

**6D071700 – «Жылуэнергетика» мамандығының PhD докторанты  
Абрешова Самал Бексултановнаның «ЖЭС мен қазандықтардың ағын  
суларын тазартуға арналған озондық технологиялардың әдістері мен  
құрылғыларын әзірлеу» тақырыбына жазылған диссертациялық  
жұмысының  
АҢДАТПАСЫ**

**Диссертациялық зерттеу тақырыбының өзектілігі.**

Жылу энергетикасы – табиғи ортаның ластануына елеулі үлес қосатын сала. Қоршаған орта үшін жылу электр станцияларының ағынды суларының зиян деңгейі көптеген факторларға байланысты, олардың ішіндегі ең бастысы – төгілетін сарқынды сулардың химиялық құрамы. Табиғи су айдындары үшін ең қауіпті болып май және мұнай өнімдері, сондай-ақ ауыр металдары бар төгінділер саналады.

Жылу энергетикасындағы әртүрлі көлемі бар және тазарту дәрежесіне қойылатын әртүрлі талаптары бар су ағынының көздері өңделетін суға әсер етудің әртүрлі техникасы мен технологиясын қолдану қажеттілігін негіздейді және зерттеу тақырыбының өзектілігін негіздейді. Әдетте, қолданыстағы технология бойынша тазартылған су санитарлық-гигиеналық және ауыз су қажеттілігіне жарамсыз. Осыған байланысты суды санитарлық-гигиеналық нормаларға дейін жеткізу арқылы қосымша тазалау құрылғыларын әзірлеу қажеттілігі бар.

Табиғи және өнеркәсіптік ағынды суларды минералды, органикалық және биологиялық ластанулардан терең тазарту қазіргі уақытта, әсіресе өнеркәсіп қарқынды дамып, су ресурстарының антропогендік және техногендік ластануы өсіп келе жатқан урбанизацияланған аумақтарда өзекті мәселе болып табылады. Әдетте, өнеркәсіптік ағындарды су дайындау және су тазарту схемаларында қолданылатын: ион алмасу, коагуляция, көмірдегі адсорбция және мембраналық тазарту әдістері жеткіліксіз, сондықтан органикалық қосылыстарды жоюға ағынды суларды озондау жолымен қол жеткізуге болады.

**Жұмыстың мақсаты.** ЖЭС ағынды суларын санитарлық-гигиеналық қажеттіліктерге және ауыз суға жарамды деңгейге дейін тазарту үшін озон технологиясын жетілдіру тәсілдерін зерттеу және жасау.

**Зерттеу міндеттері.** Қойылған мақсатқа сәйкес осы жұмыста шешу қажет келесі ғылыми міндеттер анықталды:

1. Озон өндіру және оны қолдану үшін процестер мен аппараттарды, сондай-ақ күрделі құрамды ағынды суларды тазалауға арналған озон технологиясының белгілі тәсілдері мен құрылғыларын талдауды орындау.
2. Әртүрлі конфигурациялы сыртқы электродтары бар тәжді разрядтағы озондаушы элементтерді (тәжді сым - цилиндр) әзірлеу және сынау.
3. Тәж-тосқауыл разрядында озонаторлардың жаңа модификацияларын әзірлеу және сынау.

4. Өңделетін сұйықтығы бар реактордың газ өткізбейтін қабырғасынан газ көпіршіктерінің түзілу, өсу және үзілу механизмдерін зерттеу.

5. Ағынды суларды озонды өңдеу үшін эжекциялы ағынды реакторды әзірлеу.

6. Газ көпіршіктерінің өлшемін өлшеуге және олардың сұйық ортада қанығу дәрежесін бақылауға арналған әдіс пен құрылғыны әзірлеу.

7. Ағынды суларды озонмен өңдеуге арналған эксперименттік қондырғыны әзірлеу және оны сұйықтықты озондаудың оңтайлы режимін таңдау бойынша сынау жүргізу.

**Зерттеу объектісі.** Зерттеу объектісі болып, Алматы қаласының ЖЭС-ның тұрақты органикалық ластанулары мен ауыр металл иондарының қоспалары бар ағынды сулары табылады.

**Зерттеу әдістері.** Қойылған міндеттерді шешу үшін тәжді разрядты зерттеудің және тәждейтін электродтың электр өрістерін есептеу бойынша теорияның экспериментальды әдістері қолданылды, сонымен қатар тәжірибелерде алынған алғашқы ақпаратты өңдеу компьютерлік бағдарламаларды қолдану арқылы математикалық статистика негізінде орындалды.

#### **Жұмыстың ғылыми жаңалығын құрайды:**

1. Бірінші рет разряд аралық электродтарының орналасу геометриясын оңтайлы таңдау кезінде озон шығуының жоғарылауын қамтамасыз ететін, тәжді разрядтағы озондау элементінің конструкциясын пайдалану коэффициентін (КПК) есептеу жүргізілді.

2. Бірінші рет разряд режимін тұрақтандыру үшін озондаушы элементтің қажетті параметрлерін таңдауға мүмкіндік беретін тәжді-тосқауыл разрядындағы озонатордың тәждейтін сымында жоғары жиілікті электр өрісін есептеу жүргізілді.

3. Өңделетін сұйықтығы бар реактордың газ өткізбейтін қабырғасынан газ көпіршіктерінің пайда болу, өсуі және үзілуі механизмдерін зерттеу нәтижелері.

4. Газ көпіршігі түріндегі ағынды реакторға озон-ауа қоспасын эжекциялау процестерін математикалық сипаттау, бұл  $r_0$  көпіршігінің радиусы анықтаушы болып табылатын сұйық орталарды озондаудың кешенді технологиясын іске асыруға мүмкіндік берді.

#### **Жұмыстың практикалық маңыздылығы:**

1. Тәжді-тосқауыл разрядындағы озонатордың жаңа модификациясы әзірленді және сыналды, ол белгілі қарапайым конструкциядан, жұмыс сенімділігімен және озонды өндіруге аз үлестік энергия шығындарымен ерекшеленеді.

2. Газ көпіршіктерінің өлшемін өлшеуге арналған әдіс және сұйық ортада олардың қанығу деңгейін бақылауға арналған құрылғы әзірленді.

3. Газ көпіршіктерінің сұйықтықпен өзара әрекеттесуінің тиімділігін пайдаланатын ағынды суларды озонмен өңдеуге арналған эжекциялы ағынды реактор әзірленді.

4. Ағынды суларды озонмен өңдеуге арналған эксперименттік қондырғы әзірленді және сұйықтықты озондаудың оңтайлы режимін таңдау бойынша оны сынау жүргізілді.

**Қорғауға келесі ғылыми ережелер шығарылады:**

1. Тәжді-тосқауыл разрядындағы озонатордың тәждейтін сымдарында жоғары жиілікті электр өрісін есептеу әдістемесі.

