

**С. Марксұлы**, А. Абдықадыров, П.Б. Ақылжан, Е. Бағдоллаұлы  
Satbayev University, Алматы, Қазақстан  
E-mail: Sungat50@gmail.com

## ОЗОНАТОРДЫ БАСҚАРУДЫҢ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ҮШІН СЫМСЫЗ СЕНСОРЛЫҚ ЖЕЛІЛЕРДІҢ ӨНІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ ӘДІСТЕРІ

**Аңдатпа.** Бұл ғылыми зерттеу жұмысы озонаторларды басқару жүйелерінің тиімділігін бағалау мен деректерді беру үшін сенсорлық желіні пайдалану тиімділігін зерттейді. Озон әртүрлі қолданбаларда, соның ішінде суды тазарту және қоршаған ортаны қалпына келтіруде маңызды рөл атқарады. Озонаторды басқаруды оңтайландыру энергия шығыны мен пайдалану шығындарын азайту кезінде қажетті нәтижелерге қол жеткізу үшін өте маңызды. Біз озон деңгейін бақылау және озонаторды басқару жүйелерінің тиімділігін бағалау үшін сенсорлық желіні қолданатын әдістемені ұсынамыз. Сенсорлық желіден жиналған деректер бақылау шараларының тиімділігін бағалау үшін талданады. Нәтижелер тиімділік пен қоршаған ортаға әсерді арттыру үшін озонаторларды басқару стратегияларын жетілдіру туралы түсінік береді. Озонмен суды немесе ауаны зиянды заттектерден залалсыздандыру үрдісінің тиімділігі бірнеше айнымалыларға байланысты: газ концентрациясы, температура және ылғалдылық. Бұл айнымалылар қашықтан бақыланып, жазылғанда, деректердің сенімділік деңгейі мен жұмыс қауіпсіздігі жоғарылайды. Осы мақсатта сенсорлардың сымсыз желілерін пайдалану, артықшылығы бар технологиялық балама болып табылады. Ғылыми жұмыс озонмен ауа немесе суды залалсыздандыру үрдісін бақылау кезінде сенсорлардың сымсыз желісінің конфигурациясындағы деректерді енгізу мен талдауды зерттейді, мұнда маңызды айнымалыларды бақылауға және олардың жазбаларын сақтауға болады. Сонымен қатар, желінің өнімділігін бағалау үшін қабылданған сигнал деңгейінің көрсеткіші тексеріледі. Нәтижелер сымсыз сенсорлар бақылау үрдісін жақсартып қана қоймай, сонымен қатар үрдістің қауіпсіздігіне ықпал ететін қайталанатын жазбаларды жасауға мүмкіндік беретінін көрсетті.

**Түйінді сөздер.** Сенсорлық желі, сымсыз сенсорлық желілер, деректерді беру, озонаторды басқару, бағалау әдістемесі, бағалау критерийлері, тиімділік, қоршаған ортаны бақылау, кешенді бағалау.

### Кіріспе.

Озондау - күшті тотығу мен залалсыздандыру қасиеттеріне байланысты тамақ өнеркәсібінде микроорганизмдерді жою, азық-түлік қауіпсіздігін жақсарту және сақтау мерзімін ұзарту [1], сол сияқты ауыз су [2] және қоршаған ортадағы ауа [3] құрамындағы зиянды заттектерді жою үрдісінде кеңінен қолданылатын әдісі. Ауыз су мен ағынды суларды тазарту үшін озондаудың әлемдік әлеуеті бойынша, озонаторларды тиімді басқару энергия шығыны мен пайдалану шығындарын азайту кезінде оңтайлы өнімділікті қамтамасыз ету үшін қажет [4]. Озон деңгейін бақылаудың дәстүрлі әдістерінде көбінесе нақты уақыттағы деректер мен кеңістіктік қамту жетіспейді, бұл бақылау жүйелерінің тиімділігін жан - жақты бағалауды қиындатады. Бұл зерттеуде озонаторларды бақылау стратегияларының тиімділігін бағалау үшін озон концентрациясын үздіксіз бақылау үшін сенсорлық желіні пайдалануды ұсынамыз. Микроорганизмдердің өсуін бақылау, азық-түлік қауіпсіздігін жақсарту және сақтау мерзімін ұзарту үшін озон технологиясын қолдану:

#### *А. Сенсорлық желіні орнату.*

Біз мақсатты ортаға стратегиялық орналастырылған озон сенсорларынан тұратын сенсорлық желіні орналастырамыз. Датчиктер олардың дәлдігі, сенімділігі және деректерді беру үшін таңдалған байланыс хаттамасымен үйлесімділігі негізінде таңдалады.

«Сенсорлық желі» - тұжырымдамасы қазіргі уақытта қалыптасқан термин болып табылады. Бұл желі миниатюралық дербес сенсорлардың таратылған, өзін - өзі ұйымдастыратын жүйесінен тұрады. Датчиктер сымсыз байланыс арнасын деректерді беру құралы ретінде пайдаланады. Сенсорлық желілердің басты ерекшелігі - хабарламаларды бір элементтен екіншісіне қайта жіберу мүмкіндігі, бұл ақпаратты таратқыштың қуаты төмен болған кезде айтарлықтай қашықтыққа жіберуге мүмкіндік береді. Қазіргі уақытта әртүрлі техника салаларының мамандары сымсыз құрылғыларды пайдалануға қызығушылық танытуда. Бұл қызығушылық сымсыз құрылғылардың бұрын алуға болмайтын немесе қол жеткізуге айтарлықтай шығындар қажет болатын ақпаратқа қол жеткізуіне байланысты. Ақпаратқа қол жеткізу мәселесі өлшеу объектісі ақпарат жинау орталығынан алыс болуы мүмкін немесе деректерді беру үшін кабельдік желіні пайдалануды болдырмайтын жағдайларда туындайды.

