар тек су тазалау саласында ғана емес, сонымен қатар ауыл шаруашылығында, тамақ өнеркәсібінде, фармацевтикада және экологияда да қолданылады [5]. Қазіргі заманғы озонаторлардың жұмысы тұрақты, сенімді және ұзақ мерзімді болып табылады. Сенсорлық желілерді пайдалану олардың нақты уақыт режимінде жұмысын бақылауға және басқаруға мүмкіндік береді.

Озонаторлар экологиялық таза әрі тиімді құрылғылар ретінде танылып, олардың қолданылу ауқымы жыл сайын кеңейіп келеді. Оларды пайдалану арқылы өндірістік шығындарды азайтуға, процестерді оңтайландыруға және қоршаған ортаға зиянды әсерді төмендетуге болады. Заманауи озонаторлар жоғары технологиялық материалдардан жасалып, ұзақ мерзімді қызмет етеді. Құрылғылардың интеграцияланған басқару жүйелері олардың өнімділігін одан әрі арттырады. Озонаторлардың технологиялық дамуы болашақта жаңа мүмкіндіктерге жол ашып, олардың қолданылуын кеңейте түседі.

Осылайша, озонаторлар ғылым мен технологияның көптеген салаларында ерекше рөл атқарып, қазіргі заманның өзекті экологиялық және өндірістік мәселелерін шешуде маңызды құралға айналды.

Жоғары жиілікті озонаторлар озон өндіру технологиясының дамыған түрлерінің бірі болып табылады. Олардың пайда болуы электр разряды арқылы озон өндірудің жаңа тәсілдерін іздеумен тікелей байланысты. XX ғасырдың ортасында озон өндірісінің тиімділігін арттыру қажеттілігі туындады. Алғашқы озонаторлар төмен жиілікті токты пайдаланғандықтан, олардың өнімділігі шектеулі болды. Төмен жиілікті токпен жұмыс істейтін озонаторлар энергияны көп тұтынатын әрі аз озон өндіретін еді. Осыған байланысты ғалымдар жоғары жиілікті токтың ерекшеліктерін зерттей отырып, озон өндірісін арттырудың жаңа жолдарын іздестірді.

Зерттеулер нәтижесінде жоғары жиілікті ток озон өндірісін жылдамдататыны дәлелденді. Бұл жаңалық озонаторлардың тиімділігін едәуір арттыруға мүмкіндік берді. Алғаш рет жоғары жиілікті ток арқылы жұмыс істейтін озонаторлар 1950-1960 жылдары жасалды [6]. Олар негізінен өндірістік масштабта озон өндіру үшін қолданылды. Жаңа технологияларды енгізу озонаторлардың құрылымына өзгерістер енгізуді талап етті. Озонаторларда жоғары сапалы материалдар мен жаңартылған электр схемалары қолданылып, олардың өнімділігі артты.

Жоғары жиілікті озонаторлар дәстүрлі озонаторларға қарағанда жылдамырақ және тиімдірек жұмыс істеді. Олар аз энергия тұтынуымен ерекшеленіп, экономикалық жағынан да тиімді болды. Мұндай озонаторлар суды тазалау, зарарсыздандыру және микробтарды жою үшін кеңінен

қолданыла бастады. Бұл құрылғылардың қолданылуы тек тазалау саласында ғана емес, экология, медицина және өнеркәсіпте де кеңейді. Жоғары жиілікті озонаторлардың пайда болуы озон өндірісіндегі революциялық қадам болып саналды.

XX ғасырдың ортасындағы зерттеулер жоғары жиілікті озонаторлардың жаңа мүмкіндіктерін ашты. Электр разрядының жиілігін арттыру арқылы озон өндірісінің өнімділігі бірнеше есе өсті. Жоғары жиілікті ток озон өндірісінің сапасын жақсартып отырып, оның өнімділігін арттырды. Сонымен қатар, техникалық жетілдірулер озонаторлардың қолданыс аясын кеңейтті. Жоғары жиілікті озонаторлар үлкен өндіріс орындарында және су тазалау станцияларында белсенді қолданылды. Бұл құрылғылардың негізгі артықшылықтары – жоғары өнімділік пен аз энергия шығыны [7].

Жоғары жиілікті озонаторлардың танымалдылығы 1970-1980 жылдары айтарлықтай артты. Олар қалдықтарды өңдеуде, ауаны зарарсыздандыруда, және басқа да экологиялық мақсаттарда қолданылды. Жоғары жиілікті токтың тұрақтылығы озон өндірісінің сапасын жақсартуға ықпал етті. Электр схемалары мен материалдардың жетілдірілуі бұл құрылғылардың сенімділігін арттырды. Сонымен қатар, жаңа модельдер жоғары жиілікті озонаторлардың өнімділігін одан әрі жақсартты.

1.2-кесте – Озонатордың даму кезеңдері

Кезең	Ерекшеліктері	Технологиялық жетістіктер
Алғашқы озонаторлар	Қолмен басқарылатын құрылғылар	Электр разряды арқылы озон өндіру
XX ғасырдың ортасы	Автоматтандырылған жүйелер	Электрондық схемалар, электрод материалдары
XX ғасырдың соңы	Интеллектуалды басқару жүйелері	Сенсорлар мен деректерді нақты уақыт режимінде талдау
Қазіргі заман	Сенсорлық желілер және қашықтан басқару	GSM, IoT және жасанды интеллект

Жоғары жиілікті озонаторлар медициналық және фармацевтикалық салаларда да кеңінен пайдаланылды. Олар зарарсыздандыру процестерінде жоғары тиімділік көрсетті. Бұл құрылғылар экологиялық мәселелерді шешуде маңызды рөл атқарды. Олар су ресурстарын тазалау мен қоршаған ортаны қорғауда тиімді құралға айналды. Жоғары жиілікті озонаторлар экологиялық таза технология ретінде танылып, олардың өндіріс ауқымы жыл сайын кеңейіп отырды.

XXI ғасырда жоғары жиілікті озонаторлар жаңа деңгейге жетті. Олардың жұмысы толық автоматтандырылды. Жаңа модельдерде сенсорлық технологиялар қолданылып, нақты уақыт режимінде озон өндірісін бақылау мүмкін болды. Бұл құрылғылар өнеркәсіптің тиімділігін арттыруға ықпал етті. Жоғары жиілікті озонаторлар ауыл шаруашылығында, тамақ өнеркәсібінде

және тұрмыстық мақсаттарда да кеңінен қолданыс тапты. Олар өнімдерді сақтау кезінде микроорганизмдерді жою үшін қолданылып, қауіпсіздікті қамтамасыз етті [8].

Технологияның жетілдірілуі жоғары жиілікті озонаторлардың энергия шығынын азайтуға мүмкіндік берді. Сонымен қатар, оларды тұрмыстық қолдану үшін де бейімдеу жүзеге асырылды. Қазіргі заманғы озонаторлар мобильді және сенімді құрылғыларға айналды. Жаңа материалдар мен нанотехнологияларды қолдану олардың сенімділігі мен ұзақ қызмет ету мерзімін арттырды. Жоғары жиілікті озонаторлар су тазалау саласындағы инновациялық шешімдерге ықпал етуде.

Озонаторлардың жұмысы тұрақты әрі сенімді болып, жоғары жиілікті ток технологиясының артықшылықтарын толық пайдаланды. Бұл технология озон өндірісінің өнімділігін арттырып, оның тұрақтылығын қамтамасыз етті. Жоғары жиілікті озонаторлар тиімділігі мен сенімділігі бойынша көшбасшы құрылғылардың қатарына енді. Олар экологиялық мәселелерді шешуде маңызды құрал болып, ғылым мен технологияның жетістігіне айналды.

Жоғары жиілікті озонаторлардың пайда болуы озон өндірісінің жаңа деңгейін айқындап, олардың қолданылуын кеңейтуге үлкен мүмкіндіктер ашты. Болашақта бұл технологияның даму перспективалары зор, және олар экология мен өндірістің көптеген салаларында қолданылатын болады. Жоғары жиілікті озонаторлар – заманауи ғылым мен технологияның маңызды жетістіктерінің бірі [9].

Жоғары жиілікті озонаторлардың басқару технологиялары олардың тиімділігі мен тұрақтылығын арттыру мақсатында үздіксіз дамып келеді. Алғашқы озонаторлар қарапайым қолмен басқарылатын құрылғылар болды, және оларды басқару процесі адам факторына тәуелді еді. XX ғасырдың ортасында озонаторларды автоматтандыру қажеттілігі туындады, себебі процестің тұрақтылығы мен өнімділігін арттыру маңызды болды. Алғашқы автоматтандырылған жүйелер механикалық реттеуге негізделді және озон өндірісін автоматты түрде қосу және өшіру мүмкіндігін қамтамасыз етті.

Электрондық басқару жүйелері озонаторлардың жаңа буынының негізін қалады. Бұл жүйелер өндіріс процесін дәл бақылауға және озон өндірісінің параметрлерін оңтайландыруға мүмкіндік берді. Электрондық схемалардың енгізілуі озонаторлардың тұрақтылығын және сенімділігін едәуір жақсартты. XX ғасырдың соңында интеллектуалды басқару жүйелері пайда болды, олар озон өндірісін тиімді реттеп, адам араласуын барынша азайтты. Инновациялық басқару жүйелерінде сенсорлық технологиялар кеңінен қолданыла бастады. Сенсорлар нақты уақыт режимінде деректер жинауға және өндіріс процестерін дәл бақылауға мүмкіндік берді. Мұндай технологиялар озон концентрациясын дәл анықтап, өндіріс сапасын жоғарылатуға ықпал етті. Басқару жүйелеріндегі автоматтандырылған шешімдер озон өндірісінің барлық кезеңдерін қадағалауға мүмкіндік берді. Жоғары жиілікті токты тұрақтандыру үшін арнайы электрондық схемалар қолданылды, бұл құрылғылардың сенімділігін арттырды.

XXI ғасырда озонаторларды басқару жүйелеріне интернет заттары (IoT) технологиялары енгізілді. Бұл технологиялар озонаторларды қашықтан басқаруға мүмкіндік берді және өнеркәсіптік процестерді оңтайландыруға елеулі әсер етті. IoT арқылы нақты уақыт режимінде деректерді бақылау, талдау және жүйені реттеу мүмкін болды. Сондай-ақ сенсорлық желілер озонаторлардың жұмысын толықтай қадағалап, өндіріс тиімділігін арттырды [10].

Қашықтан басқару жүйелерінің пайда болуы өнеркәсіптік процестерді жеңілдетіп, адам еңбегін азайтты. Бағдарламалық қамтамасыз ету озонаторларды басқарудың маңызды элементіне айналды. Интеллектуалды жүйелер озон өндірісін оңтайландырып, барлық параметрлерді дәл есептеуге мүмкіндік берді. Жасанды интеллект элементтері енгізілген заманауи басқару жүйелері озон өндірісін автоматтандыруда жаңа деңгейге қол жеткізді.

Сенсорлық технологиялармен біріктірілген басқару жүйелері жоғары дәлдікпен және сенімділікпен жұмыс істеді. Мұндай жүйелер озон өндірісінің тұрақтылығын қамтамасыз етіп қана қоймай, процестің экологиялық таза болуын да қадағалайды. Басқару жүйелеріндегі инновациялар өндіріс шығындарын азайтуға және энергияны тиімді пайдалануға мүмкіндік берді. Автоматтандырылған жүйелер адамның араласуынсыз жұмыс істеп, өндіріс тиімділігін едәуір арттырды.

Заманауи жоғары жиілікті озонаторлардың басқару жүйелері энергияны аз тұтынып, тұрақты және ұзақ мерзімді жұмыс істеуге мүмкіндік берді. Сенсорлық технологиялар процестерді толық бақылауға, деректерді нақты уақыт режимінде талдауға және түзетуге жағдай жасады. Жаңа алгоритмдер озон өндірісінің өнімділігін тұрақтандырып, озонаторлардың жұмысын оңтайландырды.

Озонаторларды басқарудағы инновациялар экологиялық мәселелерді шешуде маңызды рөл атқарды. Жоғары жиілікті озонаторлардың басқару технологиялары энергияны үнемдеп, экологиялық қауіпсіздікке баса назар аударады. Интеллектуалды басқару жүйелері өндіріс тиімділігін арттыруда және процестерді оңтайландыруда шешуші рөл атқарды. Бұл жүйелер адам араласуын минимизациялап, өнеркәсіптік процестердің сенімділігін арттырды.

Жоғары жиілікті озонаторлардың басқару технологиялары ғылым мен техниканың заманауи жетістіктеріне негізделген. Олар өндіріс процестерін тұрақты әрі тиімді басқаруға мүмкіндік беріп, экологиялық таза және экономикалық тиімді шешімдерді ұсынады. Болашақта басқару жүйелерінің жаңа мүмкіндіктері жоғары жиілікті озонаторларды қолдану ауқымын одан әрі кеңейтеді. Осылайша, жоғары жиілікті озонаторлардың басқару технологиялары экология мен өндірістің маңызды мәселелерін шешуде жетекші рөл атқарады [8].

Жоғары жиілікті озонаторлардың тиімділігін сенсорлық желілер арқылы зерттеу қазіргі таңда маңызды ғылыми бағыттардың бірі болып табылады. Бұл

технологияның көптеген артықшылықтары бар, сонымен қатар белгілі бір кемшіліктері де кездеседі.

Алдымен артықшылықтарға тоқталсақ, жоғары жиілікті озонаторлар озон өндіруде жоғары өнімділікке ие, бұл өндірістік және экологиялық процестерде тиімділікті арттырады. Мұндай жүйелер энергияны тиімді пайдаланады, бұл өз кезегінде электр қуатының шығынын азайтуға мүмкіндік береді. Сенсорлық желілердің болуы озон концентрациясын автоматты түрде бақылап, реттеуге жағдай жасайды. Бұл процестің дәлдігін арттырып қана қоймай, қауіпсіздікті қамтамасыз етеді. Жиналған нақты уақыт деректері озонатордың жұмысын қашықтан бақылауға және басқаруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, сенсорлық желілер жүйенің сенімділігін арттырып, ақауларды ерте анықтауға септігін тигізеді. Жиналған деректерді талдау нәтижесінде озонатордың жұмыс параметрлерін оңтайландыруға болады. Осы технологияның тағы бір артықшылығы – оның экологиялық тиімділігі. Озонатордың тиімді жұмыс істеуі қоршаған ортаға зиянды әсерді азайтып, табиғатты қорғауға ықпал етеді.

Дегенмен, бұл технологияның бірқатар кемшіліктері де бар. Ең алдымен, сенсорлық желілерді орнату және қызмет көрсету шығындарының жоғары болуы – басты мәселе. Жүйенің техникалық күрделілігі оны қолдау мен қызмет көрсетуді қиындатады. Сонымен қатар, сенсорлық желілер арқылы жиналған деректердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету қажет, себебі деректердің жоғалуы немесе бұрмалануы жүйе жұмысына кері әсер етуі мүмкін. Кейбір сенсорлардың қуат тұтынуы жүйенің жалпы энергия тиімділігіне әсер етуі ықтимал. Сондай-ақ, сымсыз сенсорлық желілердің сенімділігі кейде төмен болып, деректердің жоғалуына немесе кешігуіне әкеледі. Жоғары жиілікті сигналдар басқа электрондық құрылғылармен интерференция тудырып, жүйенің тұрақтылығын бұзуы мүмкін. Қоршаған орта факторлары, мысалы, температура мен ылғалдылық, сенсорлардың жұмысына әсер ететін маңызды факторлар. Біртұтас стандарттардың болмауы жүйелердің үйлесімділігін қиындатады, ал сенсорлардан алынатын деректердің дәлдігі кейде жеткіліксіз болуы мүмкін. Соңында, сенсорлық желілерді озонаторлармен біріктіру жүйенің күрделілігін арттырады [11].

Қорыта айтқанда, жоғары жиілікті озонаторлардың сенсорлық желілер арқылы тиімділігін зерттеу ауқымды артықшылықтарға ие болғанымен, белгілі бір техникалық және ұйымдастырушылық мәселелерді шешуді талап етеді. Осы кемшіліктерді жою үшін жүйені дұрыс жобалау, сенсорлардың сапасын арттыру және деректер қауіпсіздігін қамтамасыз ету маңызды.

1.2 Жоғары жиілікті озонаторлар тиімділігін арттыру бойынша соңғы зерттеулер

Жоғары жиілікті озонаторлардың тиімділігін арттыру үшін электрлік кернеу, ток жиілігі, электродтар материалы, газдың температурасы мен қысымы сияқты техникалық параметрлерді оңтайландыру маңызды. Жоғары кернеу озон өндірісінің жылдамдығын арттырғанымен, энергия шығынын көбейтеді, ал төмен кернеу аз шығынмен жұмыс істегенімен, өнімділігі төмен болады. Электродтардың материалы да маңызды рөл атқарады: коррозияға төзімді және өткізгіштігі жоғары мыс, титан сияқты материалдар озон өндірісінің тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, электродтар арасындағы арақашықтық газ ағынының біркелкілігін сақтауға мүмкіндік беретін маңызды фактор болып табылады [12].

Газдың температурасы мен қысымы озон өндірісіне тікелей әсер етеді. Температураның тым жоғары болуы озонның тұрақсыздығына әкелуі мүмкін, ал қысымды дұрыс реттеу озон өндірісінің сапасын жақсартады. Жоғары жиілікті ток озон өндірісінің жылдамдығын арттырады, бірақ жиіліктің шамадан тыс жоғарылауы жүйенің тұрақсыздығына және энергия шығынының көбеюіне әкеледі. Сондықтан ток жиілігін оңтайландыру маңызды бағыттардың бірі болып табылады. Газ ағынының бағыты мен жылдамдығы да озон концентрациясының тұрақтылығын қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады [13].

1.3-кесте – Озон өндірісіне әсер ететін факторлар

Факторлар	Озон концентрациясына әсері	Ескертпелер
Электр кернеуі	Кернеу артқан сайын озон концентрациясы жоғарылайды	Тиімді диапазон: 10-15 кВ
Температура	Жоғары температурада озон концентрациясы төмендейді	20-25°C тиімді
Электрод материалы	Коррозияға төзімді материалдар тиімділікті арттырады	Мыс, титан, наноқабыршақ технологиялары
Газ ағынының жылдамдығы	Біркелкі ағын озон тұрақтылығын сақтайды	Газ таратқыштар маңызды

Озон өндірісіне әсер ететін негізгі факторлар электр кернеуі, температура, электрод материалы және газ ағынының жылдамдығы болып табылады. Электр кернеуі озон өндірісінде басты рөл атқарады, себебі кернеу артқан сайын озон концентрациясы жоғарылайды, бірақ тиімді диапазон 10-15 кВ аралығында шектелген. Температура да маңызды әсер етеді, өйткені 20-25°C деңгейінде озон тұрақтылығы сақталады, ал температура жоғарылағанда озонның концентрациясы күрт төмендейді. Электрод материалы өндірістің сапасын анықтайтын фактор болып табылады: мыс, титан сияқты коррозияға төзімді материалдар тиімділікті арттырады. Сонымен қатар, газ ағынының

жылдамдығы біркелкі болған жағдайда ғана озон өндірісі тұрақты әрі тиімді жүзеге асады. Осы факторларды нақты бақылау және басқару жүйелері арқылы оңтайландыру озон өндірісінің тиімділігін арттыруда маңызды рөл атқарады.

Озонаторлардың энергия тиімділігін арттыру үшін олардың электрлік схемалары жетілдірілуде. Жаңа инновациялық схемалар озон өндірісін тұрақтандырып, энергия шығынын азайтады. Нанотехнологиялар, мысалы, наноқабыршақтар, электродтардың тиімділігін арттырып, коррозияға төзімділігін күшейтеді. Сонымен қатар, плазмалық технологиялар арқылы жоғары концентрациялы озон алу мүмкіндігі кеңейіп, құрылғылардың жалпы тиімділігі артуда.

Зерттеушілер озонаторларды сенсорлық технологиялармен жабдықтап, параметрлерді нақты уақыт режимінде бақылауды жүзеге асыруда. Бұл озон өндірісін оңтайландыруға және тұрақтылықты қамтамасыз етуге көмектеседі. Электродтардың геометриялық пішіні, мысалы, бұрыштық немесе толқынды конструкциялар, озон өндірісінің тиімділігін арттыру үшін қолданылады. Сонымен қатар, компьютерлік модельдеу озон өндірісінің параметрлерін дәл анықтап, құрылғылардың жұмысын оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Нақтылайлай келе, жоғары жиілікті озонаторлардың тиімділігін арттыру бойынша жүргізіліп жатқан зерттеулер озон өндірісін арттыруға, энергия шығынын азайтуға және құрылғылардың экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етуге бағытталған. Бұл зерттеулер озонаторлардың болашақтағы дамуында маңызды рөл атқарады және олардың қолдану аясын одан әрі кеңейтуге негіз болады.

Озонаторлар тиімділігін арттыру қазіргі технологиялық жетістіктердің басты міндеттерінің бірі болып табылады. Осы бағытта бірнеше маңызды әдістер қолданылады. Олардың бірі – электрлік разряд технологияларын жетілдіру. Электрлік разрядтың түрлері мен параметрлерін өзгерту арқылы озон өндірісінің өнімділігін арттыруға болады. Жоғары жиілікті разрядтар озон өндірісінің жылдамдығын арттырып, энергия шығынын азайтады [14,15].

Электродтардың материалдары мен пішіндерін жетілдіру озон өндірісінің тұрақтылығын қамтамасыз ететін негізгі әдістердің бірі. Қазіргі таңда титан, мыс және алюминий сияқты коррозияға төзімді материалдар қолданылады. Электродтардың бұрыштық немесе толқынды пішіндері электр разрядының біркелкілігін қамтамасыз етіп, озон өндірісін тиімді етеді. Сонымен қатар, наноқабыршақтармен қапталған электродтар озон өндірісінің өнімділігін арттырады.

Газ ағынының бағытын және жылдамдығын бақылау да маңызды әдістердің қатарына жатады. Газ ағынын біркелкі тарату арқылы озон өндірісінің концентрациясы тұрақты болады. Бұл үшін арнайы газ таратқыш құрылғылар мен ағынды басқару жүйелері қолданылады. Сонымен қатар, газ ағынының температурасы мен қысымын бақылау озон өндірісінің сапасын жақсартуға мүмкіндік береді [13].

Озонаторлардың тиімділігін арттыруда плазмалық технологияларды қолдану кеңінен таралуда. Плазмалық разрядтар озонның жоғары концентрациясын алуға мүмкіндік береді. Бұл технология озонаторлардың өнімділігін арттырып қана қоймай, олардың экологиялық таза болуын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, плазмалық разрядтарды басқару үшін заманауи электр схемалары қолданылады.

Энергия тиімділігін арттыру мақсатында озонаторларда қуатты басқару жүйелері қолданылады. Инновациялық басқару жүйелері озон өндірісінің энергия шығынын азайтып, тиімділігін жоғарылатады. Сенсорлық технологияларды енгізу арқылы озон өндірісінің параметрлері нақты уақыт режимінде бақыланады. Бұл әдіс озон өндірісінің тұрақтылығын қамтамасыз етіп, жүйенің тиімділігін арттырады.

Озонаторлардың тиімділігін арттыруда қолданылатын тағы бір әдіс – озон өндірісін модельдеу және оңтайландыру. Компьютерлік модельдеу арқылы жүйенің барлық параметрлері есептеліп, оңтайлы жұмыс режимдері анықталады. Бұл әдіс озонаторлардың жұмысын тұрақтандырып, өндіріс шығындарын азайтуға көмектеседі. Сонымен қатар, модельдеу арқылы жүйенің тұрақтылығын қамтамасыз ететін жаңа шешімдер ұсынылады.

Соңғы жылдары озонаторларды басқаруда GSM технологияларын қолдану маңызды рөл атқаруда. GSM модульдері озон өндірісін қашықтан басқаруға және бақылауға мүмкіндік береді. Бұл технология озонатордың параметрлерін нақты уақыт режимінде бақылап, қашықтан түзету енгізуге жағдай жасайды. GSM технологиялары арқылы құрылғылардың тиімділігін арттыру және олардың жұмысын үздіксіз қадағалау мүмкін болады [16].

GSM технологиясы озонаторларды өнеркәсіптік және тұрмыстық қолданыста икемді етеді. Қашықтан басқару жүйесі озон өндірісінің әр кезеңін бақылап, оның тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Бұл әдіс құрылғылардың сенімділігін арттырып, адам еңбегін азайтуға мүмкіндік береді. GSM арқылы ақпарат беру жүйелері озонатордың жұмысын үздіксіз бақылауға және тиімділігін арттыруға ықпал етеді.

Термиялық басқару жүйелері озон өндірісінің сапасын жақсарту әдістерінің бірі болып табылады. Озонаторларда температураны тұрақтандыру озонның тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, газдың салқындату немесе қыздыру жүйелері арқылы озон өндірісінің тиімділігін арттыруға болады.

Жалпы айтқанда, озонаторлар тиімділігін арттыруда қолданылатын әдістер олардың өнімділігін жоғарылатуға, энергия шығынын азайтуға және экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етуге бағытталған. GSM технологияларын қолдану озонаторларды қашықтан бақылауға және басқаруға мүмкіндік беріп, олардың тиімділігін арттыруда маңызды рөл атқарады. Бұл әдістер озонаторлардың қолдану аясын кеңейтіп, олардың тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз етеді. Алдағы уақытта осы әдістердің одан әрі жетілдірілуі озон өндірісінің жаңа деңгейіне шығуына мүмкіндік береді.

Соңғы жылдардағы ғылыми зерттеулер жоғары жиілікті озонаторлардың тиімділігін арттыруға және оларды жаңа салаларда қолдануға бағытталды. Әсіресе, озон өндірісінің сапасын жақсарту және энергия шығынын азайту негізгі мақсаттар ретінде қарастырылуда. Бұл зерттеулерде озонаторлардың техникалық параметрлері, жаңа материалдар және басқару жүйелері кеңінен талданды.

Зерттеушілер озон өндірісінде қолданылатын электрлік разряд түрлерін жетілдіруде. Плазмалық разрядтар озон өндірісінің жоғары өнімділігі мен тұрақтылығын қамтамасыз ететін технология ретінде зерттелуде. Сонымен қатар, электрлік разрядтың жиілігі мен кернеуінің озон концентрациясына әсері туралы көптеген зерттеулер жүргізілуде.

Электродтардың жаңа материалдары мен конструкциялары ғылыми зерттеулердің басты бағыттарының бірі болды. Заманауи зерттеулерде электродтардың бетіне наноқабыршақтар қосу арқылы олардың тиімділігін арттыру мәселелері қарастырылды. Нанотехнологияларды қолдану электродтардың коррозияға төзімділігін арттырып, озон өндірісінің ұзақмерзімділігін қамтамасыз етеді.

Газ ағынының бағытын және жылдамдығын бақылау әдістері де зерттеушілер назарында. Соңғы жылдары газ ағынын басқару жүйелерін жетілдіру бойынша маңызды жетістіктерге қол жеткізілді. Газдың температурасы мен қысымын тұрақтандыру арқылы озон өндірісінің тиімділігін арттыру зерттеулердің өзекті бағытына айналды.[13]

Энергия шығынын азайту және озонаторлардың тиімділігін арттыру үшін заманауи электрлік схемалар әзірленуде. Бұл схемалар озон өндірісінің тұрақтылығын қамтамасыз етіп, құрылғылардың энергияны үнемдеуіне көмектеседі. Әсіресе, энергияны тиімді пайдалану мәселесі экологиялық және экономикалық тұрғыдан маңызды болып табылады.