2. Өңделетін сұйықтығы бар реактордың газ өткізбейтін қабырғасынан газ көпіршіктерінің пайда болуы, өсуі және үзілуі механизмдерін теориялық негіздеу.

3. Сұйықтықта газ көпіршігі түріндегі ағынды реакторға озон-ауа қоспасының эжекциялау процестерін математикалық сипаттау.

4. Ағынды суларды озонмен өңдеуге арналған эксперименттік қондырғы және сұйықтықты озондаудың оңтайлы режимін таңдау бойынша оны сынау жүргізілді.

**Ғылыми нәтижелерді алуға автордың нақты жеке қатысуы:**

– зерттеу міндеттері мен оларды іске асыру тәсілдерін қою;  
– ЖЭС және қазандықтардың ағынды суларын тазалауға арналған жоғары вольтті импульстер озонаторының тәжірибелік үлгісін әзірлеу және дайындау;

– ағынды суларды озондық өңдеуге арналған тәжірибелік қондырғыларды және тәжірибелік зерттеулер жүргізу.

**Жұмыстың апробациясы:** диссертацияның негізгі ережелері 2010 жылдан бастап жыл сайын АЭЖБУ халықаралық конференцияларында, сондай-ақ:

1. T. Golubeva, S. Konshin, B. Aliyarov, S. Bahtaev, Samal Abdreshova. Environmental phenomena from the application of electrohydraulic effect for wastewater treatment. 18th IEEE International Conference on Environmental and Electrical Engineering 2nd Industrial and Commercial Power System Europe, in Palermo, Italy, June 12th-15th, 2018.

2. T. Golubeva, S. Konshin, B. Aliyarov, S. Bahtaev, I. Duisenbek, Samal Abdreshova. Electric power effect on the formation and disappearance of gas bubbles in the ozone treatment of liquids. 18th IEEE International Conference on Environmental and Electrical Engineering 2nd Industrial and Commercial Power System Europe, in Palermo, Italy, June 12th-15th, 2018.

3. Aliyarov B.K., Bakhtaev Sh.A., Ongar B., Jesionek K., Abdreshova S. The wastewater treatment with using ozone technologies. 7<sup>th</sup> International Conference on Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development, TE-RE-RD 2018, Drobeta Turnu Severin, 31 may-2june 2018, p.1-6.

4. T. Golubeva, S. Konshin, B. Aliyarov, S. Bahtaev, Samal Abdreshova, V. Tailakov. A Mobile Data Transfer in Energy-Efficient Intelligent Systems for Wastewater Treatment of Thermal Power Plants. Conference: 2018 6th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops (FiCloudW), Barcelona, Spain, p.164-169.

**Жарияланымдар.** Орындалған зерттеулер мен әзірлемелердің негізгі нәтижелері бойынша 34-тен астам ғылыми жұмыстар дайындалды және жарияланды, оның ішінде 2 патент және 6 инновациялық патент, оның ішінде 5 жұмыс Scopus халықаралық базасына кіретін басылымдарда жарияланды, 12 жұмыс ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған басылымдарда жарияланды.

**Диссертацияның құрылымы мен көлемі:** диссертациялық жұмыс кіріспеден, негізгі мазмұнның бес тарауынан, қорытынды мен қосымшалардан, 213 атаудағы библиографиялық тізімнен тұрады және 221 беттен, 63 сурет пен 35 кестеден тұрады.

**Кіріспеде** диссертация тақырыбының өзектілігі негізделген, зерттеудің мақсаты мен міндеттері тұжырымдалған, ғылыми жаңалығы, практикалық маңыздылығы анықталған және қорғауға шығарылатын жұмыстың негізгі ережелері келтірілген.

**Бірінші бөлімде** өнеркәсіптің барлық өндірістік циклдерінде болатын ағынды суларды тазарту үшін озонды алу мен қолданудың негізгі принциптері сипатталған.

Біздің республикада озон технологиясы күйреген жағдайда, ал дамыған елдерде бұл технология кеңінен таралып, өнеркәсіптің түрлі салаларында, ауыл шаруашылығында және денсаулық сақтауда қолданылады.

Елдегі экологиялық проблемаларды шешу үшін озон технологиясын қолдану инфрақұрылымын дамытудың маңыздылығы мен өзектілігі осы бағытта іргелі және қолданбалы зерттеулердің кең ауқымын жүргізу және химия-металлургия процестері үшін озон технологиясының ғылыми-техникалық негіздерін құру, фабрикалар мен зауыттардың өнеркәсіптік ағынын тазарту және ауыз судың үлкен көлемін (қалалық су құбыры) зарарсыздандыру үшін қажеттігін айқындайды. Осыған байланысты озон технологиясының жаңа процестері мен аппараттарын жасау үшін тиімділігі жоғары озон генераторларын әзірлеу мәселелері ерекше маңызға ие болады.

Бөлімде осы диссертациялық зерттеудің мақсаты мен міндеттері, сондай-ақ зерттеу бағыттары мен ғылыми-зерттеу жұмысын жүргізудің жалпы әдістемесі негізделген.

**Екінші бөлімде** коаксиальды орналасқан тәждейтін және сыртқы электродтардың әртүрлі конфигурацияларында тәжді разрядтағы озондайтын элементтер әзірленді және сыналды, сонымен қатар тәждейтін электродтың диаметрі металл жіп түрінде 75 мкм-ден 150 мкм-ге дейінгі диапазонда өзгерді, ал жіптің бетіне салынған шағын шегіністер биіктігі 10÷60 мкм құрады. Сыртқы

перфорацияланған электродтары бар озондау элементтері спираль, торлар және саңылаулары біркелкі орналасқан цилиндр түрінде сыналған.

Коаксиалды цилиндрлер (тәжді металл жіп - сыртқы цилиндр) түріндегі озондаушы элементтің конструкциясын пайдалану коэффициентінің (КПК) есебі орындалды, бұл озонатор жұмысының ПӘК табуға ұқсас және КПК есептік деректері негізінде озонның жоғары шығуымен озондаушы элементтің оңтайлы геометриялық параметрлері анықталды.

Тәжірибе үшін озонаторда қандай кернеу мен қысым кезінде тесілу болатынын білу маңызды. Мысалы, ауа немесе оттегі онда бар электр өрісінің кернеулігінің белгілі бір мәні кезінде тесіледі. Бұл кернеуді шектік кернеу деп атаймыз және  $E_{III}$  белгілейміз.

Жазық конденсатор жағдайында, онда өріс біртекті болады, тесілу  $E$  мәні  $E_{тес}$  мәніне жеткенде болады және  $U_{тес}$  тесілу кернеуі келесі теңдеуден анықталады

$$U_{тес} = E_{тес} \cdot a, \quad (1)$$

мұндағы  $a$  – пластиналар арасындағы қашықтық.