Қатаң операциялық талаптардан басқа, сымсыз жүйе тапсырманы орындау үшін сақталуы керек функционалдық көрсеткіштер жиынтығына бағынады. Әрбір сымсыз желіде құрылғылардың орналасуымен және олардың техникалық сипаттамаларымен анықталатын жеке параметрлер жиынтығы бар [5]. Олардың ішіндегі ең маңыздылары төменде келтірілген:

- желідегі түйіндер саны;
- байланыс арналары арқылы деректерді беру жылдамдығы;
- желі топологиясы кез келген екі түйін арасында радиоарнаның болуымен немесе болмауымен анықталады;
- түйін тығыздығы - бір желілік түйінге «көршілердің» орташа саны [6]. Бұл параметр толығымен ағымдағы топологиямен анықталғанымен, оны желіні шамамен бағалау үшін пайдалануға болады;
- желінің диаметрі - желінің ең алыс екі түйіні арасында деректерді беру үшін қажет ең аз қайта жіберу саны. Тығыздық сияқты, бұл параметр толығымен топологиямен анықталады және оны бір параметрді қолдана отырып, желіні жан - жақты бағалау үшін пайдалануға болады;
- кідіріс - оқиғаның басталуынан базалық станцияда ол туралы ақпарат пайда болғанға дейінгі кідірісті анықтайтын параметр;
- желінің жұмыс уақыты - батареяны ауыстырусыз немесе қайта зарядтаусыз жүйенің жұмыс уақытын анықтайды;
- өткізу қабілеті - бұл параметр уақыт бірлігінде желі арқылы өтетін ақпарат көлемін анықтайды.

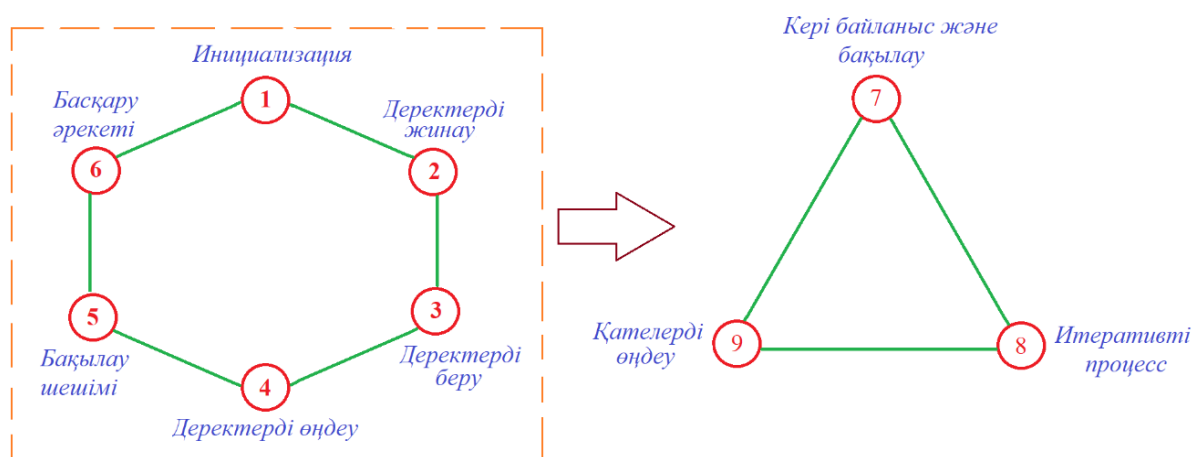
Әртүрлі қосымшалар өздерінің нақты талаптарын қоятындықтан, жүйені таңдау, ең алдымен тапсырманы тиімді шешуге мүмкіндік беретін параметрлерді бағалайды. Мысалы, нақты уақыттағы Операциялық жүйе үшін ең маңызды параметр - жоғары деректер жылдамдығы және төмен кідіріс, ал сымсыз өртті анықтау жүйесі үшін максималды үздіксіз жұмыс уақыты, техникалық қызмет көрсетудің қарапайымдылығы және ауқымдылығы өте маңызды.

*Б. Деректерді жинау және беру.* Озонның бастапқы деңгейлері озонаторды бақылау шаралары қабылданғанға дейін тіркеледі. Сенсорлық желі бақылау кезеңінде озон концентрациясы туралы деректерді үздіксіз жинайды. Деректерді беру нақты уақыт режимінде мониторинг пен талдауды жүзеге асыруға мүмкіндік беретін сымсыз байланыс хаттамасы бойынша жүзеге асырылады. Жиналған деректер озонаторды басқарудың

тиімділігін бағалау үшін талданады. Озон концентрациясының өзгеру заңдылықтары мен тенденцияларын анықтау үшін регрессиялық талдау және уақыт қатарын модельдеу сияқты статистикалық әдістер қолданылады. Бақылау шараларының әсерін сандық бағалау үшін энергияны тұтыну мен озонды кетіру тиімділігін қоса алғанда, негізгі тиімділік көрсеткіштері бағаланады.