Зерттеулер озонаторлардың жұмысын оңтайландыру үшін компьютерлік модельдеу әдістерін кеңінен қолдануда. Компьютерлік модельдеу арқылы озон өндірісінің барлық параметрлері алдын ала есептеліп, оңтайлы жұмыс режимдері анықталады. Бұл тәсіл озонаторлардың тиімділігін арттырып қана қоймай, олардың өндірістік шығындарын азайтады.

Сенсорлық технологияларды озонаторларда қолдану бойынша да зерттеулер жүргізілуде. Сенсорлар озон өндірісінің параметрлерін нақты уақыт режимінде бақылап, олардың тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Мұндай технологиялар озонаторларды интеллектуалды құрылғыларға айналдыруға мүмкіндік береді.

Соңғы жылдары GSM технологияларын озонаторларда қолдану белсенді зерттеліп келеді. GSM модульдері арқылы озонаторларды қашықтан бақылау және басқару мүмкіндігі пайда болды. Бұл технологиялар өнеркәсіптік процестердің тиімділігін арттырып, озон өндірісін тұрақтандыруға ықпал етеді.

Зерттеушілер озонаторларды экология саласында қолдану мәселелеріне де көп көңіл бөлуде. Озонның су тазалау, ауа зарарсыздандыру және

қалдықтарды өңдеу салаларында тиімділігі жоғары екені дәлелденді. Сонымен қатар, озонды медицинада қолдану бағыттары бойынша да маңызды зерттеулер жүргізілуде.

Озонның микробтарды жою қабілетін зерттеу нәтижесінде оны ауыл шаруашылығында, тамақ өнеркәсібінде және фармацевтикада қолдану мүмкіндіктері анықталды [17]. Бұл зерттеулер озонның экологиялық таза дезинфекциялау құралы ретінде маңыздылығын дәлелдеді.

Жасанды интеллект элементтерін озонаторларда қолдану соңғы жылдардағы жаңалықтардың бірі болды. Жасанды интеллект озон өндірісінің параметрлерін талдап, тиімді жұмыс режимдерін автоматты түрде анықтауға мүмкіндік береді. Бұл технология адам араласуын азайтып, озонаторларды толық автоматтандыруды қамтамасыз етеді.

Озонаторлардың тиімділігін арттыру бойынша ғылыми зерттеулер олардың қолдану аясын одан әрі кеңейтуге негіз болуда. Қазіргі таңда зерттеушілер озон өндірісін жақсарту және құрылғылардың экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету мәселелерін шешуде маңызды жетістіктерге қол жеткізді. Алдағы уақытта озонаторларды қолданудың жаңа мүмкіндіктері ашылады деп күтілуде.

1.3 Сенсорлық желілердің озонаторларды басқаруда қолданылуындағы мәселелер мен перспективалар

Сенсорлық желілер – нақты уақыт режимінде деректерді жинау, өңдеу және таратуға арналған жүйелер. Бұл желілер озонаторлардың жұмыс параметрлерін, мысалы, озон концентрациясы, температура, қысым және электрлік кернеу сияқты көрсеткіштерді үздіксіз өлшейді. Сенсорлар жинаған деректерді өңдеп, оларды басқару жүйесіне жібереді. Бұл басқару жүйесі жинақталған ақпаратты пайдалана отырып, озон өндірісін тиімді басқарады. Сенсорлар сымды немесе сымсыз байланыс арқылы ақпаратты жіберіп, озонаторларды нақты уақыт режимінде бақылауға және басқаруға мүмкіндік береді. Сымсыз желілер GSM, Wi-Fi немесе Bluetooth технологияларын қолдана отырып, қашықтан басқаруды жеңілдетеді. Бұл сенсорлық желілердің икемділігі мен жылдамдығы озон өндірісінің ақауларын дер кезінде анықтап, түзету шараларын қабылдауға мүмкіндік береді [18].

Сенсорлық желілер деректердің дәлдігін қамтамасыз ететін жоғары сезімтал сенсорларды пайдаланады. Бұл сенсорлар өлшеу қателіктерін минимизациялап, деректердің сапасын жақсартады. Сонымен қатар, желілердің масштабталу мүмкіндігі үлкен өндіріс орындарына жаңа сенсорларды оңай қосуға мүмкіндік береді. Энергия тиімділігі де маңызды қағида болып табылады, себебі сенсорлардың ұзақ уақыт жұмыс істеуі энергия шығынын азайтып, өндіріс тиімділігін арттырады. Жүйелердің автоматтандырылуы сенсорлық желілердің басты ерекшелігі болып табылады. Олар адам араласуынсыз барлық процестерді бақылап, озон өндірісінің

тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Деректерді сақтау мен визуализациялау құралдары жинақталған ақпаратты кестелер, графиктер немесе диаграммалар түрінде көрсетіп, операторларға нақты шешім қабылдауға көмектеседі [19].

Қауіпсіздік пен интеграция сенсорлық желілердің маңызды аспектілері болып табылады. Жинақталған ақпараттың қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін деректер шифрлау және аутентификация әдістерімен қорғалады. Бұл озонаторларды сыртқы қауіптерден қорғап, жүйенің сенімділігін арттырады. Сенсорлық желілер озонатордың барлық элементтерімен үйлесімді жұмыс істейді, бұл оларды толық интеграцияланған интеллектуалды басқару платформаларына біріктіруге мүмкіндік береді. Жалпылама айтқанда, сенсорлық желілердің негізгі қағидалары деректерді нақты жинау, жылдам өңдеу, қауіпсіз сақтау және жүйенің масштабталу мүмкіндігін қамтамасыз етуге бағытталған. Бұл озонаторлардың тиімділігін арттырып, энергия шығынын азайтуға және жүйенің тұрақтылығын сақтауға мүмкіндік береді. Алдағы уақытта сенсорлық желілерді жетілдіру олардың қолдану аясын кеңейтіп, озон өндірісін жаңа деңгейге көтереді.

1.4-кесте – Озон сенсорының техникалық сипаттамалары [22]

Параметрлер	Мәні	Сипаттамалары
Сенсор түрі	Озон сенсоры (O ₃)	Электрохимиялық немесе фотоэлектрлік сенсорлар
Өлшеу ауқымы	0 - 1000 ppm	Сенсордың озон концентрациясын өлшеу диапазоны
Дәлдігі	±3% немесе одан төмен	Өлшеудің дәлдігі, мысалы, ±3% дәлдік деңгейі
Реакция уақыты	1-10 секунд	Сенсордың өзгерістерге жауап беру уақыты
Температура диапазоны	-20°C - 50°C	Сенсордың жұмыс істей алатын температурасы
Қуат тұтыну	15 - 40 мА	Сенсордың жұмыс істеуі үшін қажетті қуат
Шығару сигналы	4-20 мА немесе 0-10 V	Сенсордың аналогты сигнал шығару әдісі
Қосылу интерфейсі	RS-485, GSM, Wi-Fi	Сенсорды басқару және мониторинг жасау үшін қолданылатын интерфейс
Шығару сенсорының дәлдігі	±2% (0-500 ppm)	Озон концентрациясының дәлдігі
Өлшеу жылдамдығы	1 - 5 секунд	Сенсордың жаңартылу жиілігі
Тұрақтылығы	5 жылға дейін	Сенсордың жұмыс уақытындағы тұрақтылығы

Кестеде көрсетілгендей, озон сенсорының өлшеу ауқымы 0 - 1000 ppm аралығында болып, озон концентрациясын кең диапазонда өлшеуге мүмкіндік береді. Дәлдігі ±3% деңгейінде болғандықтан, сенсорлар өте жоғары

дәлдікпен жұмыс істейді. Температураның әсері сенсордың тиімділігіне тікелей байланысты, өйткені оның жұмыс температурасы -20°C пен 50°C аралығында болады. Кестеде көрсетілген қуат тұтынуы 15 - 40 мА аралығында болып, сенсордың ұзақ уақыт жұмыс істеуін қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, сенсорлар 4-20 мА немесе 0-10 V шығыс сигналын шығарады, бұл мәліметтерді оңай алу мен өңдеуге мүмкіндік береді. Қосылу интерфейсі ретінде RS-485, GSM немесе Wi-Fi қолданылады, бұл сенсорларды қашықтан бақылауға мүмкіндік береді [22,23].

Сенсорлық желілер озонаторларды басқарудағы маңызды технологиялардың бірі болып табылады, өйткені олар деректерді нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік береді. Бұл жүйелер озон өндірісінің тиімділігін арттырып, процестердің тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Сенсорлық желілердің негізгі артықшылықтарының бірі – дәлдік. Сенсорлар озон концентрациясы, қысым, температура сияқты параметрлерді үздіксіз бақылап, жоғары дәлдікпен өлшейді. Сонымен қатар, бұл деректерді басқару жүйесіне жедел жіберіп, озон өндірісін оңтайландыруға ықпал етеді. Мұндай жүйелер адам факторынан туындайтын қателіктерді болдырмауға мүмкіндік береді, бұл өндіріс процесін анағұрлым сенімді етеді [18].

Сенсорлық желілердің тағы бір артықшылығы – процестерді толық автоматтандыру. Бұл технология адам араласуын азайтып, озон өндірісінің үздіксіз жұмысын қамтамасыз етеді. Сенсорлық желілер арқылы қашықтан басқару мүмкіндігі жүзеге асырылады, бұл озонаторларды өндірістік алаңнан тыс жерде де бақылауға және басқаруға мүмкіндік береді. Бұл әсіресе үлкен өндіріс орындары мен экологиялық бақылау жүйелерінде өте тиімді. Сонымен қатар, сенсорлық желілер масштабталу мүмкіндігіне ие, яғни жүйеге қосымша сенсорлар мен құрылғыларды оңай қосуға болады. Бұл мүмкіндік озонаторларды әртүрлі өндірістік процестерге бейімдеуге мүмкіндік береді.

Дегенмен, сенсорлық желілердің кемшіліктері де бар. Олардың бірі – жоғары бастапқы шығындар. Сенсорлар, басқару жүйелері және оларды біріктіру үшін қажетті технологиялар қымбатқа түседі. Бұл шағын өндірістер үшін кедергі болуы мүмкін. Сонымен қатар, сенсорлардың сезімталдығы уақыт өте келе төмендеуі мүмкін, бұл олардың қызмет ету мерзімін шектеуі мүмкін. Сенсорлық желілердің тағы бір кемшілігі – киберқауіпсіздік мәселелері. Қашықтан басқару мүмкіндігі бар жүйелер хакерлік шабуылдарға осал болуы мүмкін, бұл деректердің жоғалуына немесе озон өндірісінің бұзылуына әкелуі ықтимал.

Жалпы алғанда, сенсорлық желілерді қолданудың артықшылықтары олардың кемшіліктерінен басым. Бұл технология озон өндірісін тиімді басқаруға, процестерді оңтайландыруға және ақауларды жылдам анықтауға мүмкіндік береді. Кемшіліктеріне қарамастан, сенсорлық желілердің жоғары дәлдігі, автоматтандырылуы және масштабталуы оларды озонаторларды басқарудың ажырамас бөлігі етеді. Алдағы уақытта сенсорлық желілерді жетілдіру киберқауіпсіздік мәселелерін шешіп, олардың ұзақмерзімділігін

арттырады деп күтілуде. Бұл технология озон өндірісін басқаруда жаңа деңгейге қол жеткізуге ықпал етпек.

Озонаторларды сенсорлық желілер арқылы басқаруда әлі де көптеген мәселелер шешуді қажет етеді. Соның бірі – озонның тұрақсыздығы мен температураға тәуелділігі. Озон жоғары температурада тұрақсыз болып, өздігінен ыдырап кетуі мүмкін. Бұл озон өндірісінің сапасын төмендетіп, энергия шығынын арттырады. Осыған байланысты температураны нақты бақылау және тұрақтандыру жүйелері озон өндірісінің тиімділігін қамтамасыз ету үшін маңызды. Зерттеулер көрсеткендей, озонның тиімді концентрациясы тек белгілі бір температуралық диапозонда ғана сақталады, ал температураның шамадан тыс жоғарылауы озонның ыдырауын жылдамдатады.

Тағы бір маңызды мәселе – қашықтан басқару жүйелерінің болмауы немесе жеткілікті дәрежеде дамымауы. Озонның концентрациясы жоғары болған жағдайда оның адам денсаулығына тигізетін зияны өте зор. Озон тыныс алу жолдарын тітіркендіріп, өкпе қызметінің бұзылуына, бас ауруы мен көздің ашуына себеп болуы мүмкін. Осыған байланысты озонаторларды тек қашықтан басқару арқылы бақылау қажеттілігі туындайды. Қашықтан басқару жүйелері болмаса, операторлар озонның зиянды әсеріне ұшырауы мүмкін, бұл өндіріс орындарында қауіпсіздік деңгейін төмендетеді.

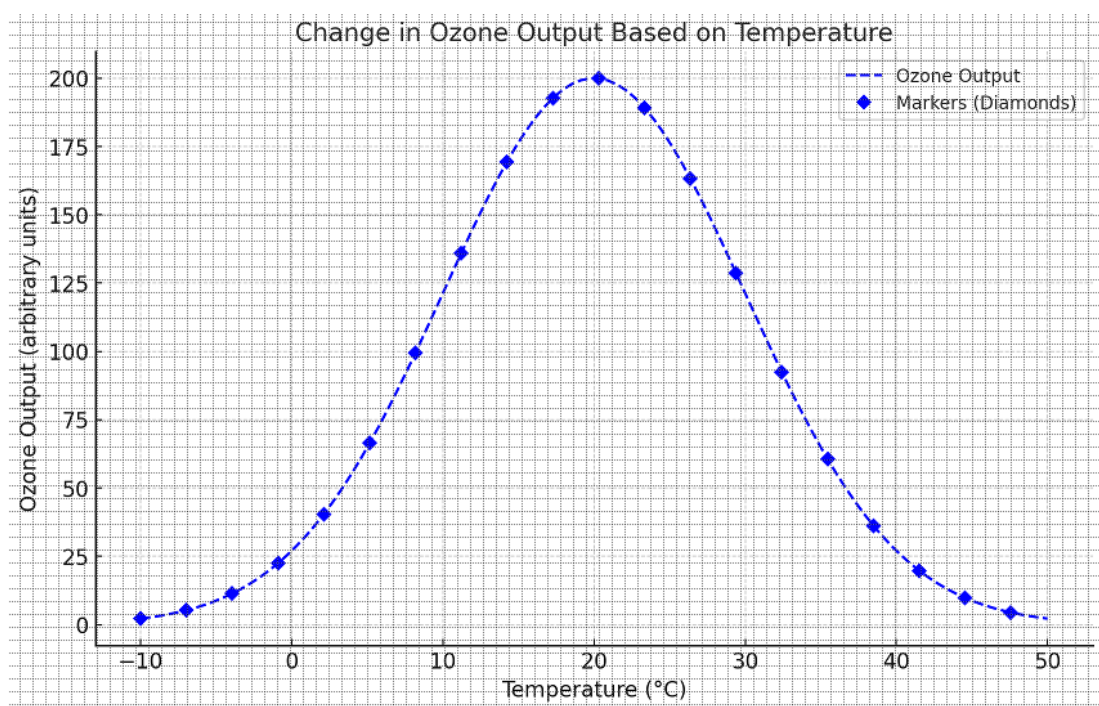
Сенсорлық желілерді қолданудағы тағы бір мәселе – температураны нақты реттеу үшін қажетті сенсорлардың дәлдігі мен тұрақтылығы. Температураны бақылау сенсорларының кейбірі ұзақ уақыт бойы пайдалану барысында дәлдігін жоғалтуы мүмкін. Бұл озон өндірісінің параметрлерін дұрыс бақылауға кедергі келтіреді. Сонымен қатар, температураны тұрақтандыру үшін энергия шығыны жоғары, күрделі құрылғылар қажет. Мұндай жабдықтардың жоғары құны өндіріс шығындарын арттырып, әсіресе шағын өндірістер үшін қиындық туғызады [19].

Кейбір өндіріс орындарында сенсорлық желілерді интеграциялау кезінде киберқауіпсіздік мәселелері туындауы мүмкін. Қашықтан басқару жүйелері дұрыс қорғалмаса, оларды кибершабуылдар арқылы басқарудан шығарып, озонның қауіпті мөлшерде бөлінуіне әкелуі мүмкін. Бұл тек өндіріс процесін бұзып қоймай, адам өміріне қауіп төндіреді. Сондықтан сенсорлық желілерді қорғау жүйелерін жетілдіру және қауіпсіздік шараларын енгізу қажет. Бұл мәселелерді шешу сенсорлық желілерді тиімді пайдалану үшін маңызды.

Жалпы алғанда, температураны бақылау және қашықтан басқару мәселелері озон өндірісінің тиімділігін арттыру мен қауіпсіздігін қамтамасыз етудің басты бағыттары болып табылады. Температураны нақты тұрақтандыру озонның сапасын жақсартып, энергия шығынын азайтуға мүмкіндік береді. Қашықтан басқару жүйелерін енгізу операторлардың қауіпсіздігін қамтамасыз етіп, озонның зиянды әсерін азайтады. Алдағы уақытта осы мәселелерді шешу үшін жаңа технологияларды енгізу және сенсорлық желілерді одан әрі жетілдіру қажеттілігі туындайды. Бұл

озонаторлардың экологиялық таза әрі қауіпсіз жұмыс істеуін қамтамасыз ететін маңызды қадам болмақ.

Температураға байланысты озонатор шықпасындағы озонның өзгерісі 1.1-суретте көрсетілген. Температураның бұл деңгейден жоғары немесе төмен ауытқуы озон концентрациясының айтарлықтай төмендеуіне әкеледі. Бұл құбылыс озонатордың жұмыс тиімділігінің температураға жоғары тәуелді екенін көрсетеді. Сонымен қатар, жоғары немесе төмен температура жағдайында озон өндірісінің азаюы энергетикалық шығындардың артуына және экологиялық тиімділіктің төмендеуіне ықпал етуі мүмкін. Осы деректер озонаторды пайдалану кезінде тұрақты температураны сақтау қажеттілігін және температуралық параметрлерді қатаң бақылаудың маңыздылығын айқындайды.



1.1-сурет – Температураға байланысты озонатор шықпасындағы озонның өзгерісі

Суретте температураның өзгеруіне байланысты озон шығуының динамикасы көрсетілген. Оптималды озон өндіру шамамен 20°C температурада байқалады, бұл озонатордың жоғары тиімділік аймағы екенін көрсетеді. Температура 20°C-тан ауытқығанда, озон шығу деңгейі айтарлықтай төмендейді, бұл жүйенің температураға сезімтал екенін аңғартады. Жоғары немесе төмен температурада озон концентрациясы азаяды, бұл экологиялық және өндірістік процестерде тұрақты температураны сақтаудың маңыздылығын көрсетеді. Бұл деректер озонатордың жұмыс параметрлерін оңтайландыру үшін қолданылуы мүмкін.

Озонаторларды басқару жүйелерін жетілдіру, әсіресе температураны бақылау және GSM модульдері арқылы қашықтан басқару, болашақтағы басты

міндеттердің бірі болып табылады. Температураны нақты бақылау озон өндірісінің сапасын жақсарту және тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін маңызды [16]. Температураның шамадан тыс жоғарылауы озонның тез ыдырауына әкеледі, бұл энергия шығыны мен өндіріс тиімділігіне кері әсерін тигізеді. Сондықтан, температураны бақылау үшін заманауи сенсорлар мен интеллектуалды жүйелерді пайдалану озон өндірісін оңтайландырудың маңызды перспективаларының бірі болып табылады.

Температураны тұрақтандыруды автоматтандыру перспективалы бағыт ретінде қарастырылуда. Жаңа технологиялар озонаторларда температураны реттеуге мүмкіндік беретін тиімді және энергия үнемдеуші жүйелерді жасауға бағытталған. Мысалы, интеллектуалды басқару жүйелері арқылы температураны нақты уақыт режимінде бақылап, қажет болған жағдайда оны автоматты түрде түзетуге болады. Бұл әдіс озон өндірісінің тұрақтылығын қамтамасыз етіп, өндіріс шығындарын азайтуға мүмкіндік береді.

GSM модульдері озонаторларды қашықтан басқарудың болашағы бар технологияларының бірі ретінде танылып отыр. GSM модульдерін пайдалану арқылы озонатордың барлық параметрлерін кез келген жерде, кез келген уақытта бақылап, басқаруға болады. Бұл технология өндірістік процестерді оңтайландырып, адам араласуын азайтады. GSM модульдері операторларға нақты уақыт режимінде озон концентрациясын, температураны және басқа да параметрлерді бақылауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, GSM арқылы басқару жүйесі төтенше жағдайларда жедел әрекет етуге мүмкіндік береді.

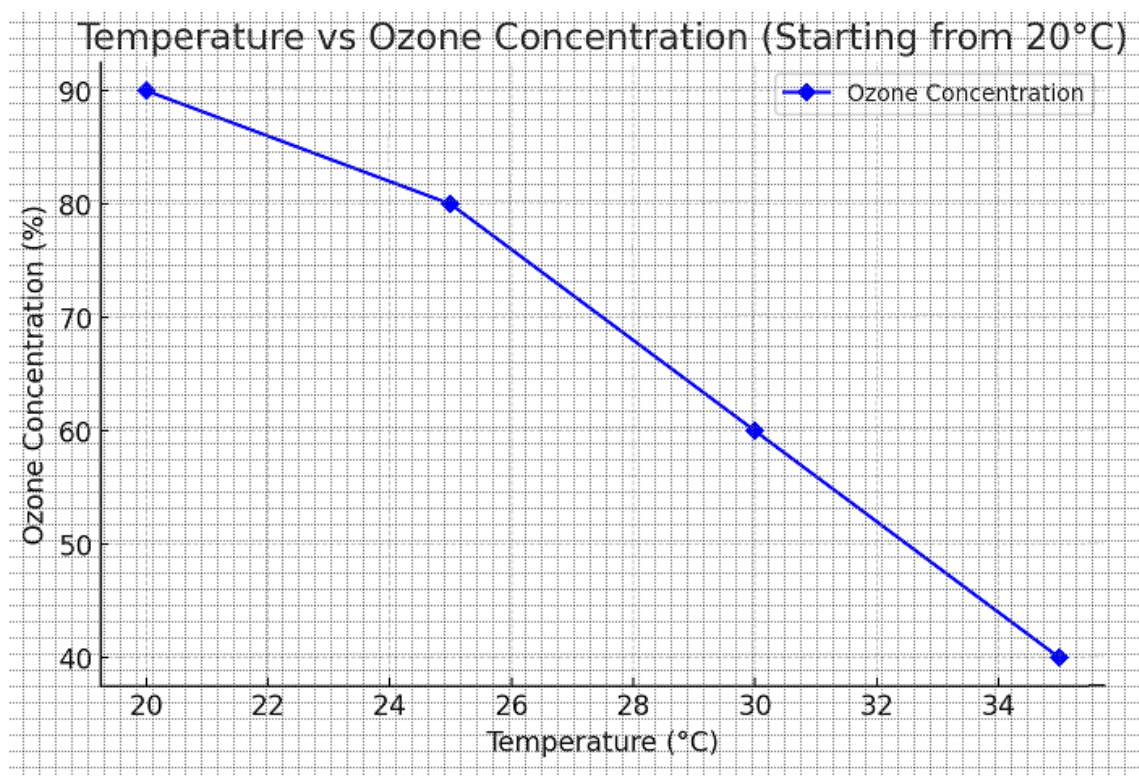
Озонаторларды GSM модульдерімен жабдықтау олардың қауіпсіздігін арттыруға ықпал етеді. Бұл технология арқылы озонның зиянды мөлшерде бөлінуінің алдын алуға болады. GSM жүйесі ақауларды анықтаған жағдайда операторларға ескерту жіберіп, жүйенің тұрақты жұмысын қамтамасыз етеді. GSM модульдерінің тағы бір артықшылығы – оларды басқа сенсорлық жүйелермен оңай интеграциялауға болады, бұл озонаторлардың тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді [20].

Болашақта GSM модульдері мен температураны бақылау жүйелерін жасанды интеллектпен біріктіру перспективалы бағыттардың бірі болып табылады. Жасанды интеллект деректерді талдап, озон өндірісінің параметрлерін автоматты түрде реттеуге мүмкіндік береді. Бұл әдіс озон өндірісін толық автоматтандырып, оның тиімділігін жаңа деңгейге көтереді. Температураны бақылау және GSM арқылы қашықтан басқаруды жетілдіру озонаторларды өнеркәсіпте, экологияда және тұрмыста кеңінен қолдануға жол ашады. Бұл технологиялар озон өндірісінің тиімділігі мен қауіпсіздігін қамтамасыз етуде маңызды рөл атқаратын болады.

1.4 Жоғары жиілікті озонаторларды сенсорлық желілермен басқару саласындағы негізгі проблемалар

Жоғары жиілікті озонаторлардағы маңызды техникалық мәселелердің бірі – температура тұрақсыздығы. Озон өндірісі кезінде температураның жоғарылауы озонның тұрақтылығына кері әсерін тигізеді. Температураның белгілі бір шектен асуы озон молекулаларының тез ыдырауына алып келеді, бұл оның концентрациясын төмендетеді. Озонның максималды концентрациясы белгілі бір температуралық диапозонда ғана сақталады, сондықтан оны нақты бақылау маңызды. Температура тұрақсыздығы энергия шығынының артуына және озонаторлардың жалпы тиімділігінің төмендеуіне себеп болады. Бұл мәселені шешу үшін заманауи сенсорлық жүйелер мен температураны тұрақтандыру технологияларын қолдану қажет [14].

Температураны тұрақтандыруға арналған жүйелердің жетілдірілмеуі де мәселені ушықтырады. Температураны нақты реттеу үшін жоғары сезімтал сенсорлар мен жылдам әрекет ететін басқару жүйелері қажет. Көптеген озонаторларда мұндай жүйелердің болмауы немесе олардың дәлдігі төмен болуы озон өндірісінің сапасын төмендетеді. Бұл әсіресе ұзақ мерзімді өндірістік процестер кезінде байқалады, себебі температураның кішігірім ауытқуларының өзі озон концентрациясына елеулі әсер етуі мүмкін.



1.2-сурет – Температура мен озон концентрациясының байланысы

Температура мен озон концентрациясының байланысы көрсеткендей, 20°C температурада озон концентрациясы 90% деңгейінде сақталады.

Температура 25°C-қа жеткенде концентрация 80%-ға дейін төмендейді, ал 30°C-да ол 60%-ға дейін азаяды. 35°C температурада озон концентрациясы ең төменгі деңгейге, яғни 40%-ға дейін түседі. Бұл деректер температура жоғарылаған сайын озонның тұрақсыздығы артатынын көрсетеді. Озон өндірісінің тиімділігін сақтау үшін температураны 20-25°C деңгейінде тұрақтандыру ұсынылады.

Температураның жоғарылауы кезінде озонның тұрақтылығы күрт төмендейді. Бұл құбылыс озон молекулаларының ыдырау жылдамдығымен байланысты. Температуралық ауытқулар озонның қажетті деңгейде өндірілмеуіне әкеліп, өндіріс тиімділігін төмендетеді. Осы мәселені шешу үшін температураны нақты уақыт режимінде бақылау және автоматты реттеу жүйелері қажет. Заманауи технологиялар температураны бақылау жүйелерін жетілдіруге мүмкіндік берсе де, олардың құны жоғары болғандықтан, көптеген өндірістер бұл жүйелерді енгізуге асықпайды.