Бір текті емес өріс жағдайында тесілулер өрістің қандай да бір нүктесінде кернеу шекті мәнге жеткенде, осы жорамалдар негізінде жүргізілген тесілу кернеуін есептеу кезінде, тәжді разрядты озонатор конструкциясының КПК болуы мүмкін конструкцияны пайдалану коэффициентін (КПК) енгізудің практикалық мәні болады.

Кез келген түрдегі озонатор конденсатор болып табыла отырып, ал біздің жағдайда "цилиндр ішіндегі цилиндр" конструкциясы қарастырылады, онда өріс кернеулігінің максималды мәнін  $x = r$  кезінде қабылдайды (1-сурет), яғни ішкі цилиндр бетінде қабылдайды:

$$E_{max} = \frac{U}{r \ln \frac{R}{r}} \quad (2)$$

Геометриялық сипаттаманы енгізу

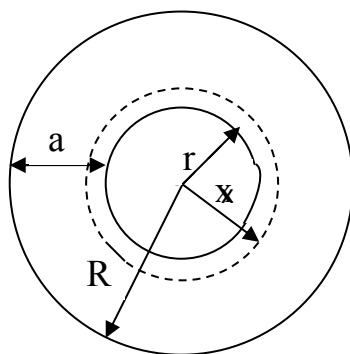
$$p = \frac{r+a}{r} = \frac{R}{r}, \quad (3)$$

тесілетін кернеу үшін алыңыз

$$U_{тес} = E_{тес} \cdot r \cdot l_{тес}. \quad (4)$$

Тесілу кернеуі тұрақты геометриялық сипаттамада ішкі цилиндрдің радиусына пропорционал болғандықтан, цилиндрлік конденсатордың жалған қашықтығы тең

$$\alpha = r \cdot l_{тес}. \quad (5)$$



Сурет 1 – Цилиндрлік конденсатордың қимасы

Конструкцияны пайдалану коэффициентін анықтау үшін мына теңдеуі аламыз

$$\eta = \frac{\alpha}{a} = \frac{r}{(a+r)-r} \ln p = \frac{1}{p-1} \ln p \quad (6)$$

Бұл жағдайда конструкцияны пайдалану коэффициенті тек геометриялық сипаттамаға байланысты.

Конструкцияны пайдалану коэффициентін пайдалана отырып, мына формула бойынша тесілу кернеуін табуға болады

$$U_{\text{тес}} = E_{\text{тес}} \cdot a \cdot \eta. \quad (7)$$

Озондаушы элементтің екі конструкциясы: цилиндрлік конденсатор және сыртқы перфорацияланған электродтың спиральды конструкциясы бар вольтамперлік сипаттамалар, теріс полярлықтың тәжді разрядының бастапқы және шекті кернеулері эксперименталды зерттелді, бұл ретте сыртқы перфорацияланған электрод арқылы ауаны перпендикуляр беру кезінде озонның шығуы бойынша эксперименталды деректер озонның шығуы 10-25%-ға, ал озон алуға электр энергиясының үлестік шығысы 1 кг O<sub>3</sub>-ға 6,5-8,3 кВт сағатты құрайды.

Тәжді-тосқауылды разрядындағы озонаторлардың жаңа модификациялары әзірленді және сыналды, ол белгілілерден қарапайым конструкциясымен, жұмыс істеу сенімділігімен және озонды өндіруге жұмсалған аз үлестік энергия шығындарымен ерекшеленеді. Бұл жағдайда тәждейтін сым диэлектрлік түтікке (тосқауылға) спиральді оралып, оның ішінде цилиндр түріндегі екінші сыртқы электрод орналасқан және жоғары жиілікті жоғары вольтты кернеуді осы электродқа беруге байланысты жалпы озонатордың электр қауіпсіздігі қамтамасыз етіледі. Сонымен қатар, электр өрісінің тәждейтін сым спиралінің орналасу аймағында орындалған есебі сымға жақын жерде озонның түзілу "ерекше" нүктелерінде өрістің кернеулігінің мәнін табуға мүмкіндік берді.

Ағынды суларды тазарту үшін озон-реагентті технологияларды әзірлеу мақсатында ағынды сулардағы барлық ықтимал қоспаларға талдау жасалды, оларды жою үшін пайдаланылатын 4 топқа және процестерге бөлді.

Сонымен қатар, электрогидравликалық әсерді қолдана отырып, ағынды суларды тазарту технологиясы әзірленді және сыналды, онда тотығу-қалпына келтіру реакциялары электрондарды, иондарды және еркін радикалдарды пайдалана отырып өтеді және тазартылатын сұйықтыққа балласты жүктемені мүлдем қалдырмайды.

**Үшінші бөлімде** газ көпіршігінің геометриялық құрылымынан газ көпіршігінің екі түрі үшін көлемі мен ауданы анықталды (тік және көлденең бет). Газ көпіршігіне әрекеттегі күштердің есептік мәндері алынды, оның ішінде басымдылығы жабысу күші және Архимед күші болып табылады. Электродтың тік бетіндегі газ көпіршігінің тепе-теңдік шарты тең әсер ететін күштің бағыты мен электрод бетінің арасындағы бұрыштың тангенсінің мәнімен анықталады.

Эжекциянды ағынды реактор әзірленді, ол тәжді разрядты озонатормен бірге реактор құбыры арқылы оның ағысы процесінде сұйықтықты (ауыз су немесе ағынды су) үздіксіз озонды өңдеуді жүргізуге мүмкіндік береді. Озон-ауа қоспасының өзара әрекеттесуінің барлық процестері газ көпіршіктерінің "газ-сұйықтық" шекарасында өтеді, газ көпіршіктерінің параметрлерін таңдаудың оңтайлы нұсқалары анықталды. Көпіршіктің критикалық радиусын анықтау үшін теориялық үлгілер орындалды, газ өткізбейтін бетінде газ көпіршігінің өмір сүру уақыты, сондай-ақ үзілген сәтте көпіршіктің көлемі. Жалпы озон-ауа қоспасы шығыстарының есептік мәндері эксперименттік деректерге жақын екенін атап өткен жөн.

Газ көпіршіктерімен қаныққан электр өткізгіш сұйықтықтарда (су ерітінділері, қышқыл және сілтілі қосылыстар) газ көпіршіктеріндегі газ көпіршіктеріндегі озон алу тәсілі мен құрылғысы әзірленді. Бұл ретте оттегінің аз өмір сүретін белсенді компоненттері, соның ішінде озон сұйықтықпен әрекет етуге үлгереді, бұл тиісінше сарқынды суларды тазарту процесін қарқындатады.