### Материалдар мен тәсілдер.

Бүгінгі күні сымсыз сенсорлық желінің тиімділігін кешенді бағалаудың әдістемесі жоқ. Жүйенің тиімділігін анықтаудың ең кең тараған әдісі оның жұмысын жеке тандалған критерийге сәйкес бағалауға негізделген. Бұл әдіс салыстырмалы түрде қарапайым және тиімді. Бұл жағдайда ең тиімді жүйе тандалған параметр бойынша басқалардан асып түсетін жүйе болып саналады. Сымсыз сенсорлық желі арқылы озонаторды басқарудың негізгі алгоритмі төмендегі 1 - суретте берілген:



1 сурет - Сымсыз сенсорлық желі көмегімен озонаторды басқару алгоритмі

Бұл алгоритм сымсыз сенсорлық желіні пайдаланып озонаторды басқаруға негіз береді, бірақ нақты іске асыру қолданба талаптарына, қоршаған орта жағдайларына және қол жетімді технологияларға байланысты өзгеруі мүмкін.

Мұндағы:

1) *Инициализация* – мұнда сымсыз сенсорлық желі түйіндері мен озон концентрациясын бақылау қажет ортада сенсорлық түйіндерді орналастырылады.

2) *Деректерді жинау* – мұнда әрбір сенсорлық түйін өз ортасынан деректерді жинайды. Датчиктер озон концентрациясы, температура, ылғалдылық және басқа да маңызды факторлар сияқты параметрлерді өлшейді. Деректерді іріктеу қосымшаның талаптарына байланысты мезгіл-мезгіл жасалады (мысалы, әр минут сайын, әр сағат сайын).

3) *Деректерді беру* - сенсорлық түйіндер жиналған деректерді сымсыз орталық басқару блогына немесе шлюз түйініне жібереді. Деректерді беруді мезгіл - мезгіл жоспарлауға немесе белгілі бір оқиғалармен бастауға болады (мысалы, өлшенетін параметрлердегі елеулі өзгерістер).

4) *Деректерді өңдеу* - орталық басқару блогы барлық сенсорлық түйіндерден деректерді алады. Ол озон концентрациясы мен температураны қоса алғанда, ағымдағы қоршаған орта жағдайларын талдау үшін кіріс деректерін өңдейді.

5) *Бақылау шешімі* - талданған мәліметтер негізінде басқару блогы озон концентрациясын бақылауға қатысты шешімдер қабылдайды. Ол қажетті озон деңгейін

және қоршаған орта жағдайларын сақтау үшін озонатордың жұмысын реттеу керектігін анықтайды.

6) *Басқару әрекеті* - басқару блогы озонаторға өз жұмысын сәйкесінше реттеуге нұсқау бере отырып, сымсыз командалар жібереді. Басқару әрекеттері озон өндірісін ұлғайтуды немесе азайтуды, желдету үшін желдеткіш жылдамдығын реттеуді немесе температураны реттеу үшін жылыту/салқындату жүйелерін белсендіруді қамтыйды.

7) *Кері байланыс және бақылау* - басқару әрекеттерін орындағаннан кейін жүйе қоршаған орта параметрлерін бақылауды жалғастырады. Сенсорлық түйіндер жаңа деректерді жинайды және оларды кері байланыс үшін басқару блогына жібереді. Басқару блогы басқару әсерлерінің тиімділігін бағалайды және қажет болған жағдайда оларды түзетеді.

8) *Итеративті процесс (үрдіс)* - алгоритм деректерді үздіксіз жинау, талдау, басқару шешімдерін қабылдау және қажет болған жағдайда басқару әсерлерін реттеу арқылы итеративті түрде жұмыс істейді. Бұл озонатордың озон концентрациясының оңтайлы деңгейлерін және уақыт өте келе қоршаған орта жағдайларын сақтауын қамтамасыз етеді.

9) *Қателерді өңдеу* - байланыс қателерін, сенсорлардың істен шығуын немесе басқа күтпеген оқиғаларды өңдеу механизмдерін енгізеді. Жүйенің сенімділігін қамтамасыз ету үшін брондау және қателерді тексеру механизмдері қосылады.

Өткізу қабілеттілігі және кідіріс сияқты параметрлер әдетте желілер мен олардың арналарының сапасын бағалау үшін қолданылады [6]. Бұл параметрлер жалпы мақсаттағы желілік операциялардың тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді. Күрделі құрылымы бар сымсыз желілер салыстырмалы түрде көп түйіндер мен байланыс арналарынан тұрады және негізінен жалпы мақсаттағы желілер емес [7]. Осылайша, желінің тиімділігін тек бір арна немесе түйін үшін сапа көрсеткіштері арқылы бағалау мүмкін емес. Сондықтан бірыңғай критерий негізінде тиімділікті бағалау бүкіл желі үшін жүргізілуі керек [6]. Сымсыз сенсорлық желілер шешетін типтік тапсырмаларға бағытталған сапаны бағалаудың үш критерийі бар:

*Жалпы орташа кідіріс критерийі* [7,9]:

$$\sum_{i=1}^N M(h_{iB}) \rightarrow \min . \quad (1)$$

Мұндағы  $N$  - желі түйіндерінің саны;  $M(h_{iB})$  -  $i$  түйіннен базалық станцияға дейін деректерді жеткізу уақытын математикалық күту. Бұған тікелей жіберу уақыты, сондай-ақ арна деңгейіндегі тасымалдауды инициализациялау уақыты, түйін маршрутизаторларындағы кезектерді күту және т.б. сияқты басқа кідірістер кіреді. Бұл критерий жеке пакеттерді жеткізудің кешігуі маңызды емес, бірақ желіден жалпы тиімді өнімділік күтілетін жүйелер үшін жарамды. Мысал ретінде ғылыми зерттеулерге арналған жүйелерді, одан әрі өңдеу үшін статистикалық деректерді жинауды және өндірістік объектілердегі есепке алу жүйелерін келтіруге болады. Мұндай жүйелердегі деректерді жинау және өңдеу уақыт бойынша еркін байланысқан екі түрлі кезең болып табылады деп болжануда.