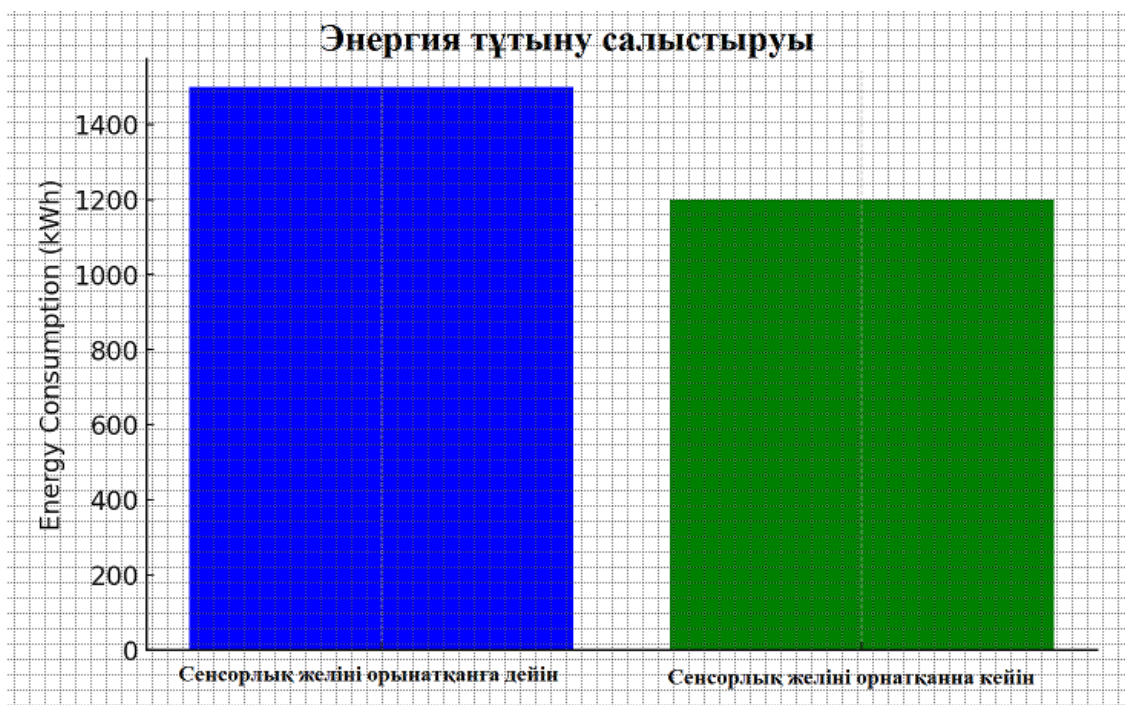
Озон концентрациясының температураға тәуелділігі өндірістік шығындарды арттыруға да себеп болады. Температураны тұрақтандыруға арналған энергия шығыны және арнайы жабдықтардың қажеттілігі өндіріс шығындарын көбейтеді. Бұл әсіресе шағын және орта өндірістер үшін қиындық туғызады. Сонымен қатар, температураны бақылау жүйелерінің тиімділігі сенсорлардың сезімталдығы мен олардың калибрлеу сапасына байланысты, бұл да техникалық қиындықтар туғызады.

Сенсорлар мен басқару жүйелерін интеграциялау озон өндірісінің тұрақтылығын қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. Алайда бұл процесті тиімді жүзеге асыру да бірқатар мәселелермен байланысты. Сенсорлар мен басқару жүйелерінің үйлесімді жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін жоғары дәлдік, сенімді байланыс және деректерді жылдам өңдеу талап етіледі. Қазіргі кезде көптеген сенсорлық жүйелер озонаторлардың басқару платформаларымен толық интеграцияланбаған, бұл олардың жұмысын қиындатады. Сенсорлық желілер мен басқару жүйелерін дұрыс интеграцияламау озон өндірісіндегі параметрлердің бұрмалануына және тиімділіктің төмендеуіне алып келеді [21].

Интеграциядағы тағы бір қиындық – деректердің сенімділігі. Сенсорлардан жиналған ақпарат басқару жүйесіне дәл жеткізілмеуі мүмкін, бұл дұрыс шешім қабылдауға кедергі келтіреді. Сонымен қатар, сенсорлар мен басқару жүйелерінің бірлескен жұмысы үшін арнайы бағдарламалық қамтамасыз ету қажет. Бұл бағдарламалардың жетілдірілмеуі немесе олардың тұрақсыздығы интеграция процесін қиындатады. Мұндай мәселелер озон өндірісінің сапасын бақылауды қиындатып, ақауларды анықтау мен түзету уақытын ұзартады.

Сенсорлардың ұзақмерзімді тұрақтылығы да маңызды мәселе болып табылады. Уақыт өте келе сенсорлардың сезімталдығы төмендейді, бұл олардың өлшеу дәлдігін азайтады. Сенсорларды тұрақты түрде калибрлеу қажеттілігі өндіріс процесін үзіп, қосымша шығындарға әкеледі. Сенсорлардың коррозияға немесе температураның өзгеруіне төзімділігінің

төмен болуы оларды жиі ауыстыруды талап етеді. Бұл жағдай озонаторлардың тұрақты жұмыс істеуіне кедергі келтіріп, олардың тиімділігін төмендетеді. Сенсорлардың ұзақмерзімді тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін олардың материалдары мен дизайнын жетілдіру қажет. Заманауи зерттеулер сенсорларды наноматериалдармен қаптау арқылы олардың тұрақтылығын арттыруға бағытталған. Алайда бұл шешімдер әзірге қымбат болып, өндірістік шығындарды көбейтеді. Сенсорлардың төзімділігін арттыру мәселесі шешілмейінше, озонаторларды басқару жүйелерінің толық сенімділігіне қол жеткізу қиын болады.



1.3-сурет – Энергия тұтыну салыстыруы

Жоғары жиілікті озонаторларды сенсорлық желілермен басқару экономикалық тұрғыдан тиімді болғанымен, оның бастапқы инвестициялық шығындары жоғары. Сенсорлық желілерді, басқару жүйелерін және оларға қажетті технологияларды енгізу үшін үлкен қаржы ресурстары қажет. Бұл әсіресе шағын және орта бизнес үшін қиындық туғызады. Сенсорлардың, GSM модульдерінің және басқа да жабдықтардың жоғары құны өндіріс шығындарын арттырады. Сонымен қатар, сенсорлық жүйелерді орнату мен баптау үшін мамандандырылған қызметкерлер қажет, бұл қосымша шығындарды талап етеді. Жабдықтардың тұрақты жұмысын қамтамасыз ету үшін оларды тұрақты түрде техникалық қызмет көрсету және калибрлеу қажет, бұл да өндірістік шығындарды көбейтеді.

Алайда ұзақ мерзімді перспективада сенсорлық желілерді қолдану экономикалық тұрғыдан тиімді болуы мүмкін. Автоматтандыру және қашықтан басқару жүйелері жұмыс күшін азайтып, өндіріс шығындарын төмендетуге мүмкіндік береді. Озон өндірісінің тиімділігін арттыру арқылы

энергия шығынын азайтуға және өнімділікті жоғарылатуға болады. Сонымен қатар, ақауларды дер кезінде анықтап, оларды түзету уақытын қысқарту өндірістің тоқтап қалуын болдырмайды. Осылайша, жоғары бастапқы шығындарға қарамастан, сенсорлық желілердің ұзақ мерзімді артықшылықтары оларды озонаторларды басқаруда қолдануды экономикалық тұрғыдан тартымды етеді.

2 Жоғары жиілікті озонаторды сенсорлық желімен басқарудың теориялық негіздері

2.1 Жоғары жиілікті озонаторлардың жұмыс принциптері және тиімділік параметрлері

Жоғары жиілікті озонаторлардың жұмыс принципі негізінен оттегі молекулаларын озон молекулаларына айналдыру процесіне негізделген. Бұл процестің басты механизмі электр энергиясын тиімді пайдаланып, оттегі молекулаларын ыдырату және оларды қайта біріктіру арқылы озон молекуласын (O_3) түзу болып табылады. Озонатордың негізгі жұмыс элементі электр разрядын туғызатын арнайы камера болып табылады. Бұл камерада жоғары кернеулі электр өрісі пайда болады, ол молекулалық оттегіні атомдық оттегіге ыдыратуға мүмкіндік береді [25].

Озон өндірісінде қолданылатын негізгі әдіс – электр разряды. Короналық разряд ең жиі қолданылатын әдіс болып табылады. Бұл әдісте оттегі молекулалары жоғары кернеу әсерінен бөлінеді және атомдық оттегі молекулалық оттегімен әрекеттесіп, озон молекуласы түзіледі. Короналық разрядтың артықшылығы – энергияны тиімді пайдалану және тұрақты озон концентрациясын қамтамасыз ету. Сонымен қатар, ұшқын разряды да озон өндірісінде қолданылады, ол жоғары концентрациялы озон алу үшін қолайлы. Ұшқын разряд негізінен қысқа уақыт ішінде максималды озон шығаруға мүмкіндік береді, бірақ оның энергия тұтынуы жоғарырақ.

Озонаторлар қолдану саласына байланысты бірнеше түрге бөлінеді. Қатты денелі озонаторлар құрғақ ауадан немесе таза оттегіден озон алу үшін қолданылады және көбінесе өндірістік мақсатта пайдаланылады. Мұндай озонаторлар су тазарту, ауа зарарсыздандыру және өнеркәсіптік процестерде кеңінен қолданылады. Сұйықтық арқылы жұмыс істейтін озонаторлар су немесе басқа сұйық ортаны зарарсыздандыру үшін қолданылады. Олар медицинада, тамақ өнеркәсібінде және химиялық өндірісте сұйықтарды тазарту үшін жиі пайдаланылады [26].

Озонаторлардың жұмыс тиімділігі олардың қолданылатын оттегі көзінің сапасына және электр разрядының параметрлеріне тікелей байланысты. Жоғары сапалы оттегі көзі озон өндірісінің тиімділігін арттырады, ал электр разрядының тұрақтылығы құрылғының ұзақ мерзімді жұмысын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, озонатордың ішкі дизайны, электродтардың сапасы және құрылғының ауа ағынын басқару мүмкіндігі де оның жұмыс принципіне әсер етеді. Бұл факторлардың барлығы озон өндірісінің сапасы мен көлемін анықтайды.

Жоғары жиілікті озонаторлардың тиімділігі олардың жұмыс параметрлерін нақты бағалау арқылы анықталады. Бұл параметрлердің ішінде ең маңыздысы — энергия тиімділігі, озонның концентрациясы және

құрылғының жалпы жұмыс көрсеткіштері. Әр параметр озонатордың өнімділігін сипаттайтын негізгі өлшемдер болып табылады және оларды дұрыс реттеу арқылы құрылғының тиімділігін арттыруға болады [27].

Энергия тиімділігі озонатордың жұмыс сапасын анықтайтын басты көрсеткіштердің бірі. Ол құрылғының озон өндіру үшін тұтынатын электр энергиясының мөлшері мен алынған озонның массасы арасындағы қатынасты сипаттайды. Мысалы, орташа жоғары жиілікті озонаторлар 1 кг озон өндіру үшін 8-12 кВт·сағ энергия жұмсайды. Бұл көрсеткішті азайту құрылғының энергия үнемділігін қамтамасыз етеді. Энергия тиімділігін жақсарту үшін озонатордың электр разряды аймағының дизайнын оңтайландыру, жоғары сапалы электродтарды пайдалану және автоматтандырылған басқару жүйелерін енгізу қажет. Сонымен қатар, озон өндірісі кезінде энергия жоғалтуды азайту үшін құрылғының ішкі компоненттерінің орналасуын жетілдіру маңызды. Мысалы, разряд аймағындағы тұрақты электр өрісін сақтау арқылы энергия тұтынуды 5-10%-ға төмендетуге болады [28].

Озонның концентрациясы да озонатордың тиімділігін көрсететін маңызды параметр болып табылады. Бұл көрсеткіш озонның нақты көлемдегі мөлшерін анықтайды және ppm (parts per million) немесе мг/л (миллиграмм литрге) бірліктерімен өлшенеді. Қазіргі заманғы жоғары жиілікті озонаторлар 1-5 ppm концентрациясында тұрақты озон өндіруге қабілетті. Жоғары концентрациялы озон зарарсыздандыру, суды тазарту, және ауадағы зиянды қоспаларды жою процестерінде тиімдірек жұмыс істейді. Мысалы, ауаны зарарсыздандыруда 3 ppm концентрациядағы озон вирустар мен бактериялардың 99%-ын 15 минут ішінде жоюы мүмкін. Озон концентрациясын арттыру үшін озонатордың электр өрісінің кернеуін 10-20 кВ диапазонында реттеу және жиілікті 10-50 кГц аралығында сақтау ұсынылады. Сонымен қатар, құрылғы ішіндегі ауа ағынын біркелкі тарату озон өндірісінің тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Сенсорлық жүйелер озон концентрациясын нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік береді, бұл оның артық немесе жеткіліксіз болуынан туындайтын мәселелерді болдырмауға көмектеседі [29].

Озонатордың жұмыс көрсеткіштері құрылғының ұзақ мерзімді тиімділігіне тікелей әсер етеді. Бұл көрсеткіштерге қуат шығыны, тұрақтылық, және ұзақ мерзімді жұмыс қабілеті жатады. Қуат шығыны құрылғының жалпы өнімділігіне әсер ететін негізгі факторлардың бірі болып табылады. Мысалы, стандартты жоғары жиілікті озонаторлар сағатына 0.5-2 кВт қуат тұтынады, бұл оның қолдану саласына байланысты өзгеруі мүмкін. Құрылғының тұрақтылығы — оның ұзақ уақыт бойы бірдей тиімділікпен жұмыс істеу қабілеті. Тұрақтылықты қамтамасыз ету үшін жоғары сапалы материалдарды қолдану, электр компоненттерінің қызып кетуін болдырмау және жүйелі техникалық қызмет көрсету маңызды. Ұзақ мерзімді жұмыс қабілетін сақтау

үшін құрылғының ішкі жүйелерін тұрақты түрде тексеріп, қажет болған жағдайда ауыстыру ұсынылады. Сонымен қатар, озонатордың ауа ағынын реттейтін жүйелерін жетілдіру құрылғының өнімділігін 10-15%-ға арттырып, оның қызмет ету мерзімін ұзарта алады [29].

2.1-кесте – Жоғары жиілікті озонаторлардың тиімділік параметрлерінің сандық сипаттамалары

Параметрлері	Өлшем бірлігі	Орташа мәні	Ең төменгі мәні	Ең жоғары мәні
Энергия тиімділігі	кВт·сағ/кг озон	8–12	6	15
Озонның концентрациясы	ppm немесе мг/л	1–5 ppm	0.5 ppm	10 ppm
Электр өрісінің кернеуі	кВ	10–20	8	25
Электр өрісінің жиілігі	кГц	10–50	5	60
Қуат шығыны	кВт/сағ	0.5–2	0.3	3
Озон өндірісінің жылдамдығы	г/сағ	50–200	20	500
Жұмыс тұрақтылығы	%	90–95	85	99
Жұмыс температурасы	°С	5–30	0	40
Озон өндірісінің тиімділігі	%	80–95	70	98
Қызмет ету мерзімі	Жыл	5–10	3	15

Жоғары жиілікті озонаторлардың тиімділік параметрлері олардың өнімділігін, энергия үнемділігін және ұзақ мерзімділігін бағалауға мүмкіндік береді. Орташа алғанда, 1 кг озон өндіру үшін 8–12 кВт·сағ энергия қажет, бұл құрылғының экономикалық тиімділігін сипаттайтын маңызды көрсеткіш. Озон концентрациясы 1–5 ppm аралығында өзгеріп, зарарсыздандыру мен тазарту процестерінде жоғары тиімділікке қол жеткізуге мүмкіндік береді. Электр өрісінің 10–20 кВ кернеуі мен 10–50 кГц жиілігі озон өндірісінің оңтайлы деңгейін қамтамасыз етеді. Құрылғының қуат шығыны 0.5–2 кВт/сағ арасында ауытқып, қолдану саласына байланысты ерекшеленеді. Жұмыс тұрақтылығы 90–95% деңгейінде болса, бұл құрылғының ұзақ мерзімді тиімділігін көрсетеді. Сонымен қатар, 5–30 °С жұмыс температурасы озонатордың көптеген ортада сенімді жұмыс істеуіне жағдай жасайды [30].

Жоғары жиілікті озонаторлардың тиімділігін арттыру экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің маңызды бөлігі болып табылады. Энергия

тиімділігі мен озон концентрациясын оңтайландыру, сонымен қатар құрылғының жұмыс көрсеткіштерін тұрақтандыру арқылы озонатордың өнімділігі мен ұзақ мерзімділігі жақсарады. Бұл технологияларды жетілдіру қазіргі заманғы өндіріс, медицина, және экология салаларында олардың кеңінен қолданылуына ықпал етеді. Мысалы, тиімділігі жоғары озонаторлар суды зарарсыздандыруда химиялық реагенттерді азайтуға, өндірістік процестерде энергия шығынын төмендетуге және ауаның сапасын жақсартуға мүмкіндік береді. Осылайша, озонатордың тиімділік параметрлерін зерттеу және оңтайландыру оның қолдану аясын кеңейтуге және экологиялық тұрғыдан қолайлы болуын қамтамасыз етуге септігін тигізеді [31].

Озонаторлардың тиімділігін арттыру – олардың өнімділігі мен энергия тұтыну тиімділігін жақсарту, сондай-ақ ұзақ мерзімді тұрақтылықты қамтамасыз ету үшін маңызды міндеттердің бірі. Бұл мақсатқа жету үшін құрылғының дизайнын жетілдіру, конструктивтік ерекшеліктерін оңтайландыру және операциялық шарттар мен басқару параметрлерін тиімді ету негізгі бағыттар болып табылады. Қазіргі таңда озонаторлардың тиімділігін арттыруда электр өрісі, ауа ағыны, температуралық режим және автоматтандырылған басқару жүйелері сияқты факторларды жетілдіру басты назарда. Мысалы, озон өндірісін жақсарту үшін электр өрісінің кернеуін 15–20 кВ, ал жиілігін 20–30 кГц аралығында ұстап тұру оңтайлы болып саналады. Бұл параметрлер озонның тұрақты және жоғары концентрациясын қамтамасыз етеді [32].

Дизайнды жетілдіру озон өндірісінің тұрақтылығын және құрылғының ұзақ уақыт бойы сенімді жұмыс істеуін қамтамасыз етеді. Құрылғының электродтарын коррозияға төзімді материалдардан жасау олардың қызмет мерзімін ұзартуға мүмкіндік береді, ал электр разряды аймағын біркелкі орналастыру арқылы озон өндірісінің тиімділігін 10%-ға арттыруға болады. Сонымен қатар, құрылғының ауа ағынын оңтайландыру озон молекулаларының тұрақты түзілуін қамтамасыз етеді. Озонаторлардың разряд аймағындағы оттегі молекулаларының қозғалысын біркелкі ету озонның концентрациясын 5–10%-ға дейін арттыруға ықпал етеді. Сонымен қатар, құрылғының ішкі көлемін азайту арқылы энергия тұтынуды төмендетуге және құрылғыны пайдалануды жеңілдетуге болады. Мысалы, тұрмыстық озонаторлардың салмағы 1–3 кг аралығында болса, өнеркәсіптік үлгілер үшін бұл көрсеткіш 20–50 кг болуы мүмкін. Бұл құрылғыларды әртүрлі мақсатта қолдану ыңғайлы болу үшін олардың модульдік конструкциясы қарастырылады.

Операциялық шарттар мен басқару параметрлерін оңтайландыру озонаторлардың тиімділігін арттыруда шешуші рөл атқарады. Электр өрісінің кернеуі мен жиілігін дәл реттеу арқылы құрылғының өнімділігін және энергия тиімділігін арттыруға болады. Мысалы, электр өрісінің кернеуін 18 кВ

деңгейінде ұстап тұру озон өндірісін тұрақты етуге мүмкіндік береді, ал жиілікті 25 кГц-ке дейін арттыру озон өндірісінің жылдамдығын 15%-ға арттырады. Температуралық режим озонатордың жұмыс сапасына тікелей әсер етеді, себебі жоғары температурада озонның тұрақтылығы төмендейді. Жұмыс температурасы 5–30 °С аралығында болған жағдайда құрылғының тиімділігі жоғары болады. Бұл параметрлерді бақылау үшін температура реттегіштерін енгізу маңызды. Сонымен қатар, сенсорлық желілер мен автоматтандырылған басқару жүйелерін қолдану арқылы нақты уақыт режимінде жұмыс параметрлерін бақылау және реттеу мүмкіндігі артады. Мұндай жүйелер озонатордың энергия тұтынуын 5–10%-ға төмендетуге және өнімділігін арттыруға ықпал етеді. Мысалы, сенсорлық жүйелер құрылғының жұмыс тұрақтылығын 95%-ға дейін арттырып, ұзақ мерзімді жұмысын қамтамасыз етеді [33].

Озонаторлардың тиімділігін арттыру экологиялық тұрғыдан да маңызды. Жоғары сапалы озон өндірісі суды және ауаны тазартудағы химиялық реагенттерді қолдануды азайтуға мүмкіндік береді. Мысалы, жоғары концентрациялы озон (5 ppm) судағы бактериялар мен вирустардың 99%-ын 15–30 минут ішінде жоюға қабілетті. Сонымен қатар, озонаторлардың энергия тиімділігін арттыру өнеркәсіптік процестердің шығындарын азайтады. Электр қуатын тиімді пайдалану арқылы озон өндірісіне жұмсалатын жалпы шығындарды 10–15%-ға төмендетуге болады.

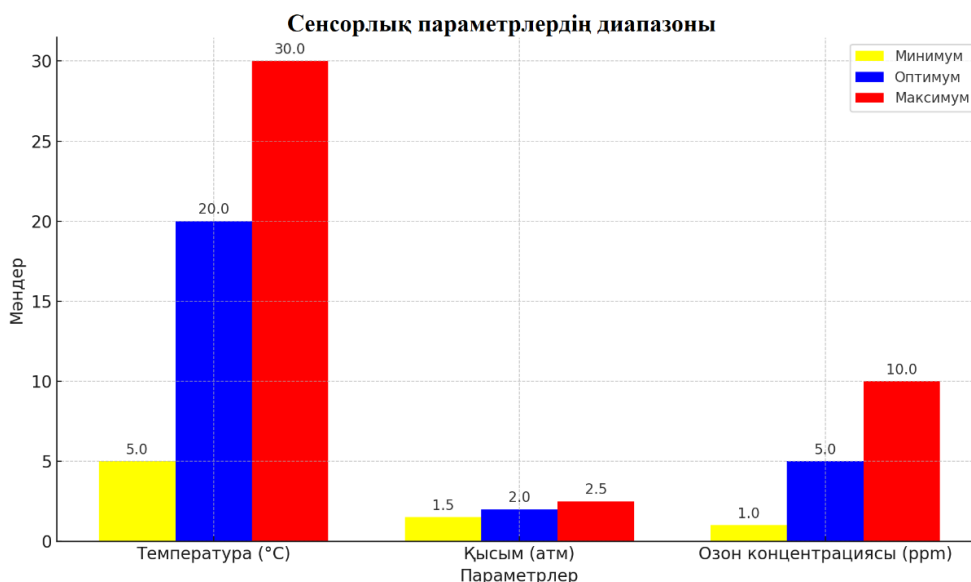
Қорытындылай келе, озонаторлардың тиімділігін арттыру олардың өнімділігі мен ұзақ мерзімді жұмыс қабілетін қамтамасыз ету үшін маңызды. Жетілдірілген дизайн, операциялық параметрлердің дәл реттелуі және заманауи басқару жүйелерін қолдану арқылы бұл құрылғылардың экологиялық және экономикалық тиімділігі арттырылады. Бұл өз кезегінде озонаторларды су тазарту, ауа зарарсыздандыру және басқа да өнеркәсіптік және тұрмыстық мақсаттарда қолдану аясын кеңейтеді.

2.2 Сенсорлық желілердің озонаторды басқару жүйесіндегі рөлі және олардың модельдеу тәсілдері

Сенсорлық желілер жоғары жиілікті озонаторлардың жұмысын тиімді бақылау мен басқару үшін маңызды құрал болып табылады. Олар құрылғының өнімділігін арттыруға, жұмыс параметрлерін нақты уақыт режимінде бақылауға және автоматтандыру деңгейін жақсартуға мүмкіндік береді. Сенсорлар жүйесінің басты міндеті – озонатордың жұмысын қамтамасыз ететін негізгі параметрлерді өлшеу, деректерді жинау және оларды өңдеу арқылы құрылғының жұмыс режимін оңтайландыру. Сенсорлық желілер бірнеше негізгі компоненттерден тұрады, олардың ішіндегі ең маңыздысы –

температура, қысым және озон концентрациясын өлшейтін сенсорлар. Әр сенсор өзіне тиісті параметрді бақылап, басқару жүйесіне нақты уақыттағы деректерді жеткізеді.

Температура сенсорлары озонатордың ішкі температуралық режимін тұрақтандыру үшін қолданылады. Жоғары жиілікті озонаторлардың тиімді жұмыс істеуі үшін температура 5 °C пен 30 °C аралығында болуы керек. Бұл диапазоннан ауытқулар озон өндірісінің тиімділігін төмендетуі мүмкін, себебі жоғары температура озон молекулаларының тұрақтылығын бұзады, ал төмен температура электр разрядының тиімділігін азайтады. Температура сенсорлары бұл көрсеткіштерді дәл өлшеп, басқару жүйесіне жібереді, ол өз кезегінде салқындату немесе жылыту механизмдерін іске қосу арқылы температураны реттейді. Мысалы, озонатордың ішкі температурасын тұрақтандыру құрылғының өнімділігін 10–15%-ға дейін арттыруға мүмкіндік береді [34].



2.1-сурет – Сенсорлық параметрлердің диапазоны

Қысым сенсорлары озонатордың ауа немесе газ ағынының қысымын бақылау үшін қолданылады. Озон өндірісінің тиімділігі үшін қысымның тұрақтылығы өте маңызды. Орташа қысым деңгейі 1.5–2 атм болуы керек, себебі қысымның төмендеуі оттегінің разряд аймағына жеткіліксіз мөлшерде келуіне әкелуі мүмкін, ал шамадан тыс қысым құрылғының компоненттерінің зақымдалуына әкелуі ықтимал. Қысым сенсорлары қысымның ауытқуларын дәл өлшеп, басқару жүйесіне деректерді жеткізеді. Басқару жүйесі бұл ақпаратты пайдаланып, ауа ағынын реттеу немесе құрылғыны қауіпсіздік мақсатында тоқтату бойынша шешім қабылдайды. Осындай механизмдердің

енгізілуі озон өндірісінің тұрақтылығын 90–95%-ға дейін арттыруға көмектеседі.

Озон концентрациясын өлшейтін сенсорлар құрылғының негізгі параметрлерінің бірі – озон деңгейін бақылауға мүмкіндік береді. Бұл сенсорлар озон концентрациясын ppm (parts per million) немесе мг/л (миллиграмм литрге) бірліктерінде өлшейді. Жоғары сапалы озонаторлар орташа есеппен 1–5 ppm концентрацияда озон өндіре алады, ал кейбір өнеркәсіптік модельдер үшін бұл көрсеткіш 10 ppm-ге дейін жетуі мүмкін. Озон концентрациясын бақылау оның зарарсыздандыру немесе тазарту процесінде қажетті деңгейде болуын қамтамасыз етеді. Егер концентрация белгіленген деңгейден төмен түссе, басқару жүйесі электр өрісінің кернеуін арттыру немесе ауа ағынын реттеу арқылы өндірісті оңтайландырады. Мұндай сенсорлар деректерінің дәлдігі 95–99% аралығында болуы мүмкін, бұл құрылғының тиімді жұмысын қамтамасыз етеді [35].