Сұйықтықтағы газ көпіршіктерінің өлшемін өлшеу әдісі әзірленді, ол сұйықтықтағы газ көпіршіктерінің өлшемін өлшеу кезінде ең тиімді болып табылады, ал суды тазарту процестерінде газ көпіршіктері қаныққан жағдайда ол көпіршіктердің орташа мөлшерін анықтау үшін пайдаланылуы мүмкін.

Газ көпіршігінде тәжді разряд режимінің тұрақтылығын және озон мен басқа да жоғары белсенді атомдардың және өңделетін сұйықтықпен оттегі молекулаларының өзара әрекеттесуінің толықтығын қамтамасыз ететін сұйықтықтағы газ көпіршігінде озон алу үшін құрылғы әзірленді.

Әзірленген құрылғыда газ көпіршіктері өңделетін сұйықтығы бар ыдыстың түбінде орналасқан тесік арқылы атмосфералық ауаны үрлеу кезінде пайда болады. Бұл ретте сұйықтықтағы газ көпіршігінің мөлшері бірдей болатындай жағдайлар жасалады. Егер қатты беті бар газ көпіршіктерінің пайда болуы, өсуі және үзілуі жағдайында, мысалы, электролиз кезінде әртүрлі

күштер (жабысу күші, Архимед күші және т.б.) әрекет етсе, онда біздің жағдайда газ көпіршіктерінің өлшемдері және олардың пайда болу жиілігі негізінен тесік диаметрінің мәніне және үрленетін ауаның артық қысымының шамасына байланысты болады.

Тесік арқылы ауаны беру кезінде пайда болатын газ көпіршігі мойын тесігінің жоғарғы жиегіне қосылған. Көпіршіктің ең үлкен өлшемі көтеру күші мен беттік керілу күшінің тепе-теңдік шартымен анықталады. Көпіршікті сфералық деп есептеп, алатынымыз

$$\frac{4}{3}\pi r^3 g(\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{г}}) = 2\pi r_0 \sigma, \quad (8)$$

мұндағы  $r$  – сфералық көпіршіктің радиусы (м);  $g$  – еркін құлауды жеделдету ( $10 \text{ м/с}^2$ );  $\rho_{\text{с}}$  – сұйықтық тығыздығы (судың  $10^3 \text{ кг/м}^3$ );  $\rho_{\text{г}}$  – газ тығыздығы (ауаның  $1.29 \text{ кг/м}^3$ );  $r_0$  – тесік радиусы (м);  $\sigma$  – беттік керілу (судың  $73.26 \cdot 10^{-3} \text{ н/м}$ ).

Осыдан

$$r = \sqrt[3]{\frac{3\sigma r_0}{2g(\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{г}})}}. \quad (9)$$

Тәжірибелі деректермен (2) тек сандық коэффициентпен ерекшеленетін келесі өрнек жақсы үйлеседі

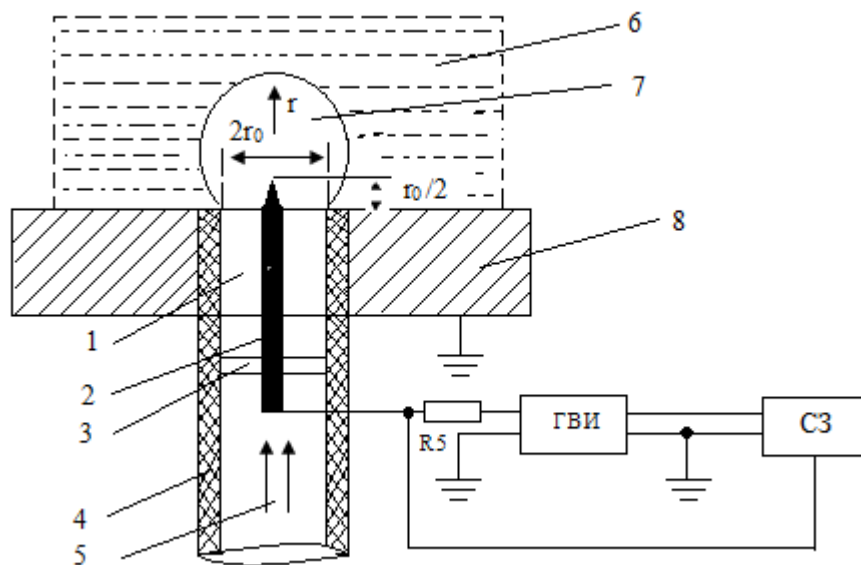
$$r = \sqrt[3]{\frac{\sigma r_0}{g\rho_{\text{ж}}}} \quad (10)$$

жазылған формулада  $\rho_{\text{г}} \ll \rho_{\text{ж}}$  есепке алынды.

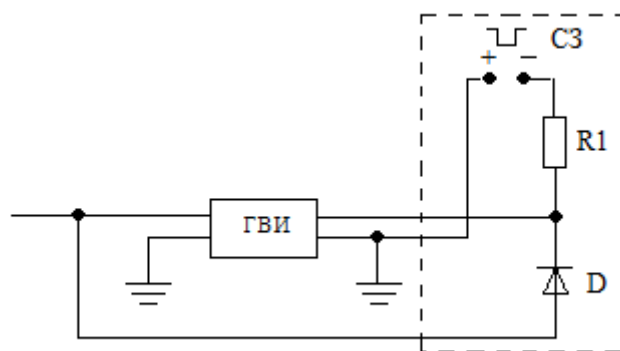
Айта кету керек, (10) өрнек тесіктен шығатын газ ағынының динамикалық әсерінен негізделген инерциялық күштерді ескермейді, яғни ол көпіршіктердің аз жылдамдығында әділ.

2 суретте электр өткізгіш сұйықтықтарда газ көпіршігінде озон алуды қамтамасыз ететін құрылғының функционалдық сұлбасы көрсетілген. Құрылғыда мыналар бар: 1 – өңделетін сұйықтығы бар ыдыстың түбінде орналасқан тесік, 2 – ұштары жалаңаш металл инелер түріндегі тәждейтін электрод, 3 – электродты бекіту, 4 – тесік 5 арқылы атмосфералық ауаны үрлеуге арналған оқшаулағыш материалдан жасалған түтікше, 6 – өңделетін сұйықтық, 7 – газ көпіршігінің пішіні, оның пайда болуы және өсуі, 8- өңделетін сұйықтығы бар ыдыстың түбі. Сонымен қатар, сызбада: жоғары вольтты импульстің генераторы – ЖВИГ, ІҚС – іске қосу сұлбасы,  $r$  – газ көпіршігінің радиусы,  $r_0$  – тесіктің радиусы,  $r_0/2$  – электрод ұшының тесікке дейінгі қашықтығы,  $R_6$  – балластық кедергісі белгіленген.