*Максималды кідіріс критерийі* [6,9]:

$$\max_{t \in T} (h_{iB}(t)) \rightarrow \min . \quad (2)$$

Мұндағы  $i = 1 \dots \dots N$ ,  $T$  - жүйенің жұмыс уақыты.

Орташа жеткізу уақыты критерийі  $h_{iB}(t)$  -  $t$  жүйесінің жұмыс кезеңінде  $i$  түйіннен базалық станцияға деректерді жеткізуге жұмсалған орташа уақыт ретінде анықталады, бұл

критерий нақты уақыт жүйелеріне қолданылуы мүмкін, олар үшін байланыс сапасының белгілі бір деңгейін қажет етеді. Мұндай жүйелер өнеркәсіптік апаттар туралы ескерту жүйелері болып табылады. Бұл жүйелер сенсорлар анықтайтын параметрлердің өзгеруіне жылдам жауап беруді қажет етуі мүмкін. Мысалы, адам пайда болған кезде жарылғыш аймақта озонаторды дереу өшіру.

*Орташа кідіріс критерийі* [8,9]:

$$\max_{i=1 \dots N} (M(h_{iB})) \rightarrow \min. \quad (3)$$

Бұл критерий әр түйін үшін байланыс сапасының қажетті деңгейін қажет ететін, бірақ қысқа мерзімді үзілістерге мүмкіндік беретін нақты уақыттағы жүйелер үшін пайдаланылуы мүмкін.

### **Нәтижелер мен талқылаулар.**

Жүргізілген талдау озонаторларды басқару стратегияларының тиімділігі туралы түсінік алуға мүмкіндік береді. Бақылау шараларына дейін және одан кейінгі озон деңгейлерін салыстыру қоршаған орта жағдайларына әсерін көрсетеді. Сонымен қатар, энергияны тұтыну деректері оңтайландырылған басқару арқылы қол жеткізілген тиімділіктің артуын көрсетеді.

Күрделі жүйелер көптеген параметрлермен сипатталады, көбінесе кейбір жүйелер белгілі бір параметрлер бойынша оңтайлы болады. Мұндай жағдайларда жүйелерді формальды ережесіз немесе критерийсіз бағалау оңай емес. Ұсынылған әдістеме параметрлердің ерікті санына негізделген тиімділікті бағалауды қамтиды. Бағалау екі кезеңде жүргізіледі. Бірінші кезеңде жүйеде арнайы жасалған модельдерді қолдана отырып әртүрлі сынақтар жүргізіледі. Бұл тестілер жеке параметрлердің мәндерін - бағалау критерийлерін анықтауға мүмкіндік береді. Сынақтар пайдаланудың барынша қолайсыз жағдайларында: радио кедергілердің жоғары деңгейінде, кедергілердің болуында, желі элементтерінің істен шығуында және т. б. жүргізілуі тиіс. Әрбір сынақ берілген жұмыс жағдайында жүйенің бір параметрін бағалауға мүмкіндік береді. Жүйені бағалаудың екінші кезеңінде пайдалану ұсынылады өлшенген тиімділік критерийі. Өлшенген критерий бағалаудың бірінші кезеңінде алынған жеке критерийлердің маңыздылығын ескеруге мүмкіндік береді. Тиімділіктің интегралды критерийінің мәні төмендегі (4) өрнекпен анықталады [9].

$$k = \sum_{i=1}^N \alpha_i k_i. \quad (4)$$

Мұндағы  $N$  - нақты критерийлердің саны,  $k_i$  - олардың бағаланатын жүйе үшін мәндері, ал  $\alpha_i$  - олардың сәйкес салмақ коэффициенттері (салмақ). Белгілі бір критерийдің екіншісіне өтемақысын болдырмау үшін олардың мәндері максималды түрде қолданылады. Ең жақсы жүйе критерийдің максималды мәні негізінде таңдалады [7,9].

$$k(s) = \max_{s \in S} \sum_{i=1}^N \alpha_i \frac{k_i}{k_{i,max}}.$$

Салмақ коэффициенттері максимизацияланатын критерийлер үшін оң және минимизацияланатын критерийлер үшін теріс деп қабылданады. Салмақ коэффициенттерінің мәндерін таңдау үшін екі тәсіл қолданылады:

- коэффициенттер ретінде бөлшек сандар қолданылады, олардың қосындысы әр жүйе үшін бірлікке тең;