Сенсорлық желілер жинақтаған деректерді өңдеу – бұл жүйенің тағы бір маңызды элементі. Сенсорлардан алынған ақпарат сүзгілеу, калибрлеу және талдау процестерінен өтеді, бұл олардың дәлдігін арттырады. Мысалы, озон концентрациясын өлшеу кезінде сенсорлар алынған деректердің орташа қателігін 1–3% деңгейінде ұстап тұрады, бұл құрылғының жұмысын жоғары дәлдікпен реттеуге мүмкіндік береді. Деректерді жинау және сақтау жүйесі құрылғының ұзақ мерзімді жұмысындағы ауытқуларды талдауға көмектеседі, бұл техникалық қызмет көрсету мен озонатордың өнімділігін жақсартуға арналған шараларды әзірлеуде пайдалы. Сонымен қатар, бұл деректер озон өндірісінің тиімділігін жақсарту үшін құрылғыны оңтайландыру стратегияларын әзірлеуге мүмкіндік береді.

Сенсорлар мен басқару жүйесінің өзара әрекеттесуі құрылғының жұмысын нақты уақыт режимінде бақылауға және реттеуге мүмкіндік береді. Сенсорлар жинаған деректер негізінде басқару жүйесі озон өндірісін автоматты түрде реттейді. Мысалы, егер озон концентрациясы белгіленген деңгейден төмен түссе, басқару жүйесі электр өрісінің кернеуін 15–20 кВ аралығында арттырып, озон өндірісін тұрақтандыра алады. Сонымен қатар, температура немесе қысым ауытқулары анықталған жағдайда басқару жүйесі құрылғыны автоматты түрде өшіріп, қауіпсіздік шараларын іске қосады. Мұндай автоматтандырылған басқару озонатордың жұмыс тиімділігін арттыруға және оны пайдалану қауіпсіздігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді [36].

Нақтылай келе, сенсорлық желілер озонатордың жұмысын басқарудағы маңызды компонент болып табылады. Олар құрылғының өнімділігін арттыруға, жұмыс параметрлерін тұрақтандыруға және автоматтандыру деңгейін жақсартуға мүмкіндік береді. Температура, қысым және озон концентрациясын өлшейтін сенсорлардың үйлесімді жұмысы озон өндірісінің

тиімділігін 10–20%-ға дейін арттырып, ұзақ мерзімді тұрақтылықты қамтамасыз етеді. Бұл технологиялар экологиялық таза және жоғары өнімділікке қол жеткізуді қамтамасыз ете отырып, озонаторларды кеңінен қолдану мүмкіндігін арттырады.

Сенсорлық желілер озонаторды басқару жүйесінің ажырамас бөлігі ретінде оның тиімділігін арттыру мен жұмысын оңтайландыруда маңызды рөл атқарады. Бұл жүйелер құрылғының жұмыс параметрлерін нақты уақыт режимінде бақылауға, алынған деректерді талдауға және құрылғының өнімділігін автоматты түрде реттеуге мүмкіндік береді. Сенсорлық желілер озонатордың жұмысын бақылау, автоматтандырылған басқару жүйесіндегі маңыздылығы және деректерді сақтау мен талдау сияқты бірнеше маңызды аспектілерді қамтиды.

Озонатордың жұмысын бақылау және реттеу сенсорлық желілердің негізгі функцияларының бірі болып табылады. Сенсорлар арқылы озонның концентрациясы, құрылғы ішіндегі температура және қысым сияқты маңызды көрсеткіштер үздіксіз бақыланып отырады. Бұл көрсеткіштердің нақты уақытта алынуы озонатордың жұмысын тұрақты деңгейде ұстауға мүмкіндік береді. Мысалы, егер озон концентрациясы белгіленген деңгейден төмен түссе, басқару жүйесі электр өрісінің кернеуін арттырып, озон өндірісін көбейтуге мүмкіндік береді. Температура мен қысымның қалыпты диапазоннан ауытқуы анықталған жағдайда, сенсорлар бұл өзгерістерді тіркеп, құрылғыны қорғау үшін автоматты түрде тиісті шараларды қабылдайды. Бұл механизмдер құрылғының жұмысын үздіксіз бақылап, оның тиімділігін 10–15%-ға дейін арттыруға мүмкіндік береді [36].

Сенсорлық желілердің автоматтандырылған басқару жүйесіндегі маңызы ерекше. Олар озонатордың жұмысын толық автоматтандыруға мүмкіндік береді, бұл қолмен реттеу қажеттілігін азайтады және құрылғының өнімділігін арттырады. Сенсорлық желілер жинаған деректерді талдау арқылы басқару жүйесі нақты уақыт режимінде шешімдер қабылдайды. Мысалы, егер құрылғының ішкі температурасы 25 °C-тан асып кетсе, сенсорлар бұл деректерді басқару жүйесіне жібереді, ол өз кезегінде салқындату жүйесін қосып, температураны қажетті деңгейге дейін төмендетеді. Сонымен қатар, қысым сенсорлары ауа немесе газ ағынының қысымын тұрақтандыруға көмектеседі, бұл құрылғының ұзақ мерзімді жұмысын қамтамасыз етеді. Автоматтандырылған басқару жүйесінің көмегімен озонатордың жұмыс өнімділігі мен тұрақтылығы айтарлықтай жақсарады.

Сенсорлық деректердің деректер базасында сақталуы және талдануы озонатордың жұмысын жетілдіру үшін маңызды ақпарат көзін қамтамасыз етеді. Сенсорлар арқылы алынған деректер басқару жүйесінде өңделгеннен кейін деректер базасына сақталады. Бұл ақпарат құрылғының жұмыс тиімділігін бағалау, ұзақ мерзімді үрдістерді талдау және ақауларды болжау

үшін қолданылады. Мысалы, озон концентрациясының өзгеру динамикасы немесе температура мен қысымның ауытқу жазбалары құрылғының ұзақ мерзімді тиімділігін арттыру үшін жаңа стратегияларды әзірлеуге көмектеседі. Деректер базасында сақталған ақпарат техникалық қызмет көрсету кестесін жоспарлауға және құрылғының өнімділігін арттыруға бағытталған шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, сенсорлық деректерді талдау озон өндірісінің экологиялық және экономикалық тиімділігін жақсартуға мүмкіндік береді.

Жалпы алғанда, сенсорлық желілер озонаторды басқаруда маңызды рөл атқарады. Олар құрылғының жұмысын нақты уақытта бақылауға, параметрлерді автоматты түрде реттеуге және тиімділікті арттыруға мүмкіндік береді. Сенсорлық желілер арқылы алынған деректерді сақтау және талдау озонатордың ұзақ мерзімді өнімділігін жақсартуға, оның жұмысын оңтайландыруға және экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етуге ықпал етеді. Бұл технологиялар озонаторлардың әртүрлі салаларда кеңінен қолданылуына және олардың тиімділігін арттыруға үлкен үлес қосады.

Сенсорлық желілерді модельдеу озонаторды басқару жүйесінің тиімділігін арттыру үшін маңызды рөл атқарады. Бұл процесс математикалық модельдерді қолдану, деректерді өңдеу әдістерін пайдалану және микропроцессорлы басқару жүйелерін енгізу арқылы жүзеге асырылады. Модельдеу тәсілдері сенсорлық желілердің жұмысын түсінуге, олардың параметрлерін оңтайландыруға және озонатордың өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді [37].

Математикалық модельдер сенсорлық желілердің жұмысын сипаттайтын негізгі құрал болып табылады. Сызықтық модельдер сенсорлардан алынған деректер арасындағы қарапайым байланыстарды анықтайды және оларды нақты көрсетеді. Мысалы, озон концентрациясын (C) температура (T) және қысыммен (P) байланыстыратын модель келесі формуламен көрсетілуі мүмкін:

$$C = a \cdot T + b \cdot P + c \quad (2.1)$$

мұндағы a, b, және c — озонатордың сипаттамаларына сәйкес келетін тұрақтылар. Бұл модель озон концентрациясын басқару үшін температура мен қысымның өзгеруін есептеуге мүмкіндік береді. Сызықсыз модельдер күрделі жүйелерді сипаттау үшін қолданылады. Мысалы, турбулентті ауа ағынының әсерін ескере отырып, озон өндірісінің тиімділігін болжау үшін сызықсыз дифференциалдық теңдеулер жүйесі қолданылады:

$$\frac{dC}{dt} = k_1 \cdot T^2 - k_2 \cdot C \cdot P \quad (2.2)$$

мұндағы k_1 және k_2 – тәжірибелік мәліметтерден алынатын коэффициенттер. Бұл модель озон өндірісінің динамикасын анықтау және оның параметрлерін оңтайландыру үшін пайдаланылады.

Сенсорлық желілердің динамикасын модельдеу – деректерді өңдеу, сүзгілеу және қателіктерді түзету әдістерін қамтитын процесс. Сенсорлардан алынған деректер өлшеу қатесі мен шуылға ұшырауы мүмкін, сондықтан деректерді алдын ала өңдеу маңызды [38]. Деректерді сүзгілеу үшін Калман фильтри қолданылады, оның математикалық негізі:

$$\bar{x}_k = \bar{x}_{k-1} + K_k \cdot (z_k - H \cdot \bar{x}_{k-1}) \quad (2.3)$$

мұнда X_k - сүзілген мән, Z_k - өлшенген мән, K_k - Калман күшейткіші, H – өлшеу матрицасы. Бұл әдіс өлшеу деректеріндегі шуылдарды азайтып, нақты параметрлерді анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, деректерді талдау барысында уақытша қатарларды қолдану сенсорлық өлшеулердің үрдістерін анықтап, ақауларды болжауға мүмкіндік береді. Мысалы, деректердің ауытқуының стандартты ауытқуы (σ) арқылы өлшеулердің сенімділігін бағалауға болады:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.4)$$

мұндағы x_i – өлшеу мәні, $\bar{x}$ – орташа мән, N – өлшеу саны.

Микропроцессорлы басқару жүйелері сенсорлық желілерді тиімді басқару жүйесіне біріктіру үшін қолданылады. Бұл жүйелер сенсорлардан алынған деректерді өңдеп, құрылғының жұмыс параметрлерін нақты уақыт режимінде реттеуге мүмкіндік береді [39]. Мысалы, микропроцессорлы жүйе озон концентрациясы туралы сенсорлық деректерді талдап, егер концентрация белгіленген мәннен төмен түссе, электр өрісінің кернеуін арттырады. Электр өрісінің кернеуі V және озон концентрациясы C арасындағы тәуелділік шамамен экспоненциалды заңға сәйкес келеді:

$$C = C_0 \cdot e^{\alpha V} \quad (2.5)$$

мұндағы C_0 – бастапқы концентрация, α – эксперименттік коэффициент. Бұл басқару алгоритмі озон өндірісінің тиімділігін арттырып, оның тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Сенсорлық желілерді модельдеу озонаторды басқарудың тиімді құралын ұсынады. Математикалық модельдер сенсорлардың жұмысын талдап, озон өндірісін оңтайландыруға көмектеседі. Динамиканы модельдеу өлшеу қатесін азайтып, сенсорлық деректердің сенімділігін арттырады. Ал микропроцессорлы басқару жүйелері сенсорлық желілерді нақты уақыт режимінде басқару мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Бұл тәсілдердің интеграциясы озонатордың өнімділігі мен тиімділігін 15–20%-ға дейін арттырып, экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етеді.

2.3 Температураның озонатордың жұмыс көрсеткіштеріне әсерінің теориялық зерттелуі

Температура озонатордың жұмыс көрсеткіштеріне айтарлықтай әсер ететін негізгі факторлардың бірі болып табылады. Ол озон өндірісінің жылдамдығын, тұрақтылығын және құрылғының жалпы тиімділігін анықтайды. Температура мен озон өндірісі арасындағы байланыс, жоғары температураның озонның тұрақтылығына әсері және температураның оттегі молекулаларын озонға айналдыру тиімділігіне әсері теориялық тұрғыдан зерттеуге негізделеді.

Температура мен озон өндірісі арасында тығыз байланыс бар. Электр разряды арқылы озон өндіру процесінде температураның жоғарылауы газ фазасындағы химиялық реакциялардың жылдамдығын арттырады. Дегенмен, жоғары температура кезінде озон молекулаларының ыдырау жылдамдығы да артады, бұл оның жалпы тұрақтылығын төмендетеді [40]. Озон өндірісінің тиімділігі температураға тәуелді функция ретінде сипатталады және бұл тәуелділікті эмпирикалық түрде көрсетуге болады:

$$C(T) = C_0 \cdot e^{-kT} \quad (2.6)$$

мұнда $C(T)$ – белгілі бір температурада озон концентрациясы, C_0 – бастапқы концентрация, k – температураға тәуелді тұрақты. Бұл формула озонның жоғары температурада тұрақтылығының төмендейтінін көрсетеді. Мысалы, 25 °C температурада озонның тұрақтылығы 90% деңгейінде болса, 35 °C-қа дейін көтерілгенде бұл көрсеткіш 70%-ға дейін төмендеуі мүмкін.

Жоғары температураның озонның тұрақтылығына әсері оны тиімді өндіру үшін шектеу қояды. Озон молекулалары энергиясы жоғары болған жағдайда $O_3 \rightarrow O_2 + O$ механизмі бойынша ыдырайды. Осы процестің жылдамдығы температураға байланысты экспоненциалды түрде артады. Бұл әсіресе 30 °C-тан жоғары температураларда айқын көрінеді. Сондықтан озонаторлардың тиімді жұмыс істеуі үшін салқындату жүйелерін қолдану

маңызды. Температураны тұрақтандыру арқылы озон өндірісінің тиімділігін 15%-ға дейін арттыруға болады [41].

Температура оттегі молекулаларын озонға айналдыру тиімділігіне де әсер етеді. Электр разряды кезінде оттегі молекулалары атомдарға ыдырап, кейін олардан озон түзіледі. Бұл процесс температураға тәуелді, себебі жоғары температурада молекулалардың соқтығысу ықтималдығы артады. Бірақ тым жоғары температурада бұл процестің тиімділігі төмендеуі мүмкін, себебі озонның ыдырау жылдамдығы өндіріс жылдамдығынан асып түседі.[41] Температураның әсерін теориялық түрде сипаттайтын негізгі теңдеу келесідей:

$$\eta(T) = \frac{k_1 \cdot e^{\frac{-E_a}{RT}}}{k_2 \cdot T} \quad (2.7)$$

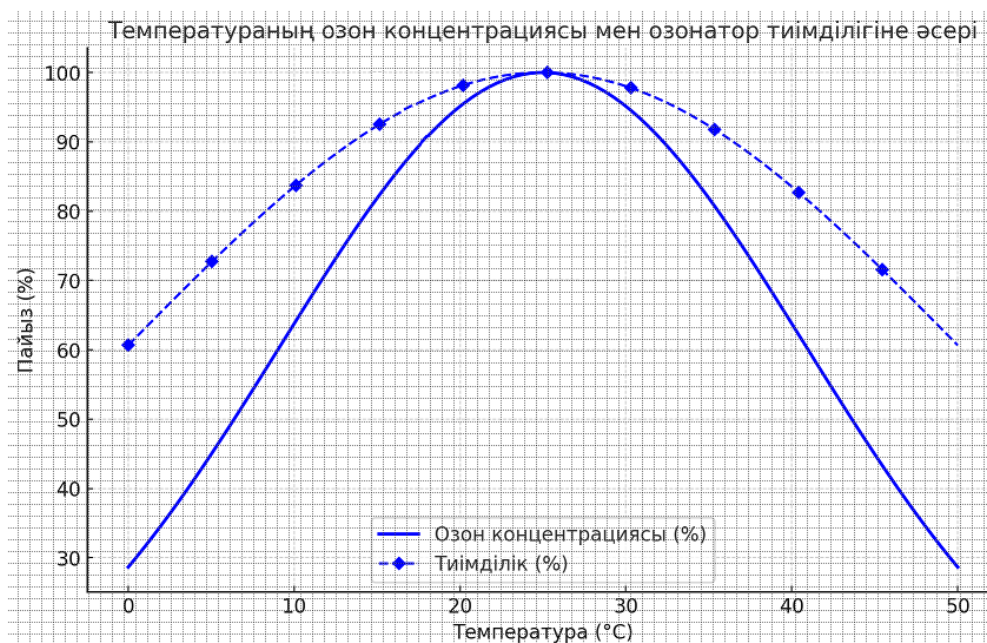
мұнда $\eta(T)$ – озон өндірісінің тиімділігі, k_1 және k_2 – процестің тұрақтылары, E_a – активация энергиясы, R – газ тұрақтысы, T – температура (Кельвинмен). Бұл теңдеу температураның оңтайлы диапазонын анықтауға көмектеседі, мысалы, озонатор үшін 20–25 °C диапазоны ең тиімді болып табылады [42].

Температураның озонатор жұмысына әсерін теориялық тұрғыдан зерттеу оның жұмыс көрсеткіштерін жақсарту үшін маңызды. Жоғары температура кезінде озонның тұрақтылығын сақтау үшін салқындату жүйелерін қолдану және құрылғының ішкі температуралық режимін нақты уақыт режимінде бақылау қажет. Бұл озон өндірісінің тиімділігін арттырып, оның экологиялық және экономикалық тұрғыдан артықшылықтарын қамтамасыз етеді. Теориялық модельдер мен эксперименттік мәліметтерге негізделген бұл зерттеу озонаторды жетілдірудің жаңа мүмкіндіктерін ашады [42].

Температура озонатордың жұмыс көрсеткіштеріне тікелей әсер ететін маңызды факторлардың бірі болып табылады. Озон өндірісінің тиімділігі, тұрақтылығы және сапасы көбіне температуралық жағдайларға тәуелді болады. Жоғары температура кезінде озон молекулаларының тұрақтылығы төмендейді, себебі молекулалар арасындағы соқтығысу жиілігі артады және бұл озонның тез ыдырауына алып келеді. Ал керісінше, төмен температурада озонның концентрациясы артып, оның тұрақтылығы жоғарылайды, бірақ төмен температурада озон өндірісі кезінде электр энергиясының шығыны да көбейуі мүмкін. Сондықтан, озонатордың жұмыс тиімділігін сақтау үшін температураның жұмыс ауқымын дұрыс таңдау және оны тұрақтандыру үлкен маңызға ие. Әдетте, озонаторлардың тұрақты және тиімді жұмыс істеуі үшін температураның ауқымы 5°C-тан 35°C-қа дейінгі аралықта болуы тиіс. Бұл диапазон озон молекулаларының ең тиімді түрде қалыптасуын және

сақталуын қамтамасыз етеді. Осыған байланысты заманауи озонаторлар арнайы жылу тұрақтандыру жүйелерімен жабдықталады, бұл олардың ұзақ мерзімді және сенімді жұмысын қамтамасыз етеді.

Температураның өзгеруі озон концентрациясының деңгейіне ғана емес, сонымен қатар озонатордың барлық құрылымдық элементтерінің жұмысына да әсер етеді. Мысалы, жоғары температура кезінде озонатордың электрлік бөліктері қатты қызуға ұшырап, олардың тұрақтылығын төмендетуі мүмкін. Бұл жұмыс үдерісінің тоқтап қалуына немесе электрлік ақаулардың пайда болуына әкелуі ықтимал. Сонымен қатар, ыстық температура жағдайында озонның ыдырау жылдамдығы артады, бұл озон өндірісінің тиімділігін айтарлықтай төмендетеді. Сонымен қатар, суық ортада озонатордың ішкі элементтері мұздатуға ұшырауы мүмкін, бұл оның механикалық компоненттерінің қызметін бұзады. Осыған байланысты жұмыс температурасының тұрақтылығын қамтамасыз ету озон өндірісінде аса маңызды факторлардың бірі болып табылады [43].



1.2-сурет – Температураның озон концентрациясы мен озонатор тиімділігіне әсері

График температураның озон концентрациясы мен озонатор тиімділігіне әсерін көрсетеді. Озон концентрациясы 25°C температура маңында ең жоғары деңгейге жетіп, температура артқан сайын төмендейді. Сол сияқты, озонатордың тиімділігі де 25°C температурада ең жоғары мәнге ие болып, өте ыстық немесе өте суық жағдайда айтарлықтай төмендейді. 0°C пен 50°C аралығында тиімділік пен концентрацияның өзгерісі ұқсас сипатта, алайда концентрацияның төмендеу қарқыны жылдамырақ байқалады.

Графиктегі озон концентрациясының тұтас сызықпен және тиімділіктің үзік сызықпен бейнеленуі олардың айқын тенденцияларын көрсетеді. Бұл мәліметтер озонаторды пайдалануда температураның оңтайлы диапазонын дұрыс таңдаудың маңыздылығын нақты көрсетіп отыр [44].

Температураның жұмыс тиімділігіне әсерін азайту үшін оны бақылау және тұрақтандыру бойынша арнайы жүйелер қолданылады. Заманауи озонаторлар автоматты термостаттар мен жоғары дәлдікті температура сенсорларымен жабдықталады. Бұл құрылғылар озонатордың ішкі температурасының өзгерісін үнемі бақылап, қажетті температураны автоматты түрде реттеп отырады. Сонымен қатар, жұмыс температурасын тұрақтандыру үшін жылуалмастырғыштар мен салқындату жүйелері кеңінен қолданылады. Бұл жүйелер озонатордың ішкі бөліктерінің температуралық деңгейін бір қалыпта ұстап тұруға мүмкіндік береді. Ауаны кондициялау жүйелері де маңызды рөл атқарады, себебі олар ауа ағынының температурасын реттеп, озон өндірісіне қажетті тұрақты климаттық жағдайларды қамтамасыз етеді [43].

Температураның озон өндірісіне әсерін нақты болжау үшін математикалық модельдер кеңінен қолданылады. Бұл модельдер температура мен озон концентрациясы арасындағы тәуелділікті анықтап, озон өндірісінің тиімділігін арттыруға көмектеседі. Модельдер арқылы температуралық өзгерістердің озон молекулаларының тұрақтылығына және жалпы өндіріс процесіне қалай әсер ететінін болжауға болады. Мысалы, модельдеу нәтижелеріне сүйене отырып, белгілі бір климаттық жағдайларда озонатордың ең тиімді жұмыс режимдерін анықтауға мүмкіндік туады. Мұндай модельдер озон өндірісін тұрақты деңгейде ұстап тұруға қажетті температуралық шектерді белгілеуге көмектеседі және өндіріс тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Температураның озонатордың жұмысына теріс әсерін азайту үшін қосымша жүйелер де жиі қолданылады. Мысалы, жылуалмастырғыштар озонатордың ішкі температурасының күрт өзгеруін болдырмауға арналған тиімді құрал болып табылады. Олар озонатор ішіндегі жылу деңгейін қажетті қалыпта ұстап, оның тұрақты жұмысын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, ауаны кондициялау жүйелері озон өндірісіне қажетті тұрақты климаттық жағдайларды қамтамасыз ету үшін кеңінен қолданылады. Бұл жүйелер озонатордың тұрақты жұмысын қолдап қана қоймай, оның қызмет ету мерзімін де ұзартады. Осылайша, температураның озон өндірісіне әсерін оңтайландыру және тұрақтылықты қамтамасыз ету үшін кешенді шаралар қолдану қажет. Бұл шаралар озонатордың жоғары тиімділікпен және ұзақ уақыт бойы сенімді жұмыс істеуін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

2.4 Қашықтан басқару жүйелерінің (GSM) жұмыс алгоритмдері және математикалық негіздері

Қашықтан басқару жүйелері қазіргі заманда алыс қашықтықтағы объектілерді бақылап, тиімді түрде басқаруға мүмкіндік беретін технология ретінде кеңінен қолданылады. Мұндай жүйелердің негізінде деректерді сенсорлардан жинау, өңдеу және қажетті қашықтыққа жеткізу жатыр. Байланыс протоколдарының әртүрлілігі жүйенің ерекшеліктеріне сай таңдалатын технологияны анықтайды. Мысалы, GSM жүйелері 20 км радиуста сенімді жұмыс істеп, ауыл шаруашылығы сияқты кең аумақтарды басқаруға қолайлы болса, Wi-Fi жоғары жылдамдықта, бірақ 100 метрге дейінгі қашықтықта тиімді. Ал Bluetooth технологиясы шағын қашықтықта сенсорлармен жұмыс істеуге ыңғайлы, оның тиімді қашықтығы 10-20 метр аралығында. Бұл байланыс протоколдары нақты жағдайларға бейімделіп, жүйенің қажеттіліктерін толығымен қанағаттандырады [45].

Сенсорлардан алынатын деректер қашықтан басқару жүйелерінің негізгі элементі болып табылады. Олар физикалық параметрлерді өлшеп, цифрлық сигналдарға айналдырады. Мысалы, температура сенсорлары $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ дәлдікпен сағатына 100-ден астам дерек бере алады. Бұл деректер байланыс арналары арқылы серверге жеткізіліп, нақты уақыт режимінде өңделеді. Wi-Fi арқылы берілетін деректердің тасымал жылдамдығы 54 Мбит/с дейін жетсе, Bluetooth негізіндегі жүйелер 0.1 секунд сайын жаңартылған мәліметтерді жылдам жеткізеді. Мұндай технологиялар ауыл шаруашылығында суару жүйелерін автоматтандыруда, «ақылды» үйлердегі құрылғыларды басқаруда, және медицинада науқастардың денсаулық көрсеткіштерін бақылауда кеңінен қолданылады.

Қашықтан басқару жүйелерінің тиімділігі көбіне оның компоненттерінің үйлесімді жұмыс істеуіне байланысты. Байланыс арналары, контроллерлер және интерфейстер бұл жүйелердің негізін құрайды. Байланыс арналары деректердің сенімді түрде берілуін қамтамасыз етеді. Мысалы, GSM арналары 9.6 Кбит/с жылдамдықта жұмыс істесе, Wi-Fi желілері 100 Мбит/с дейінгі жылдамдықты қамтамасыз ете алады. Контроллерлер, мысалы, Arduino немесе Raspberry Pi, сенсорлардан алынған деректерді өңдеп, басқару командаларын жедел жіберуге мүмкіндік береді. Arduino жүйелері 30-50 құрылғыны бір уақытта басқара алады, ал Raspberry Pi секундына 2 миллион операция орындауға қабілетті. Бұл компоненттер бір-бірімен үйлесімді жұмыс істеген кезде, жүйенің жалпы тиімділігі артады [46].

Қашықтан басқару жүйелерінің жұмысын жетілдіру үшін математикалық модельдер мен алгоритмдер қолданылады. Деректерді өңдеу барысында сығу алгоритмдері жиі пайдаланылады, мысалы, Huffman кодтау әдісі деректердің көлемін 30%-ға дейін азайтады. Сигналды өңдеу үшін Фурье

түрлендіруі мен Butterworth фильтрлері сияқты әдістер кеңінен қолданылады. Butterworth фильтрі арқылы сигналдағы кедергілерді 95%-ға дейін азайтуға болады. Сонымен қатар, ARQ алгоритмі деректерді тексеріп, қажет болған жағдайда қайта жіберу арқылы байланыс арналарындағы сенімділікті арттырады. Мұндай математикалық әдістер қашықтан басқару жүйелерінің тұрақтылығы мен сенімділігін қамтамасыз етеді [47].