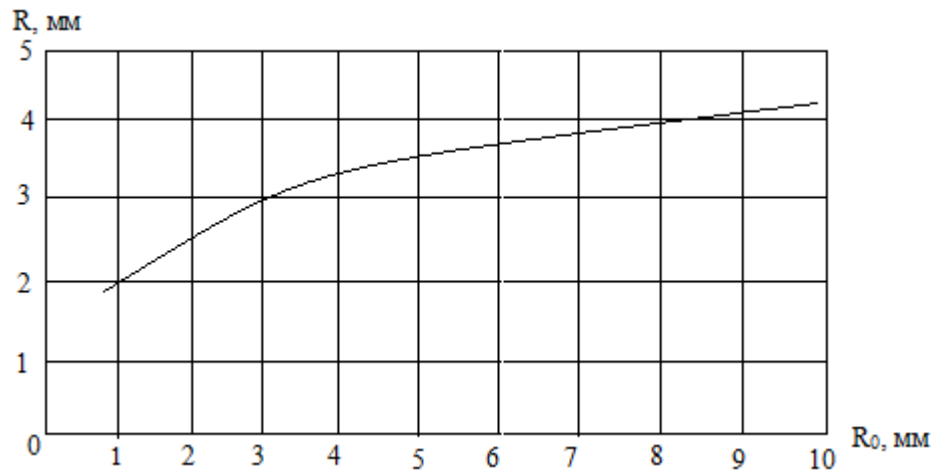
Сурет 2



Сурет 3

3 суретте ІҚС іске қосу сұлбасы келтірілген. Ол  $U$  тұрақты тогының қуат көзінен,  $R1$  жүктеме кедергісінен және  $D$  жоғары вольтты диодынан тұрады.

(10) формула бойынша  $r$  мен  $r_0$  тәуелділігінің есептік мәндері 4 суретте көрсетілген.



Сурет 4

Иненің ұшында газ көпіршігі болмаған жағдайда тәждейтін электрод қоректену көзінің жер шинасы бар электр өткізгіш сұйықтық арқылы тұйықталады. Бұл режимде тәждейтін электрод, диод  $D$  және  $R_1$  кедергісі арқылы, мәні  $U$  қорек көзінің шығыс кернеуіне сәйкес келетін, ең аз ток ағады. Электродтың өткір жағында (ұшында) газ көпіршігі пайда болған кезде, сұйықтықпен өткір түйісуі күрт үзіледі және ІҚЖ ток ағуы тоқтатылады, бұл  $R_1$  кедергісінде кернеудің пайда болуына әкеледі, қоректену көзінің  $U$  шығу кернеуіне тең және жоғары вольтты импульстерінің генераторын ЖВИГ іске қосу үшін шамасы бойынша жеткілікті. Газ көпіршігінің ішкі сфералық беті мен тәждейтін электродтың арасында ЖВИГ шығысында теріс полярлы жеткілікті жоғары кернеуде теріс тәждеуші электродтың үзілуіне дейін өтетін теріс короналық разряд пайда болады. Өткір ұштан көпіршіктер жұлынғаннан кейін, тәждейтін электрод қайтадан жер шинасымен сұйықтық арқылы тұйықталады және осы сәтте ІҚЖ  $R_1$  кернеуде минимумға дейін түседі. Осылайша, келесі газ көпіршігінің пайда болуын күту кезеңі келеді.

4 суреттегі графиктен көрініп тұрғандай, (10) формуланың дұрыстығы  $R = 3$  мм дейін сақталады, яғни түзілген газ көпіршіктері тесіктің өзіне қарағанда үлкен диаметрлерге ие. Одан әрі, 10 мм дейін, көпіршіктердің диаметрі саңылаудан аз болады, бұл шындыққа сәйкес келмейді. Бұл (10) формуланы шығарғанда көпіршіктің пішіні сфералық деп саналуы мүмкін. Тәжірибелік деректер пайда болған газ көпіршіктерінің формасының сферикалығын 3 мм диаметрге дейін растайды.

Тәждейтін электрод диаметрі 1 мм тот баспайтын болаттан жасалған сым болып табылады, ол шыны капиллярға салынған және оның ұшы 0,5 мм қисық радиусы бар жарты шарға тығындалған. ЖВИГ шығысындағы жоғары кернеу 5,4 кВ құрады, ал ІҚЖ қоректену көзінің кернеуі – 100 В. Ауа көпіршіктері тесікке (1) оқшаулау материалынан (4) түтікше арқылы атмосфералық ауаны үрлеу кезінде микрокомпрессордың көмегімен құрылды.

Құрылғының тәжірибелік сынақтары мынаны көрсетті. Электрод ұшында газ көпіршігі болмаған кезде электрод және сұйықтық арқылы  $R_1$  жүктеме кедергісімен шектелетін іске қосу сұлбасының (ІҚС) тогы өтеді. Электрод ұшында газ көпіршігі пайда болған кезде ІҚС тогы тоқтатылады және  $R_1$  – де ІҚС -  $U$  қорек көзінің кернеуіне тең потенциалдың секіруі пайда болады. Бұл потенциал ЖВИГ-ді іске қосуға мүмкіндік береді, бұл электрод ұшының айналасында тәждік разрядтың пайда болуын қамтамасыз етеді. Құрылғыны сынау кезінде жоғары вольтты импульстің пайда болуының бастапқы сәтінде (импульс фронты) разрядтық аралықтың электрлік сынамасы өтеді, себебі электрод өткір көпіршігі пайда болады, сондықтан электрод пен көпіршіктің ішкі беті арасындағы қашықтық өте аз (1 мм-ден аз). Содан кейін көпіршіктің өлшемінің өсуімен біртіндеп тәж разрядының тұрақты режимі орнатылады. ЖВИГ шығысының қысқа тұйықталуының алдын алу үшін бастапқы тесілу кезінде  $R_6$  балласты кедергісі қолданылады.

Осылайша, сұйықтықтағы газ көпіршігінде озон алу үшін әзірленген құрылғы газ көпіршігінің түзілуін және онда тәж разрядының қозуын бір мезгілде қамтамасыз етеді, бұл сұйықтықты өңдеу кезінде озоннан басқа және оттегінің басқа да жоғары белсенді компоненттерін пайдалануға мүмкіндік береді.