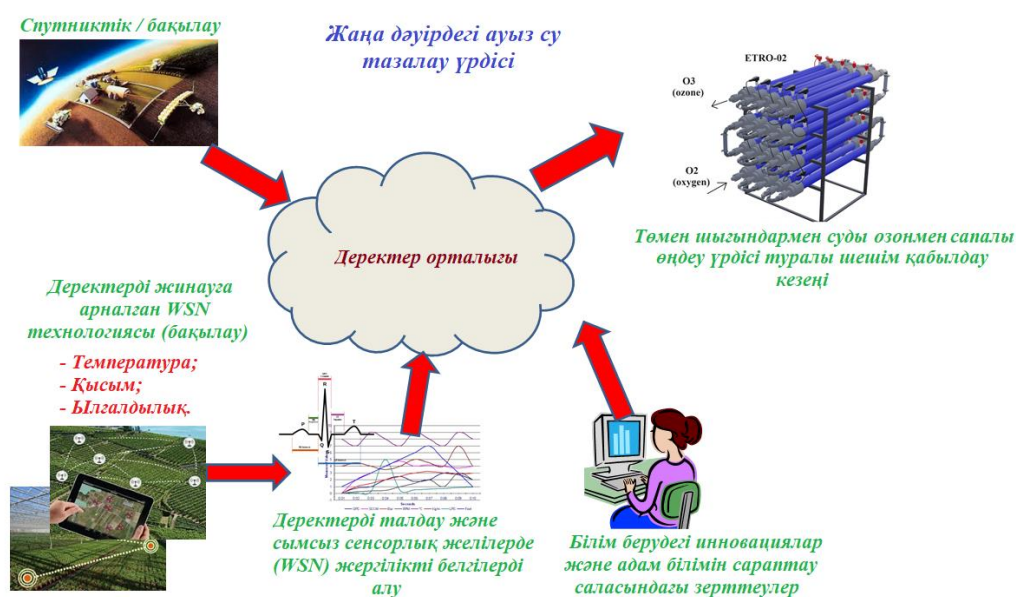


- бүтін коэффициенттер қолданылады, мұнда бірлік коэффициентіне ең аз маңызды нақты критерий беріледі, ал қалғандарына бірлікке еселік мәндер беріледі.

Қалай болғанда да, неғұрлым маңызды нақты критерий үлкен абсолютті мәні бар коэффициентке сәйкес келеді.

Алгоритмдердің, ортаға қол жеткізу әдістерінің және дайын сымсыз шешімдердің көптігіне байланысты жүйені және оның негізгі параметрлерін таңдау және оның тиімділігін бағалау тривиальды емес міндетке айналады. Бір өлшемге негізделген қолданыстағы бағалау әдістемесі жеңілдетілген болып көрінеді және бір жүйенің басқалармен салыстырғанда тиімділігіне жан-жақты баға беруге мүмкіндік бермейді. Ұсынылған көп өлшемді бағалау әдістемесі белгілі бір жағдайларда қолдану үшін жүйе мен параметрлерді таңдауды айтарлықтай жеңілдетеді. Бұл әдістеме жүйенің өнімділігін жан-жақты бағалауға мүмкіндік береді және пайдаланушыға салмақ коэффициенттерінің мәндерін таңдауды қалдырып, жоғары икемділікті қамтамасыз етеді. Осылайша, бұл жүйені берілген жағдайларда жүйенің жұмыс істеуі үшін әр критерийдің маңыздылығына қарай бағалауға мүмкіндік береді.

*Тәжірибелік қондырғы:* біз озон концентрациясы, температура, ылғалдылық және қысым сияқты тиісті параметрлерді өлшеу үшін көптеген сенсорлық түйіндері бар WSN - мен жабдықталған зертханалық масштабтағы озондау жүйесі жобаланды (2 сурет). Тәжірибелік қондырғы озонаторды практикалық басқару кезінде кездесетін типтік жұмыс жағдайларына негізделді.

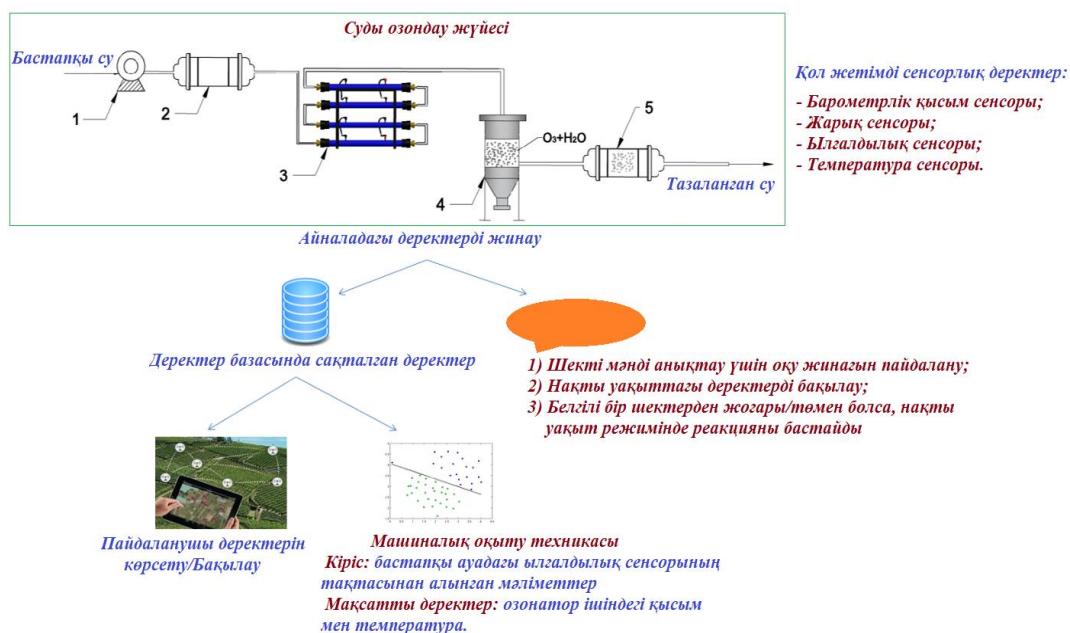


2 сурет - Суды озон технологиясы арқылы залалсыздандырып, тазалау үрдісіне арналған сымсыз сенсорлық желілер