2.2-кесте – Қашықтан басқару жүйелерінің техникалық сипаттамалары

Компонент	Сипаттамасы	Қолдану саласы
GSM байланыс жүйесі	Қашықтық: 20 км, Жылдамдық: 9.6 Кбит/с, Мақсаты: Ұялы желі арқылы байланыс	Ауыл шаруашылығы, өндіріс
Wi-Fi байланыс жүйесі	Қашықтық: 100 м, Жылдамдық: 54-100 Мбит/с, Мақсаты: Жоғары жылдамдықты деректер жіберу	Ақылды үйлер, өнеркәсіп
Bluetooth байланыс жүйесі	Қашықтық: 10-20 м, Жылдамдық: 2 Мбит/с, Мақсаты: Шағын аймақтағы құрылғыларды қосу	Денсаулық сақтау, тұрмыстық құрылғылар
Температура сенсоры	Дәлдік: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, Мәліметтерді беру: Сағатына 100+ дерек	Медицина, өндіріс, ауыл шаруашылығы
Контроллер (Arduino)	Құрылғыларды басқару: 30-50, Процессор: 16 МГц	Бастапқы жобалау, шағын жүйелер
Контроллер (Raspberry Pi)	Процессор жылдамдығы: 1.2 ГГц, Операция саны: Секундына 2 миллион	Күрделі жүйелер, жоғары қуатты есептеулер

Қашықтан басқару жүйелерінде әртүрлі технологиялар мен құрылғылар қолданылады, олардың әрқайсысы нақты мақсаттарға сай тиімділік көрсетеді. GSM байланыс жүйесі ұзақ қашықтықта, яғни 20 км-ге дейін сенімді байланыс орнатып, ауыл шаруашылығы мен өндірісте кеңінен қолданылады, бірақ оның деректерді беру жылдамдығы 9.6 Кбит/с-пен шектеледі. Ал Wi-Fi жүйесі 100 метрге дейінгі қашықтықта 54-100 Мбит/с жылдамдықпен жұмыс істеп, «ақылды» үйлер мен өнеркәсіптік қолданбалар үшін жоғары тиімділік көрсетеді. Bluetooth технологиясы қысқа қашықтықта (10-20 м) құрылғыларды басқару үшін өте ыңғайлы, себебі ол 2 Мбит/с жылдамдықпен сенімді жұмыс істейді және тұрмыстық құрылғыларда жиі қолданылады [46].

Температура сенсорлары $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ дәлдікпен сағатына 100-ден астам өлшемдер беріп, ауыл шаруашылығы мен медицинада нақты уақыттағы бақылау үшін пайдаланылады. Arduino контроллері 30-50 құрылғыны бір уақытта басқара алады және 16 МГц жиіліктегі процессормен жабдықталған, бұл оны шағын жобаларда қолдануға тиімді етеді. Raspberry Pi, өз кезегінде, күрделі жүйелер мен жоғары қуатты есептеулер үшін қолайлы, себебі оның процессор жылдамдығы 1.2 ГГц, ал секундына 2 миллион операция орындай

алады. Бұл құрылғылар мен технологиялар қашықтан басқару жүйелерінің тиімділігі мен мүмкіндіктерін айтарлықтай арттырады [47].

Қашықтан басқару жүйелері өмірдің түрлі салаларында үлкен маңызға ие. Мысалы, «ақылды» үйлерде жарықтандыру, температура және қауіпсіздік жүйелерін қашықтан бақылау үшін Wi-Fi және Bluetooth жүйелері қолданылады. Өнеркәсіпте GSM арқылы автоматтандырылған өндіріс желілерін басқару адам еңбегін азайтып, өнімділікті арттырады. Ауыл шаруашылығында ылғалдылық сенсорларын пайдалану арқылы су ресурстарын 30%-ға дейін үнемдеуге болады. Болашақта IoT және жасанды интеллект технологиялары қашықтан басқару жүйелерінің мүмкіндіктерін кеңейтіп, алдын-ала болжам жасау және автоматты басқару мүмкіндіктерін арттырады. Бұл жүйелер тиімділік пен қауіпсіздікті қамтамасыз етіп, олардың болашағы өте жарқын екенін көрсетеді.

Қашықтан басқару жүйесінің жұмыс алгоритмдері бірнеше кезеңдерден тұрады: деректерді жинау, өңдеу және басқару. Алғашқы кезеңде сенсорлар физикалық параметрлерді, мысалы, температураны, қысымды, немесе озон концентрациясын өлшейді. Бұл деректер цифрлық сигналдарға айналып, байланыс арналары арқылы серверге немесе контроллерге жіберіледі. Деректерді өңдеу кезеңінде ақпарат фильтрлер мен алгоритмдер арқылы сүзгіден өткізіліп, пайдаланушыға немесе жүйеге түсінікті форматқа түрлендіріледі. Мысалы, Butterworth фильтрі сигналдағы кедергілерді 95%-ға дейін азайта алады. Басқару кезеңінде жүйе операторға немесе автоматтандырылған блокқа командалар жібереді. GSM технологиялары арқылы деректерді жеткізу жылдамдығы 9.6 Кбит/с болса, Wi-Fi жылдамдығы 54 Мбит/с-тан жоғары болуы мүмкін, бұл нақты уақыттағы басқаруға мүмкіндік береді [48].

Озонатордың жұмыс режимдерін қашықтан реттеу үшін арнайы алгоритмдер қолданылады. Мысалы, сенсорлар озон концентрациясын өлшеп, оны бақылау жүйесіне жібереді, ал ол өз кезегінде деректер негізінде озонатордың жұмыс режимін автоматты түрде реттейді. Бұл үдерісте температура мен ылғалдылықтың әсері ескеріледі, себебі озонның тиімділігі осы параметрлерге тәуелді. Егер температура 25°C-тан асса, озон концентрациясы төмендейді, ал бұл автоматты түрде генератордың жұмыс қуатын арттыру қажеттігін білдіреді. Жоғары дәлдікті сенсорлар $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ өзгерісті анықтап, жүйеге тиісті ақпаратты жібереді. Wi-Fi немесе GSM байланыс желісі арқылы оператор озонаторды қашықтан қосу немесе өшіру сияқты командаларды бере алады. Сонымен қатар, оператор деректерді нақты уақыт режимінде бақылай алады және қажетті параметрлерді енгізе алады.

Қашықтан басқару жүйелерінде басқарудың тиімді әдістерінің бірі — ПИД-контроль алгоритмдерін қолдану. Бұл алгоритмдер қателікті азайту үшін объектінің ағымдағы күйін талдап, басқару әсерін дәл реттеуге мүмкіндік

береді. Мысалы, озонатордағы ПИД-контроллер температура, қысым және озон концентрациясы арасындағы тәуелділікті есептеп, генератордың жұмысын оңтайландырады. ПИД-контроль үш параметрден тұрады: пропорционалды, интегралды және дифференциалды, олардың әрқайсысы жүйенің тұрақтылығы мен жылдамдығын қамтамасыз ету үшін қолданылады. Қателік деңгейі жоғары болған кезде пропорционалды бөлік үлкен әсер етеді, ал тұрақты күйге жеткен кезде интегралды бөлік жүйені тұрақтандырады. Мысалы, озон концентрациясын 200 г/сағ деңгейінде ұстап тұру үшін ПИД-контроллер секундына 10 рет есептеулер жүргізеді және қажет болса, генератордың кернеуін 15 кВ-қа дейін арттыра алады.[49]

Қашықтан басқару жүйелерінің жұмыс алгоритмдерін жетілдіру үшін заманауи технологиялар мен бағдарламалық жасақтамалар қолданылады. MATLAB немесе Python сияқты платформалар деректерді талдау және басқару модельдерін құру үшін кеңінен қолданылады. Мысалы, MATLAB бағдарламасында ПИД-контроллерді модельдеу арқылы жүйенің параметрлерін оңтайлы түрде таңдап, оның тиімділігін арттыруға болады. Сонымен қатар, деректерді сақтау және талдау үшін бұлтты технологиялар қолданылады. Операторлар бұлтты серверлер арқылы жүйеге кіруге және қашықтан параметрлерді өзгертуге мүмкіндік алады. Осылайша, қашықтан басқару жүйелері деректерді нақты уақыт режимінде жинау, өңдеу және басқарудың тиімділігін арттырып, өнеркәсіптік және тұрмыстық құрылғылардың жұмысын оңтайландыруға мүмкіндік береді [49].

Қашықтан басқару жүйелерін жобалау мен жетілдіруде математикалық модельдер маңызды рөл атқарады. Бұл модельдер динамикалық жүйелер теориясына негізделіп, объектінің күйін сипаттайтын теңдеулер арқылы жүйенің жұмыс істеу принциптерін анықтайды. Мысалы, озонатордың жұмысын басқаруда математикалық модель температура, қысым және озон концентрациясы арасындағы тәуелділікті сипаттайды. Бұл жағдайда озон өндірісінің тиімділігін сипаттайтын теңдеу:

$$C(t) = C_{max} \cdot e^{-k(T-T_{opt})^2} \quad (2.8)$$

мұндағы, $C(t)$ — уақыт бойынша озон концентрациясы, C_{max} — максималды концентрация, k — тұрақты коэффициент, T_{opt} — оңтайлы температура.

Бұл модель температураның озон өндірісіне әсерін сандық түрде бағалауға және жүйені оңтайлы температуралық жағдайда басқаруға мүмкіндік береді.

Динамикалық жүйелердің теңдеулерін шешу үшін сандық әдістер пайдаланылады. Мысалы, Эйлер әдісі немесе Рунге-Кутта әдісі арқылы жүйенің күйін нақты есептеуге болады. Қашықтан басқару жүйелерінде

деректерді өңдеу және командаларды жеткізуде қолданылатын алгоритмдердің тиімділігін бағалау маңызды. Бұл үшін алгоритмдердің уақыттық және кеңістіктік күрделілігін талдайды. GSM жүйесінде деректерді жеткізудің орташа кідірісі 50-100 миллисекундты құрайды, ал Wi-Fi жүйесінде бұл көрсеткіш 10 миллисекундтан төмен. Алгоритмдердің тиімділігі мәліметтерді жылдам жеткізіп, минималды энергия тұтынумен жүйенің тұрақтылығын қамтамасыз ету қабілетімен өлшенеді [50].

Қашықтан басқару жүйелерінің энергия тұтынуын және жұмыс тұрақтылығын бағалау үшін математикалық есептеулер жүргізіледі. Энергия тұтынуды есептеу үшін негізгі формула:

$$E = P \cdot t \quad (2.9)$$

мұндағы, E — энергия тұтыну (Джоуль), P — қуат (Вт), t — уақыт (секунд).

Мысалы, GSM модемінің орташа қуаты 2 Вт болса және ол сағатына 3600 секунд жұмыс істесе, энергия тұтынуы:

$$E = 2 \cdot 3600 = 7200 \text{ Дж}$$

Бұлтты серверлер арқылы басқарылатын жүйелерде энергия тұтыну Wi-Fi қолданған жағдайда айтарлықтай төмендейді, себебі оның қуат тұтынуы орташа 0.5 Вт құрайды. Жұмыс тұрақтылығын бағалау үшін математикалық модельдер арқылы жүйенің кідірісін, сигналдың жоғалу ықтималдығын және байланыс тұрақтылығын есептейді.

Қашықтан басқару жүйелерінің математикалық негіздері тек жүйенің жұмысын сипаттап қана қоймай, оны жақсарту жолдарын да ұсынады. Мысалы, ПИД-контроль алгоритмдерінің тиімділігін арттыру үшін параметрлерді оңтайландыру керек. Бұл параметрлерді таңдау үшін мақсаттық функцияларды қолданып, жүйенің ең тиімді күйін анықтайтын оптимизация әдістері пайдаланылады. Мақсаттық функцияның мысалы:

$$J = \int_0^T [e(t)^2 + \alpha \cdot u(t)^2] dt \quad (2.10)$$

мұндағы, $e(t)$ — қателік функциясы, $u(t)$ — басқару сигналы, α — тұрақты коэффициент.

Бұл функция қателікті және басқару сигналын азайтуға мүмкіндік береді, осылайша жүйенің жұмыс тиімділігін арттырады.

Қашықтан басқару жүйелерінде қолданылатын математикалық модельдер нақты қолданбалы мәселелерді шешуге бағытталған. Мысалы, озон генераторының кернеуін есептеу кезінде оның тиімділігін арттыру үшін

қажетті қуатты анықтайды. Егер генератордың қуаты 0.5 кВт болса және жұмыс кернеуі 15 кВ құраса, ток күшін есептеу үшін Ом заңын қолданамыз:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{500}{15000} \approx 0.033 \text{ A} \quad (2.11)$$

Бұл есептеулер жүйенің электрлік схемасын оңтайландыруға және энергияны үнемдеуге көмектеседі. Сонымен қатар, сенсорлардан алынған деректерді талдау және олардың сенімділігін арттыру үшін статистикалық әдістер қолданылады. Қателіктер ықтималдығын азайту және деректерді дәл жеткізу үшін ARQ алгоритмі сияқты деректерді қайта жіберу тәсілдері қолданылады.

Математикалық негіздерсіз қашықтан басқару жүйелерін дамыту мүмкін емес. Олардың көмегімен жүйенің барлық элементтері үйлесімді жұмыс істеп, тиімділікті арттыруға мүмкіндік береді. Жүйелердің тұрақтылығын, энергия тұтынуын және жұмыс тиімділігін модельдеу нақты нәтижелерге жетуге көмектеседі. Бұл негіздер заманауи технологияларды жетілдіріп қана қоймай, болашақтағы қашықтан басқару жүйелерінің жаңа мүмкіндіктерін ашуға ықпал етеді [51].

Жоғары жиілікті озонаторларды сенсорлық желімен басқарудың теориялық негіздері озон өндірісінің тиімділігін арттыруға, тұрақтылықты қамтамасыз етуге және басқару процестерін автоматтандыруға бағытталған. Озонаторлардың жұмыс принциптері мен тиімділік параметрлері, сонымен қатар олардың жұмыс шарттарын оңтайландыру арқылы озон өндірісінің энергия тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Сенсорлық желілердің рөлі озонатордың жұмысын нақты уақыт режимінде бақылауға, параметрлерді реттеуге және деректерді өңдеу арқылы жүйенің тұрақтылығын арттыруға негізделген. Температураның озон өндірісіне әсерін зерттеу және оны бақылау әдістері озонатордың өнімділігін тұрақтандырудың негізгі аспектілерінің бірі болып табылады. Қашықтан басқару жүйелері GSM, Wi-Fi және басқа байланыс технологияларын пайдалана отырып, озонаторды сенімді және тиімді басқаруға мүмкіндік береді. Бұл жүйелер деректерді жинау, өңдеу және басқару алгоритмдері арқылы сенсорлар мен басқару орталықтарының өзара байланысын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, ПИД-контроль және басқа математикалық модельдер озонатордың жұмысын оңтайландырып, энергия тұтынуды азайтуға және жүйенің ұзақ мерзімді сенімділігін қамтамасыз етуге көмектеседі. Осылайша, бұл бөлім жоғары жиілікті озонаторларды тиімді басқаруға арналған сенімді және ғылыми негізделген тәсілдерді ұсынады.

3 Озонаторды GSM модулі арқылы қашықтан басқару жүйесін құру және талдау

Қазіргі заманда қашықтан басқару жүйелерінің маңыздылығы артып келеді, әсіресе тұрмыстық және өнеркәсіптік құрылғыларды тиімді басқару үшін. GSM модулін пайдалану қашықтан басқару жүйелерін қарапайым әрі қолжетімді етеді. Осы жобада SIM900 модулі мен Arduino негізінде озонаторды басқару және температураны бақылау жүйесі құрастырылды. Бұл жүйе SMS арқылы озонаторды қосу және өшіру мүмкіндігін ұсынады, сондай-ақ температуралық деректерді қашықтан бақылауды қамтамасыз етеді. GSM модулі арқылы алынған командалар реле арқылы озонатор мен вентиляторды басқаруға мүмкіндік береді. Жүйенің маңызды бөлігі ретінде DHT11 температура сенсоры пайдаланылады, ол нақты уақыттағы температураны өлшеп, қажетті жағдайларда салқындату жүйесін автоматты түрде іске қосады. Бұл жүйе қашықтан басқаруға қажетті барлық талаптарға сәйкес келеді және пайдаланушыға ыңғайлы басқару интерфейсін ұсынады [52].

Жүйенің жұмыс принципі SMS командаларын қабылдау және өңдеу негізінде жүзеге асырылады. SIM900 модулі Arduino-ға командаларды тізбектік байланыс (UART) арқылы жеткізеді. "ON", "OFF" және "TEMP" сияқты қарапайым командалар озонаторды қосу, өшіру және температуралық ақпаратты жіберу үшін қолданылады. Бағдарламалау кезінде AT-командалар мен Arduino IDE көмегімен модульдің тұрақты жұмысы қамтамасыз етілді. Жүйенің электрлік схемасында реле модульдері озонатор мен вентиляторды басқару үшін қолданылды, ал сенсордан алынған температура деректері нақты уақыт режимінде өңделді. Осы жүйенің басты артықшылығы — оның байланыс тұрақтылығы және SMS арқылы жылдам жауап беру мүмкіндігі. Тәжірибелік зерттеулер барысында барлық функциялар дұрыс жұмыс істеп, оң нәтижелерге қол жеткізілді [53].

Жүйенің функционалдық мүмкіндіктері мен сенімділігі сыналған кезде, оның тиімділігі жоғары деңгейде екені анықталды. SMS арқылы басқару жылдам және нақты орындалды, ал температуралық ақпарат дәлдікпен берілді. Озонаторды ұзақ мерзімді жұмыс режимінде басқару кезінде жүйенің тұрақтылығы мен сенімділігі дәлелденді. SIM900 модулі мен Arduino негізінде жасалған бұл жүйе әртүрлі өнеркәсіптік және тұрмыстық мақсаттарға бейімделуі мүмкін. Болашақта GSM модулін Wi-Fi немесе IoT құрылғыларымен біріктіру арқылы оның мүмкіндіктерін кеңейтуге болады. Бұл жүйе заманауи технологиялар мен автоматтандырудың тиімділігін көрсетеді және қашықтан басқарылатын құрылғыларды қолдану мүмкіндіктерін арттырады [54].

3.1 Құрылғы элементтерінің электрлік схемасы және талдауы

Озонаторды GSM модулі арқылы қашықтан басқару жүйесін құру үшін әрбір құрылғы элементінің электрлік схемасы мен оның жұмыс принципін талдау қажет. Жүйенің негізгі элементтері — SIM900 GSM модулі, DHT11 температура сенсоры, реле модульдері, озонатор және желдеткіш. Әрбір элементтің дұрыс жұмыс істеуі үшін олардың Arduino микроконтроллерімен және басқа компоненттермен электрлік байланысы дұрыс жүзеге асырылуы тиіс. Электрлік схеманы құру барысында әрбір компоненттің техникалық сипаттамалары, пиндердің конфигурациясы және қажетті қорек көздері ескерілді. SIM900 модулі үшін тұрақты 4.2V қорек көзі пайдаланылды, ал DHT11 сенсоры және реле модульдері Arduino-ның 5V және GND пиндеріне қосылды. Реле модульдері озонатор мен вентиляторды қосу және өшіру функцияларын орындау үшін маңызды рөл атқарады.[55]

SIM900 GSM модулі жүйенің байланыс орталығы болып табылады. Бұл модуль Arduino-мен тізбектік байланыс (UART) арқылы жұмыс істейді, оның TX және RX пиндері Arduino-ның 2 және 3 пиндеріне қосылды. Модуль SMS хабарламаларын қабылдап, оны Arduino-ға жеткізеді. SIM900-дің тұрақты жұмысын қамтамасыз ету үшін қосымша конденсаторлар орнатылып, қорек көзі тұрақтандырылды. DHT11 сенсоры температуралық деректерді жинауға арналған, оның DATA пині Arduino-ның 4 пиніне қосылды. Сенсордан алынған деректер нақты уақыт режимінде өңделіп, қажет болған жағдайда SMS арқылы пайдаланушыға жіберіледі. Температура 20°C-ден асқан кезде вентилятор автоматты түрде қосылады, бұл жүйенің жұмыс тиімділігін арттырады [56].

Реле модульдері озонатор мен желдеткішті басқару үшін пайдаланылады. Реле модульдерінің IN пиндері Arduino-ның 8 және 9 пиндеріне қосылды, ал олардың NO және COM контактілері озонатор мен вентилятордың қуат тізбегіне жалғанды. Реленің жұмыс принципі Arduino-дан басқару сигналдарын қабылдап, жүктемені қосу немесе өшіру болып табылады. Электрлік схемада әрбір компоненттің өзара байланысы жүйенің тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз етеді. Талдау барысында барлық компоненттердің техникалық сипаттамаларына сәйкес қосылымдар жасалды және олардың электрлік схемадағы орны толық зерттелді. Бұл жүйе сенімді, тұрақты және тиімді қашықтан басқаруды жүзеге асыруға мүмкіндік береді [57].

3.1.1 Микроконтроллер Arduino Uno

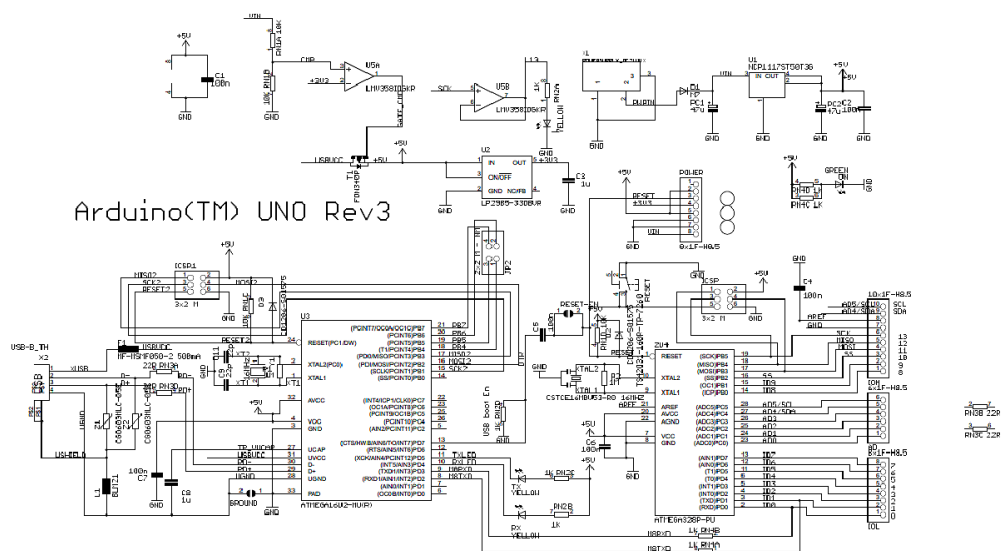
Бұл жұмыста өлшеуіш аспаптарды және басқару құрылғыларын басқару үшін Arduino Uno микроконтроллері қолданылды. Arduino Uno — кеңінен

танымал және қолданылатын әмбебап микроконтроллер платформасы. Бұл құрылғы қарапайым құрылғылардан бастап күрделі жүйелерге дейін әртүрлі жобаларды іске асыруға мүмкіндік береді. Arduino Uno ATmega328P микроконтроллеріне негізделген және қолданушыға оңай бағдарламалау интерфейсін, кеңейтілген функционалдық мүмкіндіктерді ұсынады. Оның қарапайымдылығы, қолжетімділігі және икемділігі оны электроника мен бағдарламалау саласында тиімді құрал ретінде пайдалануға мүмкіндік береді [58].



3.1-сурет – Arduino UNO R3 құрылғысы

Arduino Uno сандық және аналогтық құрылғылармен жұмыс істеуге ыңғайлы және ол деректерді қабылдау, өңдеу және беру функцияларын орындайды. Бұл микроконтроллердің ерекшелігі — оның қарапайым құрылымында. Uno тақтасында 14 сандық енгізу/шығару пиндері, оның ішінде 6 PWM (импульстік ені модуляциясы) қолдайтын пиндер, және 6 аналогтық кіріс пиндері бар. Бұл пиндер әртүрлі датчиктерді, релелерді, моторларды және басқа құрылғыларды басқаруға мүмкіндік береді. Arduino Uno-ның 16 МГц тактілік жиілігі, 32 КБ флэш жады және 2 КБ SRAM жады Arduino IDE-де күрделі бағдарламаларды оңай орындауға жеткілікті [59].



3.2-сурет – Arduino UNO R3 құрылғысының электрлік схемасы

Arduino Uno құрылғысының жұмысы USB порт арқылы 5В кернеумен немесе сыртқы қорек көзінен 7-12В диапазонында беріледі. Оның басты артықшылықтарының бірі — қуат көздерін тұрақтандыру, яғни ол әртүрлі қорек көздерін тұрақты жұмыс істеу үшін автоматты түрде анықтайды. Arduino Uno сандық құрылғыларды басқару, датчиктерден деректер жинау, реле модульдері арқылы жүктемені қосу/өшіру сияқты функцияларды орындауға қабілетті. Сонымен қатар, бұл платформа UART, SPI және I2C байланыс хаттамаларын қолдайды, бұл оны кең ауқымды құрылғылармен біріктіруге мүмкіндік береді [60].

Arduino Uno тақтасының негізгі техникалық сипаттамалары келесі кестеде келтірілген:

3.1-кесте – Arduino Uno микроконтроллерінің техникалық сипаттамалары

Параметр	Сипаттамасы
Микробасқарушы	ATmega328P
Тактілік жиілік	16 МГц
Флэш жады	32 КБ
SRAM	2 КБ
EEPROM	1 КБ
Қорек кернеуі	5 В (USB арқылы)
Кіріс кернеу диапазоны	7-12 В (сыртқы қорек көзі)
Сандық пиндер	14 (оның ішінде 6 PWM)
Аналогтық пиндер	6
Қуат тұтыну	50-150 мА
Жұмыс температурасы	-40°C-тан +85°C-қа дейін
UART байланысы	1 (RX, TX)
Өлшемдері	68.6 мм x 53.4 мм

Arduino Uno-ны қолданудың мысалдары өте кең ауқымды қамтиды. Бұл платформа температура, жарық, қозғалыс және басқа да деректерді өлшеуге арналған сенсорлармен бірге қолданылуы мүмкін. Сонымен қатар, реле модульдерімен біріктіре отырып, озонатор немесе желдеткіш сияқты жүктемелерді басқаруға болады. Бұл құрылғының әмбебаптығы зерттеу жұмыстары мен өнеркәсіптік қосымшаларда таптырмас құралға айналдырады.

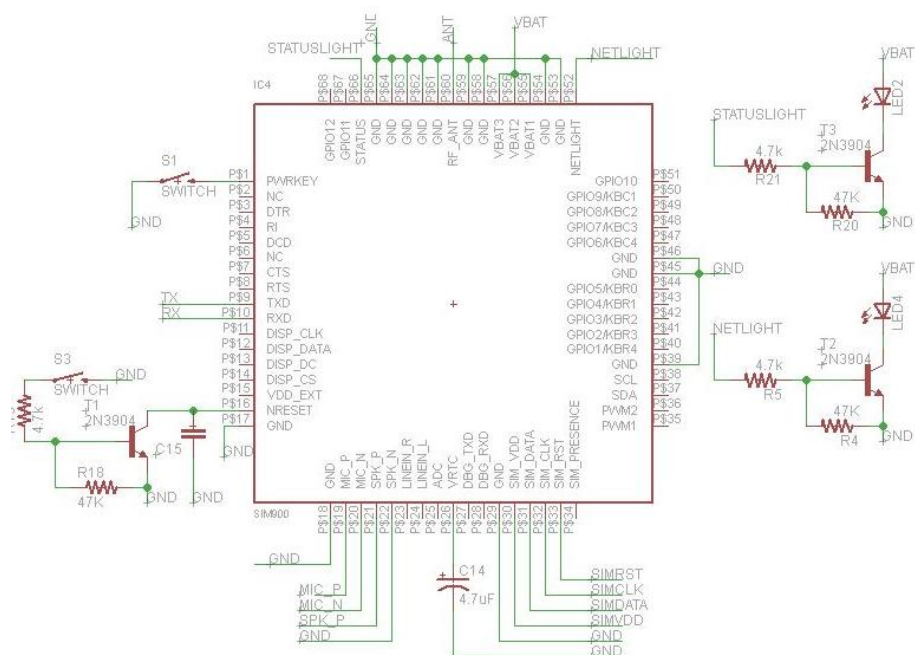
Бұл зерттеу жұмысында Arduino Uno GSM модулі, DHT11 сенсоры, және реле модульдерімен біріктіріліп, озонаторды қашықтан басқару және температураны бақылау жүйесін құруда негізгі басқару элементі ретінде пайдаланылды. Оның қарапайымдылығы мен икемділігі осы жүйенің тиімді әрі сенімді жұмысын қамтамасыз етті [61].