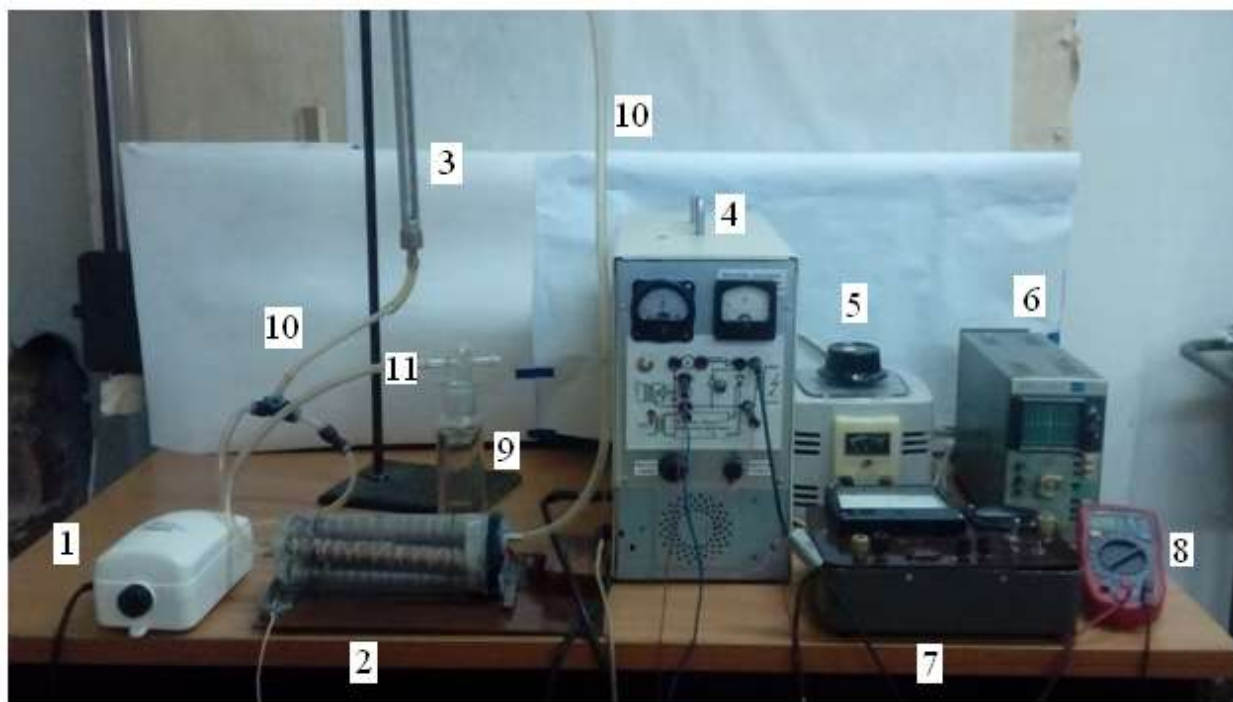
**Төртінші бөлімде** тәжді-тосқауылды разрядта жана үлгідегі озонатор әзірленді және сынақтан өтті, ол озонның жоғары меншікті энергетикалық шығуымен, конструкцияның қарапайымдылығымен және жұмыста сенімділігімен ерекшеленеді. Суды озондау қондырғысына тәжірибелік зерттеулер жүргізілді. Тәжірибелік жолмен озонның өнімділігі мен меншікті энергетикалық шығуы анықталды. Озондаудың ұсынылған технологиялық сұлбасы бойынша өндірістік жағдайларда тәжірибелік сынақтар жүргізілді.

Озонатордың электрлік және озондық сипаттамаларын зерттеу үшін эксперименттік қондырғы әзірленді және жиналды. 5 суретте ағынды суды тазалауға арналған эксперименталды қондырғының құрылымдық сұлбасы келтірілген. Құрылғыда компрессор, 73 л/мин ең жоғары үрлеуімен ауаның шығын өлшегіші (ротаметр), озонатор, автор әзірлеген ОВИ–2 үлгісі пайдаланылады, қорек кернеуі 220 В айнымалы ток желісіне қосылған жоғары вольтты автотрансформатор арқылы беріледі, қорек блогы (ҚБ), озонметр, сынақ звеносы. Озон концентрациясын өлшеу үшін «ОЗОН-5-200» газталдағышы қолданылады.



5 сурет – Эксперименттік қондырғының құрылымдық сұлбасы

Құрылғы келесідей жұмыс істейді. Атмосфералық ауа озонаторға компрессордың көмегімен айдалады, оның шығысында ағынды суы бар ыдысқа түсетін озонды-ауа қоспасы пайда болады.



1 –компрессор; 2 –озонаторлық ұяшық; 3 – ротаметр; 4 – жоғары вольтты тиристорлық инвертор; 5 – зертханалық автотрансформатор; 6 –осциллограф; 7 – аналогтық вольтметр; 8 – цифрлық мультиметр; 9 – ағынды суы бар резервуар; 10 –озоноға (берік) тұрақты түтікшелер; 11 – газталдағыш ОЗОН-5-200.

6 сурет – Эксперименттік қондырғы

7 суретте озонаторлық қондырғының фрагменттері көрсетілген, мұнда 2 – озонаторлық ұяшықтар; 11 – газталдағыш блогы.

Келесі техникалық көрсеткіштері бар ОВИ-2 озонаторының тәжірибелік үлгісі әзірленді:

Электр желісінің кернеуі  
 Тұтынылатын қуат  
 Өңделетін су көлемі  
 Бір рет әрекет ету уақыты  
 Өлшемдері  
 Массасы

220 В, 50 Гц  
 65 Вт  
 2 куб.м дейін  
 10 минуттан бастап  
 240x210x110 мм  
 4,5 кг

Эксперименталды стендте ОВИ-2 озонаторы пайдаланылады, тәжді-тосқауылды разрядының негізінде әзірленген, бұл жоғары вольтты кернеудің коректендірудің бір көзін қолдануға мүмкіндік береді.



2 – озонаторлық ұяшық; 11 – ОЗОН-5-200 газталдағышы бар блок.  
 7 сурет – Озонаторлық ұяшықтар

1 кестеде автордың тікелей қатысуымен әзірленген озонаторлардың техникалық деректері келтіріледі.