WSN деректері нақты уақыт режимінде әртүрлі жұмыс сценарийлері, соның ішінде стационарлық жағдайлар мен өтпелі кезеңдер кезінде жиналды. Жиналған деректерді талдау және заңдылықтарды, тенденциялар мен ауытқуларды анықтау үшін корреляциялық талдау, уақыт қатарын талдау және сигналдарды өңдеу әдістері сияқты статистикалық әдістер қолданылды.

Жүргізілген талдау негізінде біз дәлдік, сенімділік, жауап беру жылдамдығы, энергия тиімділігі және масштабталу тұрғысынан WSN тиімділігін сандық бағалау үшін өнімділік көрсеткіштерінің жиынтығын анықтадық. Бұл көрсеткіштер әртүрлі жағдайларда WSN жалпы өнімділігі мен өнімділігі туралы түсінік береді (3 сурет).

Бұл суды залалсыздандырып, тазалау үрдісіндегі деректерді басқару сұлбасы су тазалау бекеттеріндегі немесе су шаруашылығы саласындағы ылғалдылық, ауа қысымы және озонатор камерасы ішіндегі температура параметрлері сияқты деректерді бақылау және жинау үшін сенімді сымсыз сенсорлық желі жүйесін (WSN) жобалауға және құруға бағытталған. Бұл жүйе WSN әдістері мен машиналық оқыту алгоритмдерін қолдана отырып, деректерді тіркеу және талдау қызметтерін ұсынуға мүмкіндік береді. Біз WSN-дің озық технологиясын су тазалау үрдісінде нақты уақыт режимінде деректерді жинау және өндіріс шығындарын төмендете алады деп санаймыз. Сенсорлық түйіндер атмосфералық қысым, жарық, ылғалдылық және температура туралы деректерді жинайды. Жиналған деректерді объектіде нақты уақыт режимінде дабыл жүйесінің триггерлерін орнату үшін пайдалануға болатын қосымша талдау үшін пайдаланамыз деп үміттенеміз.



3 сурет - Суды залалсыздандырып, тазалау үрдісіндегі деректерді басқару сұлбасы

Мұндағы 3 – суретте суды озондау жүйесінде: 1 - компрессор; 2 - ауа келтіру құрылғысы; 3 - ЭТРО - О3 озонатор қондырғысы; 4 - суды залалсыздандыру резервуары; 5 - мембранды сүзгі.

Эксперименттік нәтижелерді толықтыру және ұсынылған WSN архитектурасының масштабталуын бағалау үшін біз үлкен масштабты орналастыру сценарийлерін модельдеу және пакеттің жоғалуы, кідіріс және өткізу қабілеттілігі сияқты желілік өнімділік көрсеткіштерін бағалау үшін желіні модельдеу құралдарын (мысалы, NS-3 немесе OMNeT++) қолдана отырып модельдеу моделін жасадық.

Зерттеу озонаторды басқарудың тиімділігін бағалау үшін сенсорлық желілердің пайдалылығын көрсетеді. Нақты уақыттағы деректерді беру басқару стратегияларын алдын-ала реттеуге мүмкіндік береді, нәтижесінде өнімділік пен ресурстарды пайдалану жақсарады. Датчиктердің дәлдігі мен байланыстың сенімділігі, сондай-ақ болашақ зерттеулердің ықтимал бағыттары сияқты шектеулер талқыланады. Тәжірибелік деректерді талдау озон концентрациясы, қоршаған орта параметрлері және WSN өлшемдері арасындағы күшті корреляцияны анықтады, бұл озонаторды басқару үшін тиісті ақпаратты жинауда орналастырылған сенсорлық түйіндердің тиімділігін көрсетеді.

WSN өнімділік көрсеткіштерін сандық бағалау динамикалық жұмыс жағдайында да минималды кідіріс пен қуат тұтынуымен сенсорларды өлшеудің жоғары дәлдігі мен

сенімділігін көрсетті. Масштабталуды талдау сонымен қатар өнімділікке нұқсан келтірместен үлкенірек қолданбалар үшін WSN кеңейтімінің орындылығын көрсетті.

Бұл зерттеудің нәтижелері озонаторларды басқару жүйелерінің тиімділігін арттыру үшін сенімді WSNS маңыздылығын көрсетеді. Өнімділікті бағалауға жүйелік тәсілді қолдана отырып, біз озондау қосымшаларында WSNS сенімділігін, өнімділігін және масштабталуын жақсарту үшін негізгі идеялар мен оңтайландыру стратегияларын анықтадық. Бұл нәтижелер озық бақылау стратегиялары мен интеллектуалды шешімдерді қолдау жүйелерін әзірлеуге жол ашады, нәтижесінде қоршаған орта мен денсаулық сақтау мәселелерін шешу үшін озон терапиясына негізделген тұрақты және тиімді шешімдерге әкеледі.