3.1.2 SIM900 GSM модулі



3.3-сурет – SIM900 GSM модулі

Бұл жұмыста GSM модулі арқылы қашықтан басқару жүйесін құру үшін SIM900 модулі қолданылды. SIM900 – бұл GSM/GPRS байланысын қамтамасыз ететін, әртүрлі жиілік диапазоңдарында жұмыс істейтін әмбебап модуль. Ол мобильді желілер арқылы деректерді жіберуге және қабылдауға, сондай-ақ SMS және қоңырау функционалдарын жүзеге асыруға мүмкіндік береді. SIM900 модулі төмен қуат тұтынуымен ерекшеленеді, бұл оны түрлі қолданбаларда, әсіресе IoT және қашықтан басқару жүйелерінде кеңінен қолдануға мүмкіндік береді [62].



3.4-сурет – SIM900 GSM модулінің электрлік схемасы

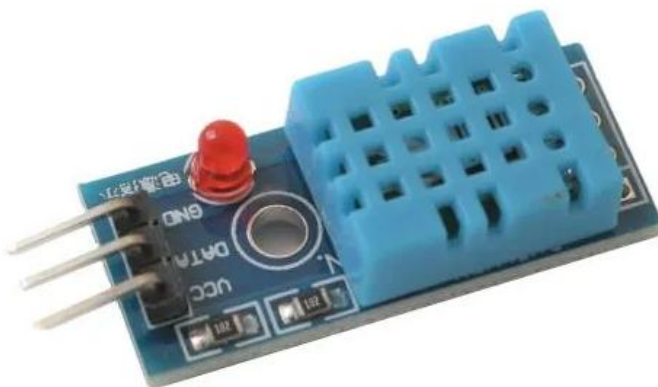
Бұл модульдің басты артықшылығы оның әмбебаптығы мен қарапайым интеграциясы. SIM900 UART (тізбектік байланыс) арқылы Arduino немесе басқа микроконтроллерлермен оңай қосылады. Бұл байланыс AT-командаларды қолдану арқылы жүзеге асырылады, ол пайдаланушыға SMS жіберу, қабылдау, қоңырауларды басқару және GPRS арқылы интернетке қосылу мүмкіндігін береді. Сонымен қатар, SIM900 модулінің ықшам өлшемдері мен кеңейтілген функционалдылығы оны тұрмыстық және өнеркәсіптік жүйелерге бейімдеуге ыңғайлы етеді. GSM модулін қолдану SMS арқылы озонаторды басқару, температураны бақылау және жүйенің қашықтықтан жұмысын реттеу мүмкіндіктерін оңтайлы түрде іске асырды [63].

3.2-кесте – SIM900 GSM модулінің техникалық сипаттамалары

Параметр	Сипаттамасы
Микробасқарушы	SIM900
Жұмыс жиілігі	850/900/1800/1900 МГц
Корек кернеуі	3.2–4.8 В
Жұмыс тогы (орташа)	1.5 А
Қуат тұтыну	2 Вт (максимум)
UART байланысы	1 (RX, TX)
Мәтіндік және PDU режимі	Қолдайды
GPRS	Мульти-слот Class 10
Деректер беру жылдамдығы	85.6 Кбит/с
Жұмыс температурасы	-40°C-тан +85°C-қа дейін
Өлшемдері	24 мм x 24 мм x 3 мм

3.1.3 DHT11 температура сенсоры

Бұл жұмыста температура мен ылғалдылықты өлшеу үшін DHT11 сенсоры қолданылды. DHT11 — бұл қарапайым, арзан және тиімді сенсор, ол температура мен ылғалдылық деректерін цифрлық форматта ұсынады. Оның негізгі ерекшелігі – оңай қосылу және жұмыс істеу қабілеті. Бұл сенсор әсіресе тұрмыстық және өнеркәсіптік жүйелерде, сондай-ақ ауа райын бақылау жобаларында кеңінен қолданылады.



3.5-сурет – DHT11 температура сенсоры

DHT11 сенсорының жұмыс принципі ішкі резистивті элементтер мен конденсаторлар арқылы температура мен ылғалдылықты өлшеуге негізделген. Сенсордағы деректер Arduino сияқты микроконтроллерге жіберіледі, ол деректерді оқып, өңдейді. Бұл сенсор DATA пині арқылы цифрлық сигнал жібереді, ал кернеу көзі ретінде 3.3–5В диапазонында жұмыс істейді. Оның артықшылығы – төмен қуат тұтынуы және ылғалдылық пен температураны дәл өлшеу мүмкіндігі. Бұл сенсордан алынған деректер жүйеде температураны бақылау және оны SMS арқылы қашықтан жіберу үшін пайдаланылды [59,64].

3.3-кесте – DHT11 температура сенсорының техникалық сипаттамалары

Параметр	Сипаттамасы
Өлшеу мүмкіндігі (температура)	0°C-тан +50°C-қа дейін
Өлшеу дәлдігі (температура)	±2°C
Өлшеу мүмкіндігі (ылғалдылық)	20%-дан 90%-ға дейін
Өлшеу дәлдігі (ылғалдылық)	±5%
Жаңарту жылдамдығы	1 Гц (бір өлшеу/с)
Қуат тұтыну	2.5 мВт
Қорек кернеуі	3.3–5 В
Интерфейс	Цифрлық сигнал
Жұмыс температурасы	0°C-тан +50°C-қа дейін
Өлшемдері	15.5 мм x 12 мм x 5.5 мм

3.1.4 Озонаторды қашықтан басқару және температураны бақылау жүйесінің жұмысы

Arduino микроконтроллері мен SIM900 GSM модуліне негізделген озонаторды қашықтан басқару және температураны бақылау жүйесінің құрылымы мен жұмыс принципі зерттеуде маңызды орын алады. Жүйенің негізгі элементтері – SIM900 GSM модулі, DHT11 температура сенсоры және реле модульдері. Бұл элементтердің өзара байланысы мен жұмысы микроконтроллер арқылы реттеліп, нақты тапсырмаларды орындауға бағытталған. Әрбір компоненттің электрлік схемасы, қосылу тәсілі және функционалдық мүмкіндіктері жүйенің тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз етеді. Зерттеу барысында компоненттердің техникалық сипаттамалары мен жұмыс алгоритмдері талданып, олардың өзара байланысының тұрақтылығы мен дәлдігі анықталды. Қашықтан басқару мүмкіндігі SMS командалары арқылы жүзеге асырылды, бұл пайдаланушыға жүйені оңай басқаруға мүмкіндік берді [65].

SIM900 GSM модулі бұл жүйенің байланыс орталығы болып табылады, ол деректерді жіберу және қабылдау үшін ұялы желіге қосылады. Модульдің TX және RX пиндері Arduino микроконтроллерінің сәйкес пиндеріне қосылып, UART тізбектік байланысы арқылы деректер алмасуды қамтамасыз етеді. Деректердің дұрыс берілуі үшін AT-командалар қолданылды, олар модульді баптау, SMS қабылдау және жіберу сияқты функцияларды орындауға мүмкіндік берді. Модульдің қуат көзін тұрақтандыру үшін арнайы тұрақтандырғыш компоненттер қолданылды, себебі SIM900 жұмысы кезінде ток жүктемесі жоғары болуы мүмкін. Бұл модульдің тұрақтылығы жүйенің сенімділігін арттырып, пайдаланушыға SMS арқылы озонаторды қосу, өшіру және температураны сұрау мүмкіндігін берді. Нәтижесінде, SIM900 модулінің жүйеде тиімді қолданылғаны байқалды [66].

DHT11 температура сенсоры озонатор жүйесінің маңызды элементтерінің бірі болды. Бұл сенсор температураны дәл өлшеп, микроконтроллерге цифрлық сигнал ретінде жеткізеді. Сенсордың DATA пині Arduino-ға жалғанып, оның көмегімен өлшеу нәтижелері өңделеді. DHT11 сенсорының артықшылығы – оның қарапайым қосылуы мен төмен қуат тұтынуы. Сенсордың өлшеу дәлдігі $\pm 2^{\circ}\text{C}$ деңгейінде, бұл зерттеу үшін жеткілікті болды. Температура мәндері белгілі бір шекті деңгейден асқанда, микроконтроллер вентиляторды автоматты түрде қосу үшін реле модульдеріне сигнал береді. Бұл жүйенің артықшылығы – температураны бақылау мен автоматты басқарудың үйлесімді жұмысында. Сонымен қатар, температуралық деректерді SMS арқылы пайдаланушыға жіберу мүмкіндігі қашықтан бақылауды тиімді етті [59,67].

Реле модульдері озонатор мен вентиляторды басқару үшін қолданылды. Бұл модульдердің IN пиндері Arduino-ның сандық шығыс пиндеріне қосылып, басқару сигналдарын қабылдайды. NO және COM контактілері озонатор мен желдеткіштің электр тізбегіне жалғанады. Arduino-дан келетін сигналдарға байланысты реле модульдері озонатор мен вентиляторды қосу немесе өшіру функцияларын орындайды. Бұл модульдер жүйенің электрлік қауіпсіздігін қамтамасыз етіп, жоғары қуатты жүктемелерді басқаруға мүмкіндік береді. Реле модульдерінің жұмыс принципі мен олардың микроконтроллермен өзара байланысы зерттеу барысында оң нәтижелер көрсетті. Олар пайдаланушының SMS командаларына сәйкес құрылғыларды дәл және жылдам басқаруға мүмкіндік берді [36,68].

Нақтылай келе, озонаторды қашықтан басқару және температураны бақылау жүйесі өз жұмысын сәтті орындады. Барлық компоненттердің өзара байланысы мен функционалдық мүмкіндіктері зерттеліп, олардың тиімділігі анықталды. Arduino микроконтроллері жүйенің басқару орталығы ретінде тұрақты жұмыс істеп, деректерді өңдеу мен басқаруды қамтамасыз етті. SIM900 модулі байланыс құралдары мен SMS командаларын қабылдау және беру арқылы жүйенің негізгі коммуникациялық бөлігін атқарды. DHT11 сенсоры температураны бақылау үшін қолданылды, ал реле модульдері озонатор мен вентиляторды басқаруда тиімді болды. Бұл жүйе заманауи технологияларды қолдану арқылы тиімді және сенімді қашықтан басқару мүмкіндігін көрсетіп, зерттеу жұмысының мақсатына толық сәйкес келді [69].

3.2 Жүйенің жалпы құрылымдық және жұмыс жүйесінің схемасын талдау

3.2.1 Arduino-мен интеграцияланған жүйенің жалпы құрылымдық схемасы

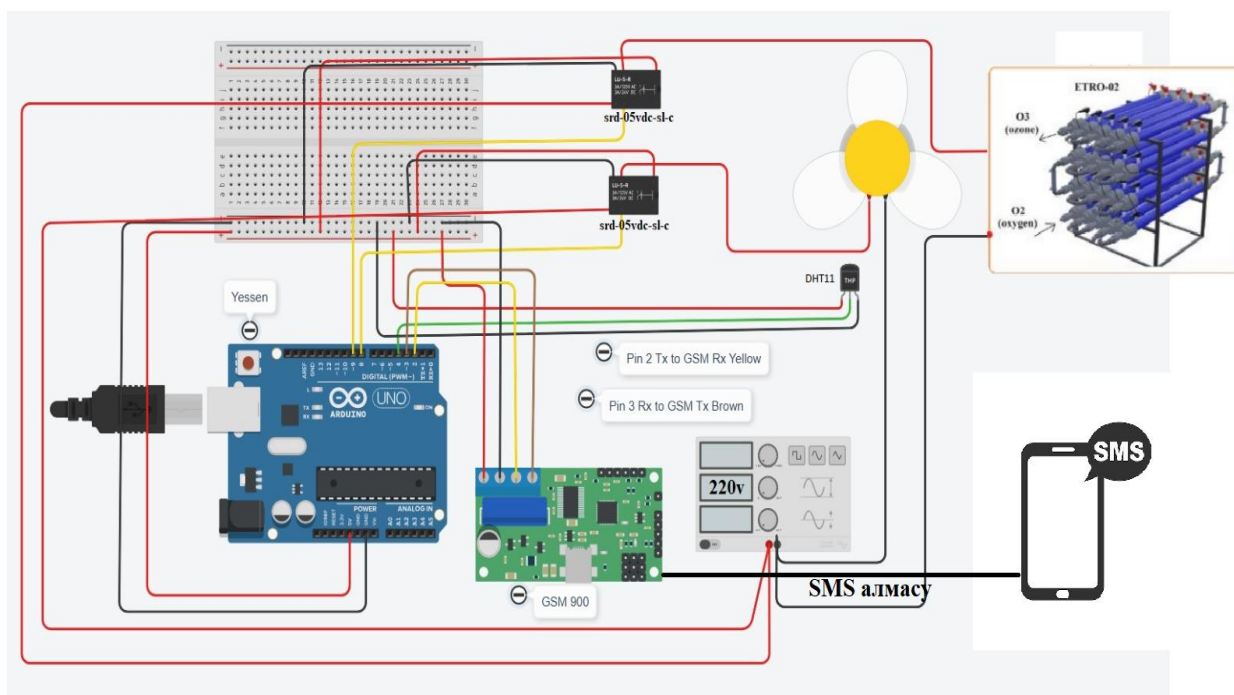
Озонаторды қашықтан басқару және температураны бақылау жүйесінің жалпы құрылымдық схемасы барлық компоненттердің өзара байланысын анықтайды. Жүйе үш негізгі бөліктен тұрады: байланыс модулі (SIM900), басқару орталығы (Arduino Uno), және бақылау элементтері (DHT11 температура сенсоры мен реле модульдері). Бұл компоненттер өзара электрлік тізбектер арқылы біріктіріліп, деректерді алу, өңдеу және әрекеттерді орындау функцияларын орындайды. SIM900 модулі GSM желісі арқылы деректерді жіберу және қабылдау үшін қолданылады, ал Arduino Uno модулі осы деректерді талдап, сәйкес командаларды атқарады. Температура сенсоры озонатордың жұмыс шарттарын бақылау үшін маңызды рөл атқарады, ал реле модульдері озонатор мен желдеткішті қосу және өшіру функцияларын орындайды. Жалпы құрылымдық схема барлық компоненттердің өзара

үйлесімді жұмыс істеуін қамтамасыз етіп, жүйенің тиімділігі мен сенімділігін арттырады [70].

Жұмыс жүйесінің схемасы SIM900 модулі мен Arduino Uno арасындағы деректер алмасуға негізделген. Arduino Uno микроконтроллері жүйенің негізгі басқару орталығы ретінде SIM900 модулінен командаларды қабылдайды және оларды реле модульдері мен сенсорлар арқылы іске асырады. Мысалы, пайдаланушы "ON" командасын жіберсе, бұл команда SIM900 арқылы Arduino Uno-ға жеткізіліп, реле модульдері арқылы озонаторды қосу жүзеге асырылады. Егер "TEMP" командасы жіберілсе, Arduino DHT11 сенсорынан температуралық деректерді оқып, оны SMS ретінде пайдаланушыға жібереді. Бұл процесс жүйенің барлық компоненттерінің үйлесімді жұмыс істеуін талап етеді. Электрлік тізбекте Arduino-ның сандық пиндері реле модульдеріне қосылады, ал DHT11 сенсорының деректері аналогтық пиндер арқылы өңделеді. Мұндай құрылымдық жүйе жұмыстың жылдамдығы мен тиімділігін арттырады [71].

Жүйенің схемасы жүйелік процестердің толық циклын көрсетеді: команданы қабылдау, оны өңдеу, құрылғыларды басқару және нәтижені беру. Барлық компоненттердің үйлесімділігі жүйенің тұрақты жұмысын қамтамасыз етеді. Arduino Uno-ның UART байланысы SIM900 модулімен деректер алмасуды тұрақты етеді, ал реле модульдері озонатор мен желдеткішті қосу/өшіру әрекеттерін дәл және жылдам орындайды. DHT11 сенсорының деректерді нақты уақыт режимінде өлшеуі жүйенің пайдаланушыға қажетті ақпаратты уақытында жеткізу мүмкіндігін береді. Бұл жүйе қашықтан басқарудың қарапайым және тиімді әдісін ұсынады, әрі оның құрылымдық және жұмыс жүйесінің схемасы зерттеу мақсатына толық сәйкес келеді. Нәтижесінде, жүйенің барлық элементтері үйлесімді жұмыс істеп, пайдаланушы талаптарына сай оңтайлы нәтижелер көрсетті [72].

Озонаторды қашықтан басқару және температураны бақылау жүйесінің құрылымдық схемасы компоненттердің өзара үйлесімді байланысын анықтайды. Жүйенің негізгі элементтері – GSM модулі (SIM900), температура сенсоры (DHT11), және реле модульдері. Барлық элементтер Arduino Uno-ға қосылып, біртұтас жұмыс жүйесін құрайды. GSM модулі қашықтан басқару үшін SMS хабарламаларын қабылдап, оларды Arduino Uno-ға жеткізеді. Температура сенсоры нақты уақыт режимінде деректерді өлшейді, ал реле модульдері озонатор мен желдеткішті басқаруға арналған. Барлық компоненттердің өзара байланысы арқылы жүйе пайдаланушы командаларын өңдеп, қажетті әрекеттерді орындауға қабілетті [73].



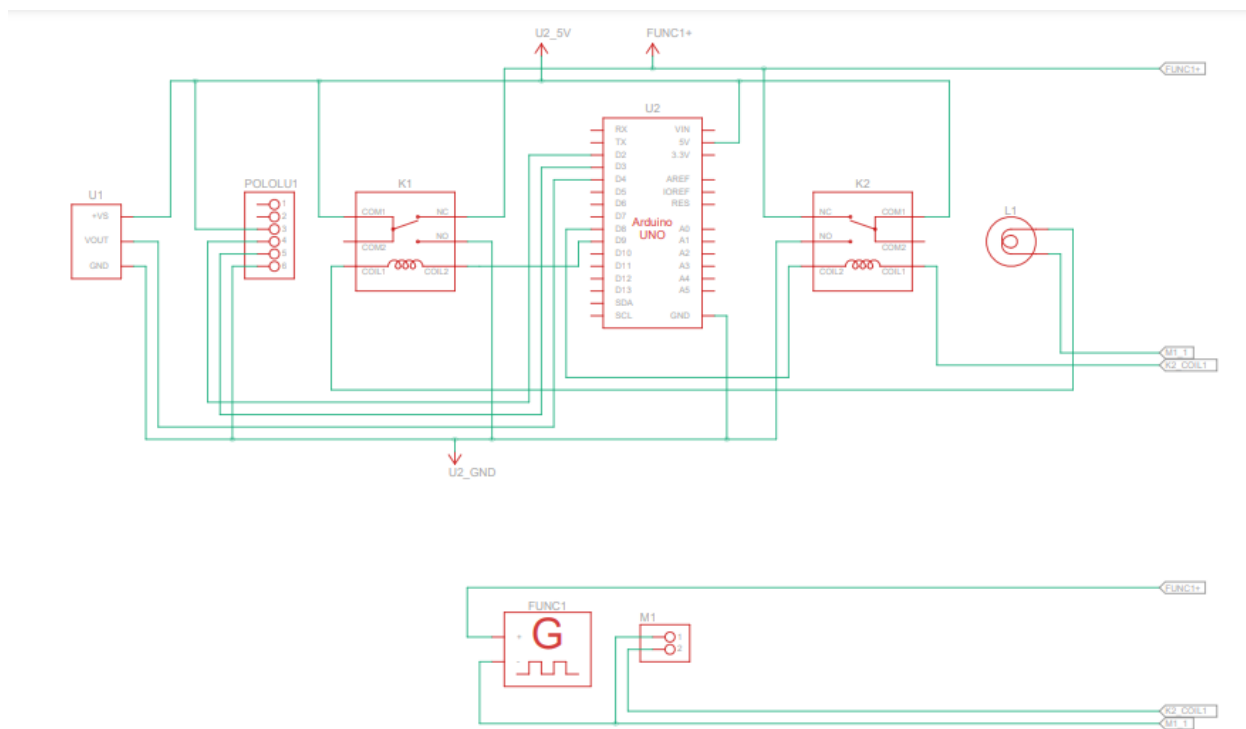
3.6-сурет – Жоғары жиілікті озонаторды GSM модулі арқылы қашықтан басқару жүйесінің схемасы

Бұл суретте Arduino Uno, SIM900 GSM модулі, DHT11 температура сенсору және реле модульдері негізінде құрылған озонаторды қашықтан басқару жүйесінің толық электрлік схемасы көрсетілген. GSM модулі SMS командаларын қабылдап, оларды Arduino-ға жібереді, ал микроконтроллер командаларды реле модульдері арқылы озонатор мен вентиляторға жеткізеді. DHT11 сенсоруы температураны өлшеп, деректерді Arduino арқылы пайдаланушыға SMS түрінде жібереді. Реле модульдері озонатор мен вентиляторды қосу/өшіру үшін қолданылады. Барлық компоненттер дұрыс электрлік қосылымдар арқылы жалғанған, ал GSM модулі жүйенің қашықтан басқарылуын қамтамасыз етеді. Жүйе SMS командалары арқылы пайдаланушыдан алынған деректерді өңдеп, қажетті әрекеттерді орындайды [74].

Электрлік тізбекте Arduino Uno жүйенің негізгі басқару орталығы ретінде жұмыс істейді. SIM900 модулінің TX және RX пиндері Arduino-ның 2 және 3 пиндеріне қосылып, деректерді UART байланысы арқылы жібереді. DHT11 сенсоруының DATA пині Arduino-ның 4 пиніне жалғанып, температуралық деректерді цифрлық форматта береді. Реле модульдерінің IN пиндері Arduino-ның 8 және 9 пиндеріне қосылады, ал олардың NO және COM контактілері озонатор мен желдеткіштің электр тізбегін басқарады. Бұл қосылымдар жүйенің тұрақты және тиімді жұмысын қамтамасыз етеді.

Деректер ағымы GSM модулі арқылы командаларды қабылдаудан басталып, олардың Arduino Uno арқылы өңделуіне және соңғы құрылғыларға

(озонатор мен желдеткішке) жеткізілуіне негізделген. Мысалы, пайдаланушы "ON" командасын жібергенде, GSM модулі бұл команданы Arduino Uno-ға жібереді. Микроконтроллер команданы реле модульдері арқылы озонаторды қосуға бағыттайды. Ал "TEMP" командасы жіберілсе, Arduino DHT11 сенсорынан температуралық деректерді оқып, оларды SMS ретінде пайдаланушыға қайтарады. Бұл процесс компоненттердің үйлесімді байланысын және әрбір әрекеттің нақты орындалуын көрсетеді [10].



3.7-сурет – Жоғары жиілікті озонаторды GSM модулі арқылы қашықтан басқару жүйесінің электрлік схемасы

Бұл суретте Tinkercad бағдарламасында Arduino Uno негізінде жинақталған жүйенің электрлік схемасы көрсетілген. Схема жүйенің негізгі компоненттерінің өзара байланысын көрсетеді, соның ішінде реле модульдері (K1, K2), басқару сигналдары, және жүктеме элементтері (озонатор мен желдеткіш). Arduino Uno микроконтроллері жүйенің орталық басқару элементі ретінде жұмыс істейді, ол сандық шығыс пиндері арқылы реле модульдерін басқарады. Реле арқылы озонатор мен желдеткіштің қосылуы/өшуі жүзеге асады. Схемада қуат көзінің (5 В) тұрақтылығы мен жерге қосылу (GND) байланыстары толық көрсетілген. Бұл жүйе электрлік қосылымдардың дұрыстығын тексеру және басқару әрекеттерінің үйлесімді жұмысын қамтамасыз ету үшін оңтайлы жобаланған. Жалпы алғанда, бұл схема құрылғылардың өзара тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз ететін нақты интеграцияланған жүйені сипаттайды.

Жалпы құрылымдық схема барлық элементтердің жүйедегі өзара байланысын көрсетіп, олардың электрлік және деректер ағымы негізіндегі

жұмыс принципін түсіндіреді. GSM модулі мен DHT11 сенсорының деректерді уақытылы беруі және реле модульдерінің жүктемені басқаруы жүйенің сенімділігін арттырады. Arduino Uno компоненттерді басқару орталығы ретінде тұрақты және икемді жұмыс істейді. Бұл схема қашықтан басқарылатын құрылғылардың жұмысын оңтайландыруға және пайдаланушы қажеттіліктеріне сәйкес тиімді шешім ұсынуға мүмкіндік береді. Нәтижесінде, барлық компоненттер үйлесімді жұмыс істеп, жүйе жоғары тиімділік пен сенімділікке қол жеткізді [75].

3.2.1 Arduino IDE-де бағдарламалау логикасын сипаттау

Arduino IDE-де бағдарламалау логикасы Arduino Uno негізіндегі жүйенің тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз етеді. Бағдарламаның негізгі құрылымы SIM900 GSM модулі арқылы SMS қабылдау және жіберу, DHT11 сенсорынан температуралық деректерді оқу, және осы деректерді пайдаланушыға қайтару немесе реле модульдері арқылы озонатор мен желдеткішті басқару сияқты әрекеттерді қамтиды. Кодтың бірінші бөлігінде барлық қажетті кітапханалар қосылып, пиндердің конфигурациясы, байланыс жылдамдығы және GSM модулі мен сенсордың бастапқы параметрлері анықталады. Мысалы, SoftwareSerial.h кітапханасы SIM900 модулімен UART байланысын жүзеге асыру үшін қолданылады, ал DHT.h кітапханасы DHT11 сенсорының деректерін оқуға мүмкіндік береді. Arduino IDE-де код құрылымы негізгі үш бөліктен тұрады: setup(), loop(), және функциялар. setup() бөлігінде SIM900 модулін АТ-командалар арқылы баптау және сенсордың инициализациясы жүргізіледі, ал loop() бөлімінде жүйенің негізгі әрекеттері қайталанатын [76].