1 кесте – Шағын көлемді озонаторлардың техникалық деректері

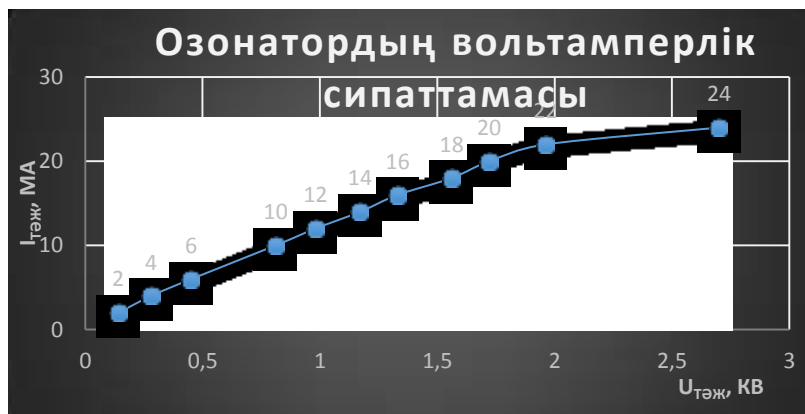
Озонатор түрі	Әзірлеуші	Озонның өнімділігі, г/сағ	Кернеуі, кВ	Қуаты, Вт	Озонның энергетикалық шығыы, г/кВт·сағ	Құрылған жылы
ОКБР-01	ҚазҰТУ	1	4	40	61	2001
ОВИ-1	ҚазҰТЗУ	0,5	3	150	56,1	2008
ОВИ-2	АЭЖБУ	2	2,7	65	59	2018

1 кестеден көрініп тұрғандай, олардың барлығы арнайы ауа дайындауды талап етпейді – ал бұл өндірісте қондырғыны енгізу кезінде күрделі шығындардың төмендеуіне әкеледі.

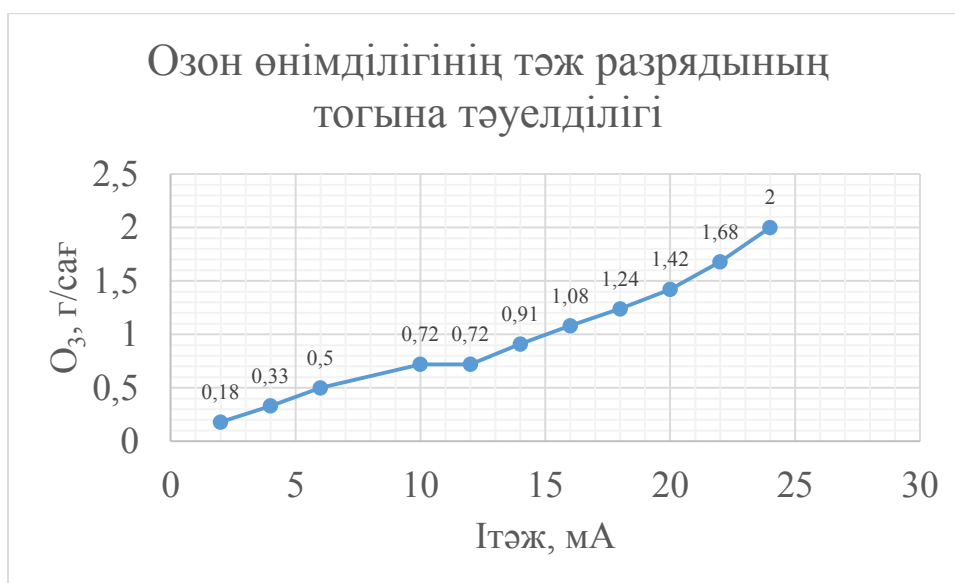
### Озонатордың электрлік және озондық сипаттамалары

Вольтамперлік сипаттама озонатордың озондаушы элементінің электрлік көрсеткіштерін таңдау үшін маңызды. Токтардың мәндерін және импульстік сигналдардың кернеулерін өлшеу үшін үлгілі кедергілерден бөлгіштерді және жүктемелерді қолдана отырып осциллографикалық әдіс қолданылды. Вольтамперлік сипаттамдан көріп отырғанымыздай микросым  $U_{кор} = 0,7$  кВ кернеуінен бастап тәждей бастайды. Озонатор тогының осы кернеуге дейін болуы электраралық геометриялық сыйымдылықтың болуымен түсіндіріледі.

Озон сипаттамаларына озонатордың озон бойынша өнімділігі (г/сағ) және озонның үлестік энергетикалық шығысы (г/кВт\*сағ) жатады. Бұдан басқа, озонатордың тән параметрлерінің бірі шығыстағы озон-ауа қоспасындағы озонның көлемді шоғырлануы ( $K_{O_3}$ , мг/л) болып табылады. 2 кестеде озонатордың шығыс деректері келтірілген.



8 сурет – ОВИ-2 озонаторының вольтамперлік сипаттамасы



9 сурет – Озонатор ұяшығының озондық сипаттамасы

2 кесте – Озонатордың шығыс деректері

U <sub>к</sub> , кВ	0,14	0,28	0,45	0,81	0,98	1,17	1,33	1,56	1,72	1,96	2,7
I <sub>к</sub> , МА	2	4	6	10	12	14	16	18	20	22	24
P <sub>пот</sub> , Вт	0,28	1,12	2,7	8,1	11,76	16,38	21,28	28,08	34,4	43,12	64,8
O <sub>3</sub> , г/сағ	0,1	0,2	0,35	0,54	0,72	0,91	1,08	1,24	1,42	1,68	2
O <sub>3</sub> , г/кВтсағ F	65	64,2	63	62,4	59	54,54	53,02	48,54	47,85	47,03	45,01
K <sub>O3</sub> , мг/л	0,1	0,75	1,32	1,98	2,64	3,3	3,96	4,62	5,39	6,16	6,6

Бұл кестеде «ОЗОН-5-200» газ талдағышының көмегімен әртүрлі токтарда озонатордың өнімділігі (г/сағ) анықталды, содан кейін электрлік сипаттамалары бойынша озонның үлестік энергетикалық шығысы (г/кВт\*сағ) есептелген. Ротаметр көрсеткіштері бойынша озонатордың шығысындағы K<sub>O3</sub> озонның көлемді шоғырлануы анықталды.