### **Қорытынды.**

Қорытындылай келе, зерттеу озонаторларды басқару жүйелерін оңтайландыру үшін үздіксіз бақылау мен бағалаудың маңыздылығын көрсетеді. Сенсорлық желілер тиімділікті бағалау және жақсарту мүмкіндіктерін анықтау үшін құнды құралды ұсынады. Нақты уақыттағы деректерді беруді пайдалана отырып, мүдделі тараптар экологиялық тұрақтылық пен операциялық тиімділікті арттыру үшін негізделген шешімдер қабылдай алады.

Бұл ғылыми мақалада озонаторларды басқару жүйелерінің тиімділігін бағалау үшін сенсорлық желілерді қолдануды жан-жақты зерттеу ұсынылған. Онда қоршаған ортаны бақылау және суды тазарту саласындағы зерттеушілер мен тәжірибешілерге құнды ақпарат беретін әдістеме, талдау, нәтижелер мен талқылауларда баяндалды. Сол сияқты сымсыз сенсорлық желілердің тиімділігін бағалау әдістері қарастырылған. Сымсыз жүйелерді сипаттайтын негізгі параметрлер берілген. Желінің өнімділігін бағалау критерийлері сипатталған: жалпы орташа кідіріс критерийі, максималды кідіріс критерийі және орташа кідіріс критерийі; осы критерийлерге негізделген бағалау ең қолайлы болатын жүйелердің түрлері сипатталған. Жеке сипаттамаларды қолданатын бағалау әдістерінің кемшіліктері келтірілген. Сымсыз желінің жұмысын кешенді бағалау қажеттілігі негізделген. Сенсорлық желінің өнімділігін көп критерийлік бағалау әдістемесі ұсынылған. Қолайсыз жағдайларда пайдалануға бағытталған жеке критерийлерге негізделген жүйені тестілеу әдісі сипатталған. Желінің өнімділігін есептеу формулалары және салмақ коэффициенттерін таңдау әдістемесі берілген. Ұсынылған әдістеменің артықшылықтары көрсетілген.

## **ӘДЕБИЕТТЕР**

[1] Xue W., Macleod J., Blaxland J. The Use of Ozone Technology to Control Microorganism Growth, Enhance Food Safety and Extend Shelf Life: A Promising Food Decontamination Technology //Foods. – 2023. – Т. 12. – №. 4. – С. 814. <https://doi.org/10.3390/foods12040814>

[2] Abdykadyrov A. et al. Study of the Process of Destruction of Harmful Microorganisms in Water //Water. – 2023. – Т. 15. – №. 3. – С. 503. <https://doi.org/10.3390/w15030503>

[3] Epelle E. I. et al. Ozone application in different industries: A review of recent developments //Chemical Engineering Journal. – 2023. – Т. 454. – С. 140188. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.140188>

[4] Loeb B. L. et al. Worldwide ozone capacity for treatment of drinking water and wastewater: a review //Ozone: Science & Engineering. – 2012. – Т. 34. – №. 1. – С. 64-77. <https://doi.org/10.1080/01919512.2012.640251>



[5] Скрипов С.А. Имитационное моделирование беспроводных сетей со сложной структурой // Молодой учёный. – 2010. – С. 59-66.

[6] Скрипов С.А. Разработка протоколов маршрутизации для беспроводных сетей со специальной топологией // IV Международная научно-практическая конференция «Современные информационные технологии и ИТ образования». – 2009.

[7] Ogier R.G. et al. Topology Broadcast based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF) // INTERNET-DRAFT, MANET Working Group. – 2002.

[8]. Luqueta G. R. et al. Wireless Sensor Network to Monitoring an Ozone Sterilizer //IEEE Latin America Transactions. – 2016. – Т. 14. – №. 5. – С. 2167-2174. DOI: 10.1109/TLA.2016.7530410

[9] Тужилкин О. В., Ульянин Н. С. Методы оценки эффективности работы беспроводной сенсорной сети //Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2012. – Т. 130. – №. 5. – С. 28-32. <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-otsenki-effektivnosti-raboty-besprovodnoy-sensornoy-seti/viewer>

## REFERENCES\*

[1] Xue W., Macleod J., Blaxland J. The Use of Ozone Technology to Control Microorganism Growth, Enhance Food Safety and Extend Shelf Life: A Promising Food Decontamination Technology //Foods. – 2023. – Т. 12. – №. 4. – С. 814. <https://doi.org/10.3390/foods12040814>

[2] Abdykadyrov A. et al. Study of the Process of Destruction of Harmful Microorganisms in Water //Water. – 2023. – Т. 15. – №. 3. – С. 503. <https://doi.org/10.3390/w15030503>

[3] Epelle E. I. et al. Ozone application in different industries: A review of recent developments //Chemical Engineering Journal. – 2023. – Т. 454. – С. 140188. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.140188>

[4] Loeb B. L. et al. Worldwide ozone capacity for treatment of drinking water and wastewater: a review //Ozone: Science & Engineering. – 2012. – Т. 34. – №. 1. – С. 64-77. <https://doi.org/10.1080/01919512.2012.640251>

[5] Skripov S.A. Imitacionnoe modelirovanie besprovodnyh setej so slozhnoj strukturoj // Molodoj uchyonyj. – 2010. – S. 59-66.