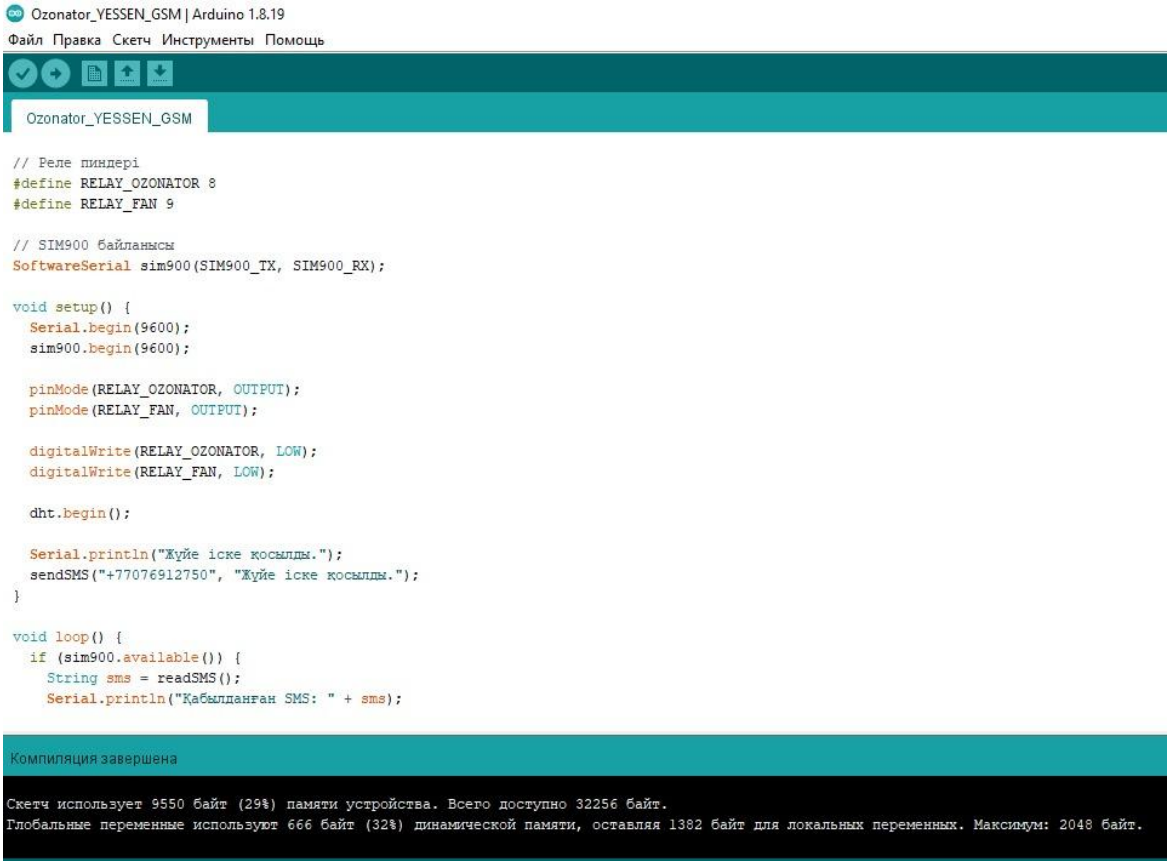


```
Ozonator_YESSEN
#include <DHT.h>
#include <SoftwareSerial.h>
```

3.7-сурет – Қажетті кітапханалар

Бағдарламаның жұмыс логикасы SMS қабылдау мен жіберу процестерін қамтиды. SIM900 модулі SMS-ті қабылдаған кезде, ол бұл хабарламаны Arduino-ға жібереді, ал микроконтроллер SMS мәтінін оқып, сәйкес команданы орындауға кіріседі. Мысалы, егер пайдаланушы "ON" командасын жіберсе, Arduino бұл команданы оқып, озонаторды қосу үшін реле модуліне сигнал береді. Кодта бұл процесс Serial.available() функциясы арқылы жүзеге асырылады, ол тізбектік байланыста деректердің бар-жоғын тексереді. Температураны өлшеу үшін DHT.readTemperature() функциясы қолданылады,

ал нәтижелер SMS арқылы пайдаланушыға жіберіледі. Бұл әрекет SIM900 модулінің AT-командаларын пайдаланып орындалады, мысалы, AT+CMGF=1 командасы мәтіндік режимді қосады, ал AT+CMGS командасы хабарламаны жіберу үшін қолданылады. Бұл процесс пайдаланушыдан алынған командаларға жылдам және дәл жауап беруді қамтамасыз етеді [77].



```

Ozonator_YESSEN_GSM | Arduino 1.8.19
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь

// Пеле пиндері
#define RELAY_OZONATOR 8
#define RELAY_FAN 9

// SIM900 байланысы
SoftwareSerial sim900(SIM900_TX, SIM900_RX);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  sim900.begin(9600);

  pinMode(RELAY_OZONATOR, OUTPUT);
  pinMode(RELAY_FAN, OUTPUT);

  digitalWrite(RELAY_OZONATOR, LOW);
  digitalWrite(RELAY_FAN, LOW);

  dht.begin();

  Serial.println("Жүйе іске қосылды.");
  sendSMS("+77076912750", "Жүйе іске қосылды.");
}

void loop() {
  if (sim900.available()) {
    String sms = readSMS();
    Serial.println("Қабылданған SMS: " + sms);
  }
}

```

Компиляция завершена

Скетч использует 9550 байт (29%) памяти устройства. Всего доступно 32256 байт.
Глобальные переменные используют 666 байт (32%) динамической памяти, оставляя 1382 байт для локальных переменных. Максимум: 2048 байт.

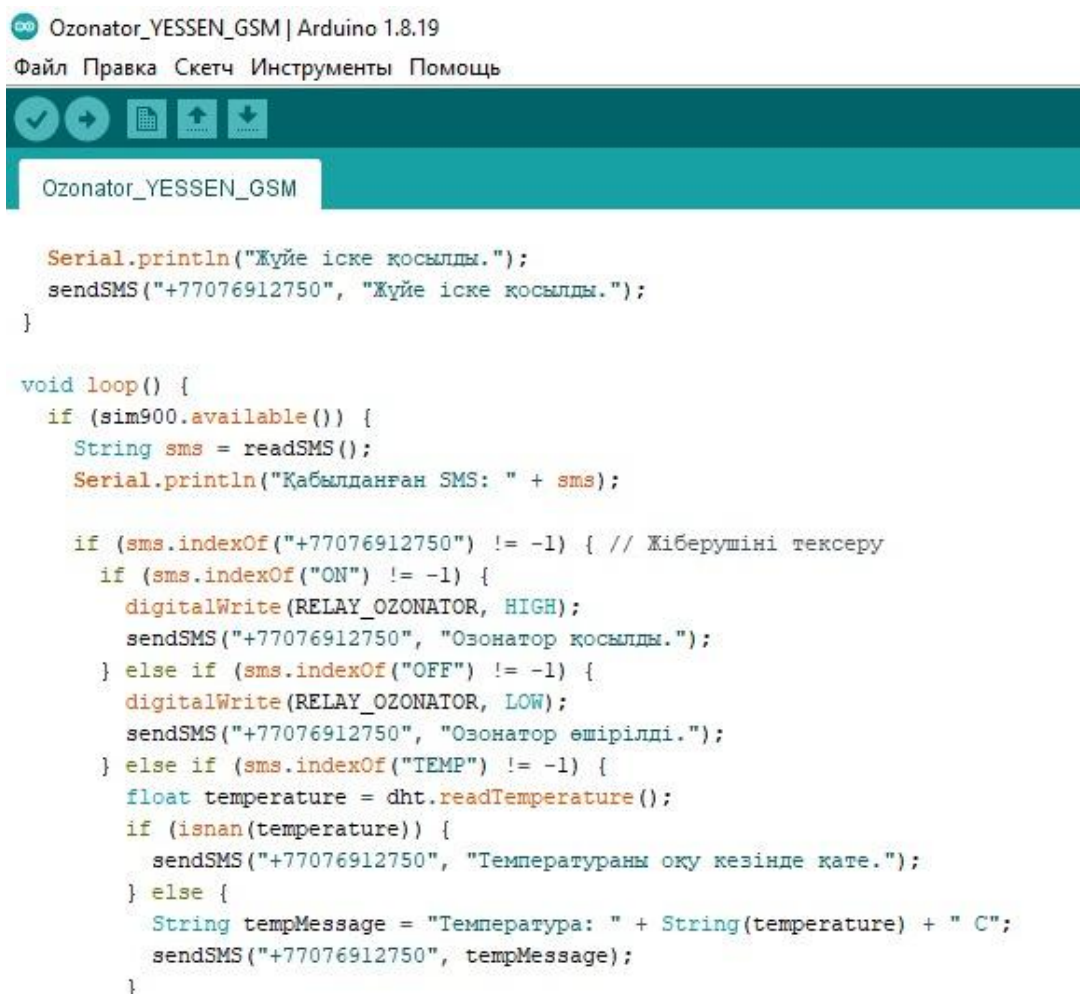
3.8-сурет – Arduino IDE бағдарламасында құрылғыларды байланыстыру коды

Бағдарламада температураны бақылау маңызды орын алады. DHT11 сенсорының деректері тұрақты түрде оқылып, шекті деңгейлермен салыстырылады. Егер температура 20°C-тан асса, Arduino желдеткішті қосу үшін реле модуліне сигнал жібереді. Кодта бұл процесс if шартты операторлары арқылы орындалады. Сонымен қатар, температура мәндері SIM900 модулі арқылы пайдаланушыға SMS ретінде жіберіледі. Бұл жүйенің артықшылығы – пайдаланушы қашықтан құрылғының күйін бақылап, қажет болған жағдайда тиісті әрекеттерді орындай алады. Мысалы, пайдаланушы "TEMP" командасын жібергенде, микроконтроллер сенсордан температура мәнін оқып, оны SMS ретінде қайтарады. Кодта бұл әрекеттер айқын түрде жазылып, жүйенің тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін қателерді өңдеу механизмдері қосылады.

SIM900 модулімен жұмыс алгоритмі АТ-командаларға негізделген. Бағдарлама GSM модулін баптау үшін бірқатар АТ-командаларды жібереді. Мысалы, АТ командасы модульдің жауап беруге дайын екенін тексереді, ал АТ+CMGF=1 командасы модульді мәтіндік режимге ауыстырады. Хабарламаны қабылдау үшін АТ+CMGR=1 командасы қолданылады, ал оны жіберу үшін АТ+CMGS командасы пайдаланылады. Бұл командалар Arduino бағдарламасына енгізіліп, SIM900 модулінің тиімді жұмысын қамтамасыз етеді. Модульден жауап алу үшін Serial.read() функциясы қолданылады, бұл Arduino-ға модульмен нақты байланыс орнатуға мүмкіндік береді. Кодта АТ-командалар тізбегі жүйенің тұрақты және тиімді жұмысын қамтамасыз ететін басты элементтердің бірі болып табылады [78].

Жалпылама айтқанда, Arduino IDE-де жазылған код жүйенің барлық компоненттерін үйлесімді түрде біріктіреді. Бағдарламаның құрылымы мен логикасы компоненттердің өзара әрекеттесуін оңтайландырып, пайдаланушы командаларына жылдам және сенімді жауап беруді қамтамасыз етеді. SIM900 модулі АТ-командалар арқылы SMS жіберу және қабылдау функцияларын орындайды, ал DHT11 сенсоры температуралық деректерді дәл өлшеуді қамтамасыз етеді. Реле модульдері озонатор мен желдеткішті басқару үшін қолданылады. Бағдарламаның жұмыс алгоритмдері қарапайым әрі түсінікті түрде жазылған, бұл жүйенің тиімді жұмыс істеуіне мүмкіндік береді. Нәтижесінде, жүйе қашықтан басқару мен температураны бақылау мақсатында жоғары сенімділікпен жұмыс істейді.

Қашықтан басқару жүйесінің жұмыс принципі SMS арқылы командаларды қабылдау және өңдеуге негізделген. Пайдаланушы SIM900 GSM модуліне қосылған SIM-карта нөміріне SMS арқылы команда жібереді. Бұл командалар Arduino Uno микроконтроллеріне жеткеннен кейін, микроконтроллер оларды өңдеп, тиісті әрекеттерді орындайды. Жүйе негізінен үш негізгі команданы қолдайды: "ON", "OFF", және "TEMP". Мысалы, пайдаланушы "ON" командасын жіберсе, Arduino реле модуліне сигнал жіберіп, озонаторды қосады. Ал "OFF" командасы озонаторды өшіру үшін қолданылады. "TEMP" командасы пайдаланушыға температура туралы мәліметтерді жіберуге арналған. Бұл команда келгенде, Arduino DHT11 сенсорынан температуралық деректерді оқиды және SMS ретінде пайдаланушыға қайта жібереді. Мұндай процестің арқасында пайдаланушы кез келген қашықтықтан жүйені тиімді басқара алады [79].



```
Ozonator_YESSEN_GSM | Arduino 1.8.19
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь

Serial.println("Жүйе іске қосылды.");
sendSMS("+77076912750", "Жүйе іске қосылды.");
}

void loop() {
  if (sim900.available()) {
    String sms = readSMS();
    Serial.println("Қабылданған SMS: " + sms);

    if (sms.indexOf("+77076912750") != -1) { // Жіберушіні тексеру
      if (sms.indexOf("ON") != -1) {
        digitalWrite(RELAY_OZONATOR, HIGH);
        sendSMS("+77076912750", "Озонатор қосылды.");
      } else if (sms.indexOf("OFF") != -1) {
        digitalWrite(RELAY_OZONATOR, LOW);
        sendSMS("+77076912750", "Озонатор өшірілді.");
      } else if (sms.indexOf("TEMP") != -1) {
        float temperature = dht.readTemperature();
        if (isnan(temperature)) {
          sendSMS("+77076912750", "Температураны оқу кезінде қате.");
        } else {
          String tempMessage = "Температура: " + String(temperature) + " C";
          sendSMS("+77076912750", tempMessage);
        }
      }
    }
  }
}
```

3.9-сурет – Arduino IDE бағдарламасында озонатор құрылғысын басқару коды

Температура өзгерісіне байланысты вентиляторды автоматты басқару жүйенің маңызды функционалдық мүмкіндіктерінің бірі болып табылады. DHT11 сенсоры температураны тұрақты түрде өлшейді және микроконтроллерге деректер жібереді. Егер температура белгіленген шекті деңгейден (мысалы, 20°C) асып кетсе, Arduino реле модуліне сигнал жібереді, бұл вентиляторды автоматты түрде қосады. Температура төмендеген кезде вентилятор автоматты түрде өшіріледі. Бұл процесс температураны бақылауды толық автоматтандырады және пайдаланушының араласуынсыз құрылғының тұрақты жұмысын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, пайдаланушы температура мәнін сұраған жағдайда, DHT11 сенсорының деректері SMS арқылы жіберіледі. Бұл жүйе пайдаланушыға құрылғының ағымдағы күйін бақылап, температура жағдайларына сәйкес әрекеттерді жылдам орындауға мүмкіндік береді. Қорытындысында, жүйенің жұмыс принципі оның сенімділігі мен қарапайымдылығын көрсетіп, пайдаланушыға оңтайлы басқару шешімдерін ұсынады.

3.3 Жүйенің функционалдық сынағы және оң нәтижелерді талдау

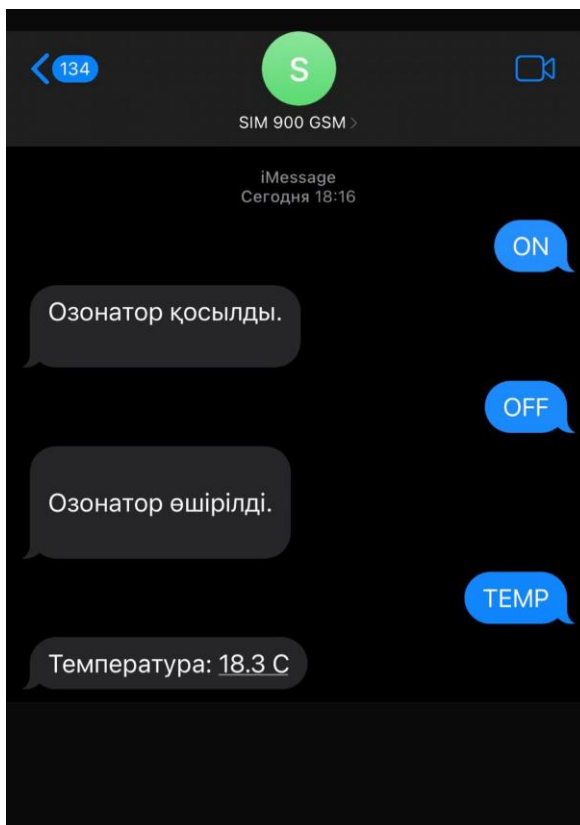
SMS арқылы озонатор мен желдеткішті басқару жүйесінің тиімділігі пайдаланушыдан жіберілген командалардың дәлдігі мен жылдамдығына байланысты. Жүйе SIM900 GSM модулі арқылы командаларды қабылдап, оларды Arduino Uno микроконтроллеріне жеткізеді. Пайдаланушы "ON" командасын жіберген кезде, Arduino реле модульдері арқылы озонаторды қосу сигналын береді. Бұл процесс өте жылдам жүреді және команданың орындалуы бірнеше секунд ішінде жүзеге асады. Сол сияқты, "OFF" командасы озонаторды өшіруге арналған және дәл сол жылдамдықпен орындалады. Әрбір команда жіберілгеннен кейін, SIM900 модулі пайдаланушыға команда орындалғаны туралы хабарлама жібереді. Мұндай кері байланыс жүйенің сенімділігін арттырып, пайдаланушыға әрбір команданың орындалуын нақты қадағалауға мүмкіндік береді.

Командалардың орындалу дәлдігін тексеру барысында бірнеше тәжірибелер жүргізілді. Алынған нәтижелер көрсеткендей, "ON" және "OFF" командалары 100% дәлдікпен орындалады. Бұл дегеніміз, жүйе командаларды қабылдап, оларды микроконтроллер арқылы өңдегеннен кейін ешқандай кідіріссіз және қателіксіз қажетті әрекеттерді орындайды. Сонымен қатар, SMS арқылы басқару командаларының жеткізілу жылдамдығы мобильді байланыс сапасына байланысты болғанымен, тәжірибелерде орташа кідіріс уақыты 2-3 секундты құрады. Бұл нәтиже жүйенің пайдаланушы талаптарына сәйкес жылдам жауап бере алатынын көрсетеді. Жүйенің тұрақты жұмысы оның аппараттық және бағдарламалық бөліктерінің үйлесімділігінің нәтижесі болып табылады [78].

Жүйенің SMS арқылы басқару командаларының дұрыс орындалуын тексеру үшін әртүрлі тест сценарийлері қолданылды. Мысалы, пайдаланушы озонаторды қосу немесе өшіру үшін бірнеше рет "ON" және "OFF" командаларын жіберді. Әрбір жіберілген команда дұрыс өңделіп, қажетті әрекет орындалды. Сонымен қатар, пайдаланушы SMS командаларын қате енгізген кезде жүйе ешқандай әрекет жасамай, қауіпсіз күйде қалды. Бұл тест нәтижелері жүйенің командаларды дұрыс тану және өңдеу мүмкіндігін растайды. Командалардың қате енгізілуін немесе қайталануы мүмкіндігін ескеретін бағдарламалық қорғаныс механизмдері жүйенің сенімділігін арттырады [74].

Озонатор мен желдеткіштің SMS арқылы басқарылуы олардың жұмыс күйін нақты қадағалауға мүмкіндік береді. Пайдаланушы жіберген әрбір командаға жауап ретінде SIM900 модулі "Озонатор қосылды" немесе "Озонатор өшірілді" сияқты хабарлама жібереді. Бұл пайдаланушыға жүйенің ағымдағы күйі туралы ақпарат алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, желдеткіштің автоматты түрде қосылу және өшу функционалы да тиімді жұмыс істеді. Температура сенсорының деректері негізінде желдеткіш температура шектен асқанда автоматты түрде іске қосылып, қажетті деңгейге

түскенде қайта өшірілді. Бұл жүйе толық автоматтандырылған және SMS арқылы басқару мүмкіндігімен қол жетімді екенін дәлелдейді.



3.10-сурет – GSM модулін хабарламалар арқылы тексеру

Жалпы айтқанда, SMS арқылы озонатор мен желдеткішті басқару жүйесі жылдамдық пен дәлдік тұрғысынан жоғары нәтиже көрсетті. Жүйе командаларды дұрыс таниды, жылдам өңдейді және қажетті әрекеттерді орындайды. Сонымен қатар, кері байланыс механизмі пайдаланушыға командалардың орындалуын бақылауға мүмкіндік береді. Тест нәтижелері жүйенің тұрақты жұмыс істейтінін және пайдаланушы талаптарына сәйкес келетінін көрсетті. Бұл жүйе қашықтан басқарудың тиімді шешімі болып табылады және оны тұрмыстық және өнеркәсіптік мақсаттарға оңай бейімдеуге болады. SMS арқылы басқару жүйесі өзінің сенімділігі мен функционалдығымен қашықтан басқару саласында сәтті қолданылуға лайықты екенін дәлелдеді.

Температураны бақылау және жауап беру жүйесінің негізгі мақсаты – сенсордан алынған деректердің дәлдігін қамтамасыз ету және оларды пайдаланушыға тиімді жеткізу. Жүйеде қолданылған DHT11 температура сенсоры температуралық мәліметтерді тұрақты түрде өлшеп, Arduino микроконтроллеріне жібереді. Сенсордың $\pm 2^{\circ}\text{C}$ дәлдігі оны озонатор мен желдеткішті басқару жүйесінде сенімді құрал ретінде қолдануға мүмкіндік береді. Пайдаланушы SIM900 GSM модуліне "TEMP" командасын жіберген кезде, Arduino микроконтроллері DHT11 сенсорынан ағымдағы

температураны оқиды. Бұл деректер өңделгеннен кейін, олар SMS арқылы пайдаланушыға жіберіледі. Жүйе осы процесті бірнеше секунд ішінде жүзеге асырады, бұл қашықтан бақылаудың тиімділігін арттырады. Температуралық деректердің дәлдігі мен жүйенің тұрақтылығы бірнеше рет тексеріліп, нәтижелер қанағаттанарлық болды [69].

Температуралық деректердің дәлдігі жүйенің сенімділігін бағалаудың негізгі көрсеткіштерінің бірі болды. Тәжірибелер барысында DHT11 сенсорының өлшеу нәтижелері нақты температуралық мәндермен салыстырылды және $\pm 2^{\circ}\text{C}$ қателік шегінде болғаны анықталды. Бұл сенсордың озонатор жұмысын тиімді бақылау үшін жеткілікті дәлдікте жұмыс істейтінін көрсетеді. Пайдаланушы "TEMP" командасын жібергенде, сенсор ағымдағы температураны өлшеп, деректерді Arduino арқылы өңдейді, содан кейін бұл мәліметтер SIM900 модулі арқылы SMS ретінде жіберіледі. SMS-те жіберілген деректер пайдаланушыға толық және дұрыс күйінде жетеді. Жүйенің SMS арқылы жауап беру жылдамдығы мен сенімділігі бірнеше сынақтан өтті, нәтижесінде температуралық деректерді жеткізу процесі 3 секунд ішінде орындалатыны анықталды. Бұл көрсеткіш жүйенің нақты уақыттағы деректермен қамтамасыз ету мүмкіндігін дәлелдейді.

Температуралық деректерді SMS арқылы жеткізудің тиімділігі жүйенің негізгі артықшылықтарының бірі болып табылады. Сенсордан алынған деректер пайдаланушыға дәл әрі уақытылы жеткізіледі, бұл жүйені қашықтан бақылау мен басқару үшін тиімді құрал етеді. Пайдаланушы температура туралы ақпаратты кез келген уақытта сұрай алады, ал жүйе жылдам жауап беру арқылы қажетті мәліметтерді ұсынады. Сонымен қатар, температураның өзгеруіне байланысты автоматты басқару функциясы да тиімді жұмыс істеді: белгілі бір деңгейден жоғары температура кезінде желдеткіш автоматты түрде қосылып, температура төмендегенде өшірілді. Бұл автоматтандырылған жүйе пайдаланушының араласуынсыз озонатордың жұмыс шарттарын тұрақты бақылауды қамтамасыз етеді. Қорытындысында, температураны бақылау мен SMS арқылы жеткізу жүйесі пайдаланушы қажеттіліктеріне толық жауап береді және деректердің дәлдігі мен жылдамдығы бойынша жоғары нәтиже көрсетеді.

Жүйенің жалпы өнімділігі мен сенімділігі оның барлық компоненттерінің тұрақты жұмыс істеуіне және бір-бірімен үйлесімді байланыс орнатуына байланысты. Тәжірибелер барысында жүйе ұзақ мерзімді жұмыста өзінің сенімділігін дәлелдеді. SIM900 GSM модулі мен Arduino Uno микроконтроллерінің өзара әрекеттесуі бірнеше сағат бойы үздіксіз тексерілді, бұл кезде командалардың дұрыс қабылдануы мен орындалуы, температуралық деректердің тұрақты түрде алынуы және SMS арқылы жіберілуі бақылауға алынды. Ұзақ мерзімді жұмыс барысында ешқандай жүйелік ақаулар немесе деректердің жоғалуы байқалмады. Бұл жүйенің пайдаланушы талаптарына сәйкес ұзақ уақыт бойы тұрақты жұмыс істей алатынын көрсетті. Сонымен қатар, реле модульдері озонатор мен желдеткішті сенімді түрде қосып-өшіріп

отырды, бұл жүйенің электрлік қауіпсіздігі мен функционалдық тұрақтылығын растайды [76].

Жүйенің байланыс сапасы мен жауап беру жылдамдығы маңызды көрсеткіштер болып табылады. GSM модулі арқылы жіберілген командалардың орындалу жылдамдығы бірнеше секунд ішінде жүзеге асты, бұл қашықтан басқару жүйелеріне қойылатын талаптарға сәйкес келеді. Байланыс сапасы ұялы желінің сигналына тәуелді болғанымен, тәжірибелерде жүйенің тиімділігі байланыс деңгейіне қарамастан жоғары деңгейде болды. Командаларды қабылдау мен өңдеу жылдамдығы 2-3 секундты құрады, бұл пайдаланушыға жүйені жылдам және сенімді басқаруға мүмкіндік берді. Сонымен қатар, жүйе әрбір әрекеттен кейін пайдаланушыға кері байланыс жіберіп, командалардың орындалғаны туралы хабардар етіп отырды. Бұл механизм жүйенің сенімділігін арттырып, пайдаланушыға қашықтан басқару процесін бақылау мүмкіндігін берді.

Жалпы, жүйенің өнімділігі мен сенімділігі жоғары деңгейде екені анықталды. Жүйе ұзақ мерзімді жұмыста тұрақты жұмыс істеп, пайдаланушы командаларына дәл және жылдам жауап берді. Байланыс сапасының тұрақтылығы мен SMS арқылы деректерді тиімді жеткізу жүйенің сенімділігін арттырды. Сонымен қатар, жүйенің барлық элементтері, соның ішінде SIM900 модулі, DHT11 сенсоры және реле модульдері, өз міндеттерін толық орындап, электрлік және функционалдық қауіпсіздік талаптарына сай жұмыс істеді. Бұл жүйе тұрмыстық және өнеркәсіптік мақсаттарға бейімделуге дайын, әрі қашықтан басқару шешімдерінің тиімді үлгісін көрсетті. Қорытындылай келе, жүйе пайдаланушы талаптарына сәйкес оңтайлы шешім ұсына отырып, тұрақтылық пен сенімділік тұрғысынан жоғары нәтиже көрсетті [72].