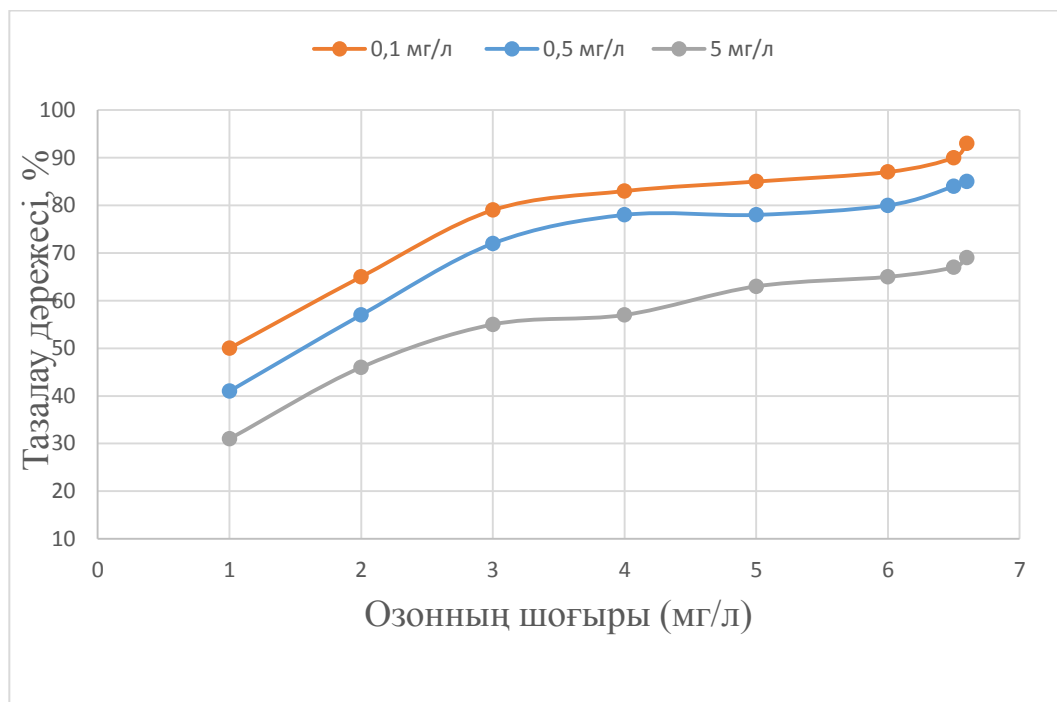
### **Ағынды суларды мұнай өнімдерінен озонмен тазарту процестерін зерттеу нәтижелері**

Мұнай өнімдерін судан алып тастаудың белгілі ғылыми зерттеулері мұнай негізіндегі ластаушы заттардың озонмен тотығу әсері су температурасымен, рН, озон мөлшерлемесімен және реакция уақытымен байланысты екенін көрсетеді.

Озон санының мұнай негізіндегі ластаушы заттардың қатынасы 1:1 және реакция уақыты 10 минутты құраған жағдайда мұнай өнімдерін жою тиімділігі 83% - ға жетеді. Осылайша, озон мұнай негізінде ластаушы заттарды жою үшін тамаша шешім болып табылады және оны мұнай ағындарын өңдеуде пайдалану

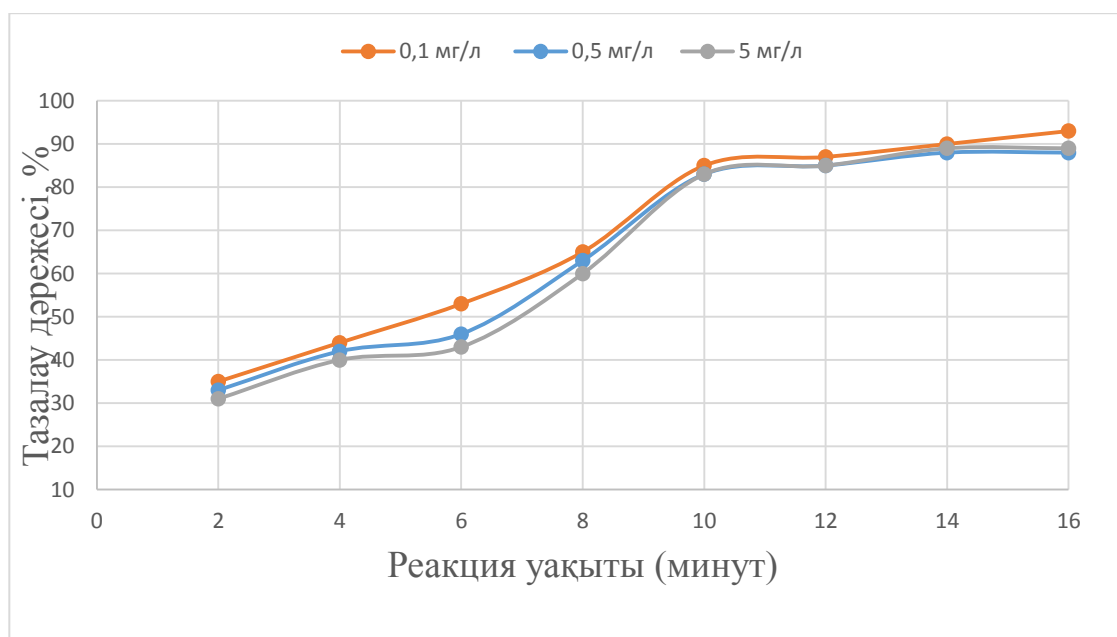
тиімді болып табылады. Озон тотығуы тікелей реакцияны және тікелей емес реакцияны қамтиды. Реакция жылдамдығы ластаушы заттардың, озонның және ОН шоғырлануына байланысты.

Мұнай өнімдерінің құрамы 5,0 мг/л-ден 0,1 мг/л-ге дейін төмендейді, ал жоюдың орташа тиімділігі озонмен өңдегеннен кейін 92,50% - ға тең. Озонның қуаттылығы сондай, тотығу мұнай құрамы мен құрылымын өзгертіп, жоғары молекулалық органикалық заттарды төмен молекулалық органикалық қосылыстарда тотықтыра алады және тіпті кейбір органикалық заттарды тікелей  $\text{CO}_2$  және  $\text{H}_2\text{O}$ -да ыдырата алады.



10 сурет – Озон дозасының мұнайдың тотығуына әсері





11 сурет – Мұнайдың тотығуына реакция уақытының әсері

Әзірленген озонатор құрамында мұнай бар ағынды суларды озонмен тазарту кезінде сыналды. Озонаторды сынау озон 23°C, рН 7,2, 4,0 мг/л озон және реакция уақыты 10 мин (ластаушының тестілік концентрациясы кезінде) жағдайында судан мұнай өнімдерін алып тастаудың тамаша әсері бар екенін көрсетті. Мұнай өнімдерінің құрамы 5,0 мг/л-ден 0,1 мг/л-ге дейін төмендейді, ал жоюдың орташа тиімділігі озонмен өндегеннен кейін 92,50% - ға тең.

### Зерттеу нәтижелерін талдау және өңдеу

Ластанған және озондалған су нәтижелерінің талдауын "ҚАЗЭКОАНАЛИЗ" ЖШС талдау зертханасында өткіздім, 28.01.2018 ж. №211-01 сынақ хаттамаларымен расталады.

### 3 кесте – Сынақ нәтижелері

СУ	МШ ТҚ кірісінде	МШ ТҚ шығысында	Озондауға дейін	Озондағаннан кейін (озондау уақыты 10 минут)
Ластану дәрежесі / суды тазалау	50 – 100 мг/л	0,5 – 1 мг/л	0,5 мг/л	0,1 мг/л

МШ ТҚ – мазут шаруашылығының тазарту құрылысы

**Диссертацияның қорытындысында** ұсынылған және талқыланған әзірлемелер мен зерттеулердің нәтижелері бойынша жұмыстың негізгі қорытындылары жасалды.