[6] Skripov S.A. Razrabotka protoklov marshrutizacii dlya besprovodnyh setej so special'noj topologiej // IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Sovremennye informacionnye tekhnologii i IT obrazovaniya». – 2009.

[7] Ogier R.G. et al. Topology Broadcast based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF) // INTERNET-DRAFT, MANET Working Group. – 2002.

[8]. Luqueta G. R. et al. Wireless Sensor Network to Monitoring an Ozone Sterilizer //IEEE Latin America Transactions. – 2016. – Т. 14. – №. 5. – С. 2167-2174. DOI: 10.1109/TLA.2016.7530410

[9] Tuzhilkin O. V., Ul'yanin N. S. Metody ocenki effektivnosti raboty besprovodnoj sensornoj seti //Izvestiya YUzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2012. – Т. 130. – №. 5. – S. 28-32. <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-otsenki-effektivnosti-raboty-besprovodnoy-sensornoy-seti/viewer>

**Sungat Marxuly**, doctoral students, senior lecturer, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, [Sungat50@gmail.com](mailto:Sungat50@gmail.com)

**Askar Abdykadyrov**, candidate of technical sciences, associate professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, [a.abdykadyrov@satbayev.university](mailto:a.abdykadyrov@satbayev.university)

**Perizat Akylzhan**, master, assistant, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,  
p.akylzhan@satbayev.university

**Yessen Bagdollauly**, master's student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,  
y.bagdollauly@stud.satbayev.university

## METHODS FOR EVALUATING THE PERFORMANCE OF WIRELESS SENSOR NETWORKS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF OZONATOR MANAGEMENT

**Abstract.** This scientific research work explores the effectiveness of using a sensor network to evaluate the effectiveness of ozonator control and data transmission systems. Ozone plays an important role in various applications, including water purification and environmental restoration. Optimizing the management of the ozonator is crucial to achieve the desired results while reducing energy consumption and operating costs. We propose a methodology that uses a sensor network to monitor ozone levels and evaluate the effectiveness of ozonator control systems. The data collected by the sensor network is analyzed to assess the effectiveness of control measures. The results provide an insight into the improvement of ozonator management strategies to increase efficiency and environmental impact. The effectiveness of the ozone disinfection process of water or air from harmful substances depends on several variables: gas concentration, temperature and humidity. When these variables are monitored and recorded remotely, the level of data reliability and operational safety are improved. The use of wireless sensor networks for this purpose is the preferred technological alternative. The scientific work explores the input and analysis of data in the configuration of a wireless sensor network when monitoring the process of disinfection of air or water with ozone, where important variables can be monitored and recorded. In addition, the received signal level indicator is checked to assess network performance. The results showed that wireless sensors not only improve the tracking process, but also allow you to create repetitive recordings that contribute to the safety of the process.

**Keywords.** sensor network, wireless sensor networks, data transmission, ozonator management, assessment methodology, assessment criteria, efficiency, environmental monitoring, integrated assessment.

**Сұңғат Марқсұлы**, докторант, старший преподаватель, Satbayev University, Алматы, Казахстан, Sungat50@gmail.com

**Асқар Абдыкадыров**, к.т.н., ассоциированный профессор, Satbayev University, Алматы, Казахстан, a.abdykadyrov@satbayev.university

**Перизат Ақылжан**, магистр, ассистент, Satbayev University, Алматы, Казахстан, p.akylzhan@satbayev.university

**Есен Бағдоллаұлы**, магистрант, Satbayev University, Алматы, Казахстан, y.bagdollauly@stud.satbayev.university

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ОЗОНАТОРОМ

**Аннотация.** Эта научная исследовательская работа исследует эффективность использования сенсорной сети для оценки эффективности систем управления озонаторами и передачи данных. Озон играет важную роль в различных областях применения, включая очистку воды и восстановление окружающей среды. Оптимизация управления озонатором имеет решающее значение для достижения желаемых результатов при одновременном снижении энергопотребления и эксплуатационных расходов. Мы предлагаем

методологию, которая использует сенсорную сеть для мониторинга уровня озона и оценки эффективности систем управления озонатором. Данные, собранные сенсорной сетью, анализируются для оценки эффективности контрольных мероприятий. Результаты дают представление об улучшении стратегий управления озонаторами для повышения эффективности и воздействия на окружающую среду. Эффективность процесса обеззараживания озоном воды или воздуха от вредных веществ зависит от нескольких переменных: концентрации газа, температуры и влажности. Когда эти переменные отслеживаются и записываются удаленно, уровень надежности данных и безопасность работы повышаются. Использование беспроводных сетей датчиков для этой цели является предпочтительной технологической альтернативой. Научная работа исследует ввод и анализ данных в конфигурации беспроводной сети датчиков при мониторинге процесса обеззараживания воздуха или воды озоном, где можно отслеживать важные переменные и сохранять их записи. Кроме того, для оценки производительности сети проверяется показатель уровня принятого сигнала. Результаты показали, что беспроводные датчики не только улучшают процесс отслеживания, но и позволяют создавать повторяющиеся записи, которые способствуют безопасности процесса.

**Ключевые слова.** Сенсорная сеть, беспроводные сенсорные сети, передача данных, управление озонатором, методология оценки, критерии оценки, эффективность, мониторинг окружающей среды, комплексная оценка.

\*\*\*\*\*