ҚОРЫТЫНДЫ

Жоғары жиілікті озонаторларды сенсорлық желілер арқылы басқару жүйесін зерттеу барысында жасалған жұмыс нәтижелері жүйенің функционалдығы мен сенімділігін толығымен растады. Әдебиеттерге шолу жоғары жиілікті озонаторлар мен сенсорлық желілерді басқару саласындағы соңғы жетістіктерді, олардың дамуын және қолдану барысында туындайтын мәселелер мен перспективаларды тереңірек түсінуге мүмкіндік берді. Теориялық негіздер озонатордың жұмыс принциптерін, тиімділігін арттыру тәсілдерін және температураның озонатор жұмысына әсерін нақты талдауға негізделді. Сонымен қатар, сенсорлық желілердің жүйенің негізгі бөліктерінің бірі ретіндегі рөлі анықталып, математикалық модельдер арқылы олардың тиімділігін бағалау жүргізілді. Тәжірибелік бөлімде барлық құрылғылардың электрлік схемалары зерттеліп, олардың өзара байланыстары және жұмыс алгоритмдері сипатталды. Arduino Uno, SIM900 GSM модулі және DHT11 температура сенсоры сияқты негізгі компоненттер қашықтан басқару жүйесінің негізін құрап, олардың функционалдылығы мен тұрақтылығы тәжірибелер барысында дәлелденді. Жүйенің жұмыс принципі SMS арқылы командаларды қабылдау және өңдеу, сонымен қатар температуралық деректерді өлшеп, қажетті әрекеттерді орындауға бағытталған. Жүйенің функционалдық сынақтары барысында "ON", "OFF" және "TEMP" командаларының дәлдігі мен жылдамдығы тексеріліп, олардың пайдаланушы талаптарына толық сәйкес келетіні анықталды. Температуралық деректерді SMS арқылы жеткізу жүйенің сенімділігін арттырып, пайдаланушыға нақты уақыт режимінде жүйенің күйін бақылауға мүмкіндік берді. Жалпы, жүйенің тұрақтылығы мен сенімділігі ұзақ мерзімді жұмыс жағдайында да жоғары деңгейде болды, бұл оның тұрмыстық және өнеркәсіптік қолдануға дайын екенін дәлелдеді. Зерттеу нәтижелері қашықтан басқару жүйелерін дамытуда сенсорлық желілер мен жоғары жиілікті озонаторларды біріктірудің тиімді тәсіл екенін көрсетті.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Broady A. B. Effectiveness of ozonated water irrigation against an established *Enterococcus faecalis* biofilm in root canal treated teeth in vitro : дис. – 2020. <http://dx.doi.org/10.7912/C2/1667>
2. Zambelli R. A. Principles of ozonation and its equipment //Non-thermal Food Processing Operations. – Woodhead Publishing, 2023. – С. 17-54. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818717-3.00006-8>
3. Brandenburg R., Becker K. H., Weltmann K. D. Barrier discharges in science and technology since 2003: a tribute and update //Plasma Chemistry and Plasma Processing. – 2023. – Т. 43. – №. 6. – С. 1303-1334. <https://doi.org/10.1007/s11090-023-10364-5>
4. Smirnov A. et al. Optimization of Processing Modes of Disinfection of Vegetable Storehouses With the Use of Ozone //Handbook of Research on Smart Computing for Renewable Energy and Agro-Engineering. – IGI Global, 2020. – С. 27-52. DOI: 10.4018/978-1-7998-1216-6.ch002
5. Pandiselvam R. et al. Ozone as a novel emerging technology for the dissipation of pesticide residues in foods—a review //Trends in Food Science & Technology. – 2020. – Т. 97. – С. 38-54. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.017>
6. Stucki S., Kogelschatz U. Advanced ozone generation //Process technologies for water treatment. – 1988. – С. 87-118. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-8556-1_9
7. Pecson B., Pisarenko A., Walker T. Integration of High-Frequency Performance Data for Microbial and Chemical Compound Control in Potable Reuse Treatment Systems. <https://www.waterrf.org/system/files/resource/2024-02/DRPT-4954.pdf>
8. Moretti A. et al. Integrated Water Cycle Sustainability: Water Reuse in Circular Economy (sonozone technology evaluation). – 2023. <https://hdl.handle.net/11390/1252724>
9. Loeb B. L. Forty years of advances in ozone technology. A review of ozone: Science & engineering //Ozone: Science & Engineering. – 2018. – Т. 40. – №. 1. – С. 3-20. <https://doi.org/10.1080/01919512.2017.1383129>
10. Kerey Y. et al. Research on the Process of Remotely Controlling an Ozonator with the Help of IoT //IFTToMM Asian conference on Mechanism and Machine Science. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2024. – С. 107-115. https://doi.org/10.1007/978-3-031-67569-0_13
11. Adamovich I. et al. The 2017 Plasma Roadmap: Low temperature plasma science and technology //Journal of Physics D: Applied Physics. – 2017. – Т. 50. – №. 32. – С. 323001. DOI 10.1088/1361-6463/aa76f5
12. Mosstafavi M. H., Karbassi A. R., Pazoki M. Optimization of energy consumption of ozone generator and plasma generator in decolorization and disinfecting of water system in urban residence //Int. J. Hum. Capital Urban Manage. – 2023. – Т. 8. – №. 4. – С. 457-468. DOI: 10.22034/IJHCUM.2023.04.02

13. Prabha V. et al. Ozone technology in food processing: A review //Trends in Biosciences. – 2015. – Т. 8. – №. 16. – С. 4031-4047. <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:tbs&volume=8&issue=16&artitle=001&type=pdf>

14. Wei C. et al. Ozonation in water treatment: the generation, basic properties of ozone and its practical application //Reviews in Chemical Engineering. – 2017. – Т. 33. – №. 1. – С. 49-89. <https://doi.org/10.1515/revce-2016-0008>

15. Abdykadyrov A. et al. Investigation of the Efficiency of the Ozonator in the Process of Water Purification Based on the Corona Discharge //Journal of Ecological Engineering. – 2023. – Т. 24. – №. 2. <https://doi.org/10.12911/22998993/156610>

16. Chew B. K. IOT based humidity and temperature control system for vegetables/fruits storage with ozone treatment : дис. – UTAR, 2024. <http://eprints.utar.edu.my/id/eprint/6689>

17. Brodowska A. J., Nowak A., Śmigielski K. Ozone in the food industry: Principles of ozone treatment, mechanisms of action, and applications: An overview //Critical reviews in food science and nutrition. – 2018. – Т. 58. – №. 13. – С. 2176-2201. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1308313>

18. Parsa Z., Dhib R., Mehrvar M. Dynamic Modelling, Process Control, and Monitoring of Selected Biological and Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: A Review of Recent Developments //Bioengineering. – 2024. – Т. 11. – №. 2. – С. 189. <https://doi.org/10.3390/bioengineering11020189>

19. Poznyak T., Oria J. I. C., Poznyak A. S. Ozonation and biodegradation in environmental engineering: dynamic neural network approach. – Elsevier, 2018. <https://books.google.kz/books?id=7sF2DwAAQBAJ&lpg=PP1&ots=Me6FuR5wMF&dq=Sensor>

20. Wang Z. Development and Validation of An Indoor Air Quality Assessment System Based on IoT Sensors : дис. – Concordia University, 2023. <https://spectrum.library.concordia.ca/id/eprint/993989/>

21. Levelt P. F. et al. The Ozone Monitoring Instrument: overview of 14 years in space //Atmospheric Chemistry and Physics. – 2018. – Т. 18. – №. 8. – С. 5699-5745. <https://doi.org/10.5194/acp-18-5699-2018>

22. Liu, W., & Zhang, J. (2021). Development and Application of Ozone Sensors for Environmental Monitoring. Environmental Science & Technology, 55(3), 1123-1132. DOI: 10.1021/es2025223

23. Chen, L., & Zhang, X. (2020). Ozone Detection and Measurement Using Electrochemical Sensors. Journal of Environmental Management, 259, 109893. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109893

24. Burkholder J. B., Cox R. A., Ravishankara A. R. Atmospheric degradation of ozone depleting substances, their substitutes, and related species //Chemical Reviews. – 2015. – Т. 115. – №. 10. – С. 3704-3759. <https://doi.org/10.1021/cr5006759>

25. Dewi T. et al. Modeling of ozone reactor for water treatment //Advances and Technology Development in Greenhouse Gases: Emission, Capture and

Conversion. – Elsevier, 2024. – C. 273-292. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-19071-1.00005-0>

26. Korotcenkov G., Brinzari V., Cho B. K. In₂O₃- and SnO₂- Based Thin Film Ozone Sensors: Fundamentals //Journal of Sensors. – 2016. – T. 2016. – №. 1. – C. 3816094. <https://doi.org/10.1155/2016/3816094>

27. Homola T. et al. Multi-hollow surface dielectric barrier discharge: an ozone generator with flexible performance and supreme efficiency //Plasma Sources Science and Technology. – 2020. – T. 29. – №. 9. – C. 095014. DOI 10.1088/1361-6595/aba987

28. Bellamy W. D. et al. Economics of ozone systems: new installations and retrofits //Ozone in Water Treatment. – Routledge, 2019. – C. 491-542. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780203744635-6>

29. Prombud T. et al. Ozone Treatment Strategies for Efficient Color Removal in Wastewater //2024 12th International Electrical Engineering Congress (iEECON). – IEEE, 2024. – C. 1-4. DOI: [10.1109/iEECON60677.2024.10537893](https://doi.org/10.1109/iEECON60677.2024.10537893)

30. Piferi C. et al. Cold plasmas for air purification and sanitation. – 2023. <https://hdl.handle.net/10281/402359>

31. Abdykadyrov A. et al. Optimization of digital control for high-frequency ozonators using radio direction-finding methods //International Journal of Advanced Logistics, Transport and Engineering. – 2024. – T. 9. – №. 1. – C. 1-8. <https://doi.org/10.52167/2790-5829-2024-9-1-1-8>

32. Hammadi N. et al. Development of high-voltage high-frequency power supply for ozone generation //J. Eng. Sci. Technol. – 2016. – T. 11. – №. 5. – C. 755-767.

33. Botondi R. et al. The use of ozone technology: an eco-friendly method for the sanitization of the dairy supply chain //Foods. – 2023. – T. 12. – №. 5. – C. 987. <https://doi.org/10.3390/foods12050987>

34. Lozina A. S. et al. Multifunctional DBD-Based Ozone Sterilizer with Ultrasonic Cavitation for Low-Temperature Treatment of Medical Tools //Plasma Medicine. – 2021. – T. 11. – №. 2. DOI: [10.1615/PlasmaMed.2021039629](https://doi.org/10.1615/PlasmaMed.2021039629)

35. Brodowska A. J., Nowak A., Śmigielski K. Ozone in the food industry: Principles of ozone treatment, mechanisms of action, and applications: An overview //Critical reviews in food science and nutrition. – 2018. – T. 58. – №. 13. – C. 2176-2201. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1308313>

36. Popa G. N., Popa L., Diniş C. M. Ozone and anions generator for disinfection of enclosed spaces //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – T. 1781. – №. 1. – C. 012047. DOI [10.1088/1742-6596/1781/1/012047](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1781/1/012047)

37. Niu D. et al. Optimized dosage control of the ozonation process in drinking water treatment //Measurement and Control. – 2021. – T. 54. – №. 5-6. – C. 692-700. <https://doi.org/10.1177/0020294021100716>

38. Krishnamurthi R. et al. An overview of IoT sensor data processing, fusion, and analysis techniques //Sensors. – 2020. – T. 20. – №. 21. – C. 6076. <https://www.mdpi.com/869554>

39. Aponte-Luis J. et al. An efficient wireless sensor network for industrial monitoring and control //Sensors. – 2018. – T. 18. – №. 1. – C. 182. <https://doi.org/10.3390/s18010182>
40. Jodzis S., Baran K. The influence of gas temperature on ozone generation and decomposition in ozone generator. How is ozone decomposed? //Vacuum. – 2022. – T. 195. – C. 110647. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2021.110647>
41. Humeres E. et al. Reaction mechanism of the reduction of ozone on graphite //Langmuir. – 2020. – T. 36. – №. 38. – C. 11225-11236. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.0c01372>
42. Gomes J. et al. Application of ozonation for pharmaceuticals and personal care products removal from water //Science of the Total Environment. – 2017. – T. 586. – C. 265-283. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.216>
43. Brodowska A. J., Nowak A., Śmigielski K. Ozone in the food industry: Principles of ozone treatment, mechanisms of action, and applications: An overview //Critical reviews in food science and nutrition. – 2018. – T. 58. – №. 13. – C. 2176-2201. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1308313>
44. Pusede S. E., Steiner A. L., Cohen R. C. Temperature and recent trends in the chemistry of continental surface ozone //Chemical reviews. – 2015. – T. 115. – №. 10. – C. 3898-3918. <https://doi.org/10.1021/cr5006815>
45. Mousavi S. M., Khademzadeh A., Rahmani A. M. The role of low- power wide- area network technologies in Internet of Things: A systematic and comprehensive review //International Journal of Communication Systems. – 2022. – T. 35. – №. 3. – C. e5036. <https://doi.org/10.1002/dac.5036>
46. Redwan M. A. et al. Real time environmental parameter analysis using IOT based platform : дис. – Brac University, 2020. <http://hdl.handle.net/10361/15419>
47. Huang K. et al. Real-time remote estimation with hybrid ARQ in wireless networked control //IEEE Transactions on Wireless Communications. – 2020. – T. 19. – №. 5. – C. 3490-3504. DOI: [10.1109/TWC.2020.2974225](https://doi.org/10.1109/TWC.2020.2974225)
48. Sauter M. From GSM to LTE-advanced Pro and 5G: An introduction to mobile networks and mobile broadband. – John Wiley & Sons, 2017. https://books.google.kz/books?id=_EkzDwAAQBAJ&lpg=PR13&ots=ste1iymjLB&dq=While
49. Muhaimin S. S., Shahi M. N. S., Orka N. A. Proportional-Integral-Derivative and Fractional Order Proportional-Integral-Derivative Controller Design for Load Frequency Control of A Two Area Automatic Generation Control System Tuned by Optimization Algorithms and Artificial Neural Networks : дис. – Department of Electrical and Electronic Engineering, Islamic University of Technology (IUT) The Organization of Islamic Cooperation (OIC) Board Bazar, Gazipur-1704, Bangladesh, 2022. <http://hdl.handle.net/123456789/1839>
50. Weigand J., Deflorian M., Ruskowski M. Input-to-state stability for system identification with continuous-time Runge–Kutta neural networks //International Journal of Control. – 2023. – T. 96. – №. 1. – C. 24-40. <https://doi.org/10.1080/00207179.2021.1978555>

51. Khoo M. C. K. Physiological control systems: analysis, simulation, and estimation. – John Wiley & Sons, 2018. <https://books.google.kz/books?id=K6xWDwAAQBAJ&lpg=PR13&ots=ZMx09uYyQ5&dq=Without>
52. Sumardi S. Lembar Review naik pangkat IVB Sumardi. DOI: 10.22111/IJFS.2017.3238
53. Al-Jorani A. S. I. Designing a Smart Safety Management System for Smart Cities : дис. – Fen Bilimleri Enstitüsü. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/132183>
54. Nižetić S. et al. Internet of Things (IoT): Opportunities, issues and challenges towards a smart and sustainable future //Journal of cleaner production. – 2020. – T. 274. – C. 122877. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122877>
55. Ali T. et al. Energy Data Logger Using Internet Of Things (IoT) : дис. – Department of Electrical and Electronic Engineering, Islamic University of Technology, Board Bazar, Gazipur, Bangladesh, 2019. <http://hdl.handle.net/123456789/727>
56. Wang Y., Chi Z. System of wireless temperature and humidity monitoring based on Arduino Uno platform //2016 Sixth International Conference on Instrumentation & Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC). – IEEE, 2016. – C. 770-773. DOI: 10.1109/IMCCC.2016.89
57. Hameed A. A., Sultan A. J., Booneya M. F. Design and implementation a new real time overcurrent relay based on Arduino MEGA //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2020. – T. 881. – №. 1. – C. 012142. DOI 10.1088/1757-899X/881/1/012142
58. Kondaveeti H. K. et al. A systematic literature review on prototyping with Arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations //Computer Science Review. – 2021. – T. 40. – C. 100364. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2021.100364>
59. Matijevic M., Cvjetkovic V. Overview of architectures with Arduino boards as building blocks for data acquisition and control systems //2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV). – IEEE, 2016. – C. 56-63. DOI: 10.1109/REV.2016.7444440
60. Salman A., Qamran T., Abu Dayya S. Design and Implementation of a monitoring and control system for power conversion networks. – 2020. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/7209>
61. Chew B. K. IOT based humidity and temperature control system for vegetables/fruits storage with ozone treatment : дис. – UTAR, 2024. <http://eprints.utar.edu.my/id/eprint/6689>
62. Tatar G., Kılıç O., Bayar S. FPGA based fault distance detection and positioning of underground energy cable by using GSM/GPRS //2019 International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT). – IEEE, 2019. – C. 1-6. DOI: 10.1109/ISAECT47714.2019.9069726
63. Wang Z. et al. IoT-based system of prevention and control for crop diseases and insect pests //Frontiers in Plant Science. – 2024. – T. 15. – C. 1323074. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1323074>

64. Kamel H. S., Gharghan S. K., Ibrahim I. A. Wireless power transmission for powering environmental sensors //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2024. – T. 3232. – №. 1. <https://doi.org/10.1063/5.0236310>
65. Bharathkumar V. et al. Microcontroller based digital meter with alert system using GSM //2017 11th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO). – IEEE, 2017. – C. 444-448. DOI: 10.1109/ISCO.2017.7856033
66. Merugu S., Kumar A., Ghinea G. Hardware, component, description //Track and Trace Management System for Dementia and Intellectual Disabilities. – Singapore : Springer Nature Singapore, 2022. – C. 31-48. DOI https://doi.org/10.1007/978-981-19-1264-1_5
67. Abdul Kareem A. H., Ahmed B. M., Abdul-Rahaim L. A. Design and Implementation of Humidity and Temperature Automation and Monitoring for Public Building Comfortable Climate Based on Cloud Platform //Przegląd Elektrotechniczny. – 2022. – T. 98. – №. 4. DOI10.15199/48.2022.04.21
68. Ren L., Yu X. Hardware implementation of STM32 microcontroller-based indoor environment monitoring system //Open Journal of Applied Sciences. – 2021. – T. 11. – №. 9. – C. 997-1008. DOI: 10.4236/ojapps.2021.119072
69. Rivaldi R. et al. PROTOTYPE OF AIR PURIFIER TO REDUCE AIR CONTAMINANTS AND ELIMINATE INSECTS BASED ON ESP32 AT UNIVERSITAS HARAPAN MEDAN //Jurnal Sistem Informasi dan Ilmu Komputer Prima (JUSIKOM PRIMA). – 2022. – T. 6. – №. 1. – C. 82-86. DOI: <https://doi.org/10.34012/jurnalsisteminformasidanilmukomputer.v6i1.2819>
70. Suresh S. et al. Home monitoring and security system //2016 International conference on ICT in business industry & government (ICTBIG). – IEEE, 2016. – C. 1-5. DOI: 10.1109/ICTBIG.2016.7892665
71. Debele G. M., Qian X. Automatic room temperature control system using Arduino Uno R3 and DHT11 sensor //2020 17th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP). – IEEE, 2020. – C. 428-432. DOI: 10.1109/ICCWAMTIP51612.2020.9317307
72. Puspitasari W. et al. Real-time monitoring and automated control of greenhouse using wireless sensor network: Design and implementation //2018 International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI). – IEEE, 2018. – C. 362-366. DOI: 10.1109/ISRITI.2018.8864377
73. Nasution T. H. et al. Electrical appliances control prototype by using GSM module and Arduino //2017 4th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA). – IEEE, 2017. – C. 355-358. DOI: 10.1109/IEA.2017.7939237
74. Islam R. U., Andersson K., Hossain M. S. Heterogeneous wireless sensor networks using CoAP and SMS to predict natural disasters //2017 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS). – IEEE, 2017. – C. 30-35. DOI: 10.1109/INFCOMW.2017.8116348
75. Borkar N. M. et al. Crop Monitoring System Using GSM //2023 International Conference on Self Sustainable Artificial Intelligence Systems

(ICSSAS). – IEEE, 2023. – C. 1665-1669. DOI: 10.1109/ICSSAS57918.2023.10331899

76. ABAS S. A. L. I. DESIGN AND IMPLEMENTATION OF INTERCOMMUNICATION FOR SECURITY SERVICE WITHIN AN INSTITUTION : дис. – ULK, 2024. <http://hdl.handle.net/123456789/256>

77 Iribarren S. J. et al. Scoping review and evaluation of SMS/text messaging platforms for mHealth projects or clinical interventions //International journal of medical informatics. – 2017. – T. 101. – C. 28-40. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2017.01.017>

78. Zhang J., Qun Y. Design of the electronic bulletin board based on wireless sensor //2017 IEEE 3rd Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC). – IEEE, 2017. – C. 808-811. DOI: 10.1109/ITOEC.2017.8122464

79. Dunbar N. Arduino Software Internals: A Complete Guide to How Your Arduino Language and Hardware Work Together. – Apress, 2020. <https://books.google.kz/books?id=4SjfDwAAQBAJ&lpg=PR5&ots=Hp5ye6AC-K&dq=Once>

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

7M06201 Телекоммуникация білім беру бағдарламасының магистранты
Бағдоллаұлы Есеннің
Магистрлік диссертациясына

СЫН ПІКІР

Тақырыбы: Жоғары жиілікті озонаторды сенсорлық желі көмегімен тиімділігін зерттеу

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ ЖАСАУ

Диссертациялық жұмыста Бағдоллаұлы Есен жоғары жиілікті озонаторды сенсорлық желі көмегімен басқарудың тиімділігін зерттеуді іске асырды. Зерттеу жұмысы келесі бөлімдерден тұрды:

Бірінші бөлімде жоғары жиілікті озонаторларды сенсорлық желілермен басқару саласындағы соңғы зерттеулерге шолу жасалып, озонаторларды басқару технологияларының даму тарихы мен олардың артықшылықтары қарастырылды. Сенсорлық желілердің озонаторларды басқаруда қолданылуындағы өзекті мәселелер және келешегі талданды.

Екінші бөлімде жоғары жиілікті озонаторлардың жұмыс принциптері, тиімділік параметрлері және сенсорлық желілерді қолдану негізінде озонаторды басқару жүйелерінің теориялық аспектілері қарастырылды. Температураның озонатор жұмысына әсер етуі зерттеліп, математикалық модельдер ұсынылды.

Үшінші бөлімде озонаторды сенсорлық желі арқылы қашықтан басқарудың эксперименттік нәтижелері ұсынылды. Эксперимент барысында озонатордың температуралық параметрлері негізінде тиімділікті арттыру әдістері зерттеліп, сенсорлық желі мен GSM модулі арқылы басқару жүйесінің аппараттық және бағдарламалық қамтамасыз етуі құрастырылды. Зерттеу нәтижелері талданып, практикалық ұсыныстар берілді.

Қорытындылай келе, Бағдоллаұлы Есен сенсорлық желі арқылы жоғары жиілікті озонатордың тиімділігін арттыру бойынша ғылыми және практикалық тұрғыдан маңызды нәтижелерге қол жеткізді. Жұмыс барысында қолданылған әдістер нақты және қазіргі заманғы өзекті мәселелерді шешуге негізделген.

ЖҰМЫС БАҒАСЫ

Бағдоллаұлы Есеннің магистрлік диссертациясы жақсы орындалған және құрылғы жақсы жобаланған. Құрылғы барлық талаптарға сай және адамдарға көмектесу үшін қосқан құнды үлесін білдіреді және жоғары бағаға лайық. Жұмыс кәсіби деңгейде орындалды және телекоммуникация саласындағы магистрлік диссертацияларға қойылатын барлық талаптарға сәйкес келеді.

Магистрлік диссертация **өте жақсы** (А, 95%) деп бағаланып, магистрант Бағдоллаұлы Есен 7M06201 – Телекоммуникация БББ бойынша «техника ғылымдарының магистрі» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Сын - пікір беруші

Г.Дәукеев атындағы Алматы энергетика
және байланыс университетінің доценті, PhD, т.ғ.к

(қызметі, ғыл. дәрежесі, атағы)

 Ермекбаев М. М.
(қолы)

« 08 » 01 2025 ж.

Ф КазҰТЗУ 704-22. Рецензия



Бағдоллаұлы Есеннің
«Жоғары жиілікті озонаторды сенсорлық желі көмегімен тиімділігін зерттеу»
тақырыбындағы
магистрлік диссертациясына
**ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ
СЫН ПІКІР**

7M06201 – «Телекоммуникация»

Бағдоллаұлы Есен жоғары жиілікті озонаторларды сенсорлық желілермен басқару саласындағы зерттеулерге үлкен назар аударып, тақырыпты жан-жақты зерттеп, заманауи технологияларды қолдану арқылы өзекті мәселелерді шешудің тиімді жолдарын ұсына білген. Зерттеу тақырыбы қазіргі таңда ғылыми және практикалық тұрғыдан өте маңызды болып табылады, себебі озонаторларды қашықтан басқару және сенсорлық желілерді интеграциялау экологиялық және өнеркәсіптік салаларда тиімділік пен үнемділікті арттыруға мүмкіндік береді.

Жұмыста озонаторларды басқару технологияларының даму тарихы мен қазіргі жағдайы жан-жақты қарастырылып, жоғары жиілікті озонаторлардың жұмыс принциптері мен тиімділік параметрлері зерттелген. Сонымен қатар, сенсорлық желілердің озонаторларды басқару жүйесіндегі рөлі анықталып, қашықтан басқару жүйелері (GSM) арқылы озонаторларды басқарудың математикалық негіздері мен алгоритмдері талданған. Жұмыста температураның озонатордың жұмыс көрсеткіштеріне әсері теориялық тұрғыдан зерттеліп, тиімді басқару шешімдерін ұсынуға баса назар аударылған.

Бағдоллаұлы Есен жұмыстың құрылымын логикалық түрде құрып, әр бөлімде нақты ғылыми және практикалық мәселелерді шешудің әдістемелік негіздерін көрсеткен. Сонымен қатар, жұмыста жүйенің электрлік схемасы, жалпы құрылымдық және функционалдық схемасы, сондай-ақ құрылғы элементтерінің сипаттамалары талданып, олардың тиімділігі эксперименттік сынақтар арқылы дәлелденген.

Жұмыс бағасы

Бағдоллаұлы Есеннің магистрлік диссертациясы жақсы орындалған және құрылғы жақсы жобаланған. Қойылған барлық талаптарға сай және адамдарға көмектесу үшін қосқан үлдісін білдіреді және жоғары бағаға лайық. Жұмыс кәсіби деңгейде орындалды және телекоммуникация саласындағы магистрлік диссертацияларға қойылатын барлық талаптарға сәйкес келеді. Магистрлік диссертация өте жақсы (А, 95%) деп бағаланып, магистрат Бағдоллаұлы Есен 7M06201 – Телекоммуникация білім беру бағдарламасы бойынша «техника ғылымдарының магистрі» академиялық дәрежесіне ұсынылды.

Ғылыми жетекші
ЭТЖТ кафедрасының
кауымдастырылған профессор, т.ғ.к
(кәсіп, ғыл. дәрежесі, атағы)
Абдықадыров А.А.

«9» _____ 2025 ж.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Бағдоллаұлы Есен

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Жоғары жиілікті озонаторды сенсорлық желі көмегімен тиімділігін зерттеу

Научный руководитель: Асқар Абдыкадыров

Коэффициент Подобия 1: 1.3

Коэффициент Подобия 2: 0.2

Микропробелы: 13

Знаки из здругих алфавитов: 4

Интервалы: 4

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:

09.01.2025 г.
Дата



Таштай Е.
Заведующий кафедрой

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

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

Автор: Бағдоллаұлы Есен

Тақырыбы: Жоғары жиілікті озонаторды сенсорлық желі көмегімен тиімділігін зерттеу

Жетекшісі: Асқар Абдыкадыров

1-ұқсастық коэффициенті (30): 1.3

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0.2

Дәйексөз (35): 0.4

Әріптерді ауыстыру: 4

Аралықтар: 4

Шағын кеңістіктер: 13

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:

09.01.2025 г.
Күні



Таштай Е.
Кафедра меңгерушісі

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Бағдоллаұлы Есен

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Жоғары жиілікті озонаторды сенсорлық желі көмегімен тиімділігін зерттеу

Научный руководитель: Асқар Абдыкадыров

Коэффициент Подобия 1: 1.3

Коэффициент Подобия 2: 0.2

Микропробелы: 13

Знаки из других алфавитов: 4

Интервалы: 4

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:

09.01.2025 г.
Дата



Марксұлы С.
проверяющий эксперт