

Торайғыров университетінің хабаршысы  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Вестник Торайғыров университета

---

# Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

---

№ 3 (2023)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**  
**Вестник Торайгыров университета**

**Энергетическая серия**  
выходит 4 раза в год

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация материалов в области электроэнергетики,  
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и  
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

**Подписной индекс – 76136**

---

<https://doi.org/10.48081/YBCY7199>

**Бас редакторы – главный редактор**

Кислов А. П.  
*к.т.н., доцент*

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

**Редакция алқасы – Редакционная коллегия**

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*  
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*  
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*  
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*  
Новожилов Т. А., *д.т.н., профессор*  
Алиферов А.И., *д.т.н., профессор (Россия)*  
Кошеков К.Т., *д.т.н., профессор*  
Приходько Е.В., *к.т.н., профессор*  
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*  
Нефтисов А. В., *доктор PhD*  
Омарова А.Р., *технический редактор*

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели  
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов  
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/OGDD2247>

**\*Г. К. Сыдыкова, А. М. Айтуғанова, А. Жансерікқызы**

Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті,

Қазақстан Республикасы, Қызылорда қ.

e-mail: [sydykova77@mail.ru](mailto:sydykova77@mail.ru)

## **ОЗОНОМЕТРИЯЛЫҚ ҚҰРЫЛҒЫЛАРДЫ ҚҰРУДЫҢ НЕГІЗГІ ПРИНЦИПТЕРІ**

*Озонды бақылау әдісін жасау және оны жүзеге асыру арқылы озонметриялық құрылғыларды жасау үшін олардың қарапайым, әрі ыңғайлы жұмыс кезінде белгілі бір жоғары дәлдікпен, сенімділікпен ерекшеленуін қамтамасыз етудің маңызы өте зор. Зерттеу нәтижелерінің көмегімен атмосфералық ауадағы озон концентрациясын өлшеудің ең тиімді жолы оларды тәжжі разрядтағы иондардың қозғалғыштығы арқылы анықтау екенін көрсетті. Сондықтан, алдымен, оң бірполярлы тәжжі жағдайында иондардың қозғалғыштығының мәндерін эксперименттік түрде өлшеу мүмкіндіктерін қарастырамыз.*

*Озон концентрациясын өлшеу озонның физика – химиясы мен озон өндіру технологиясы үшін өзекті болып табылады, ал ауадағы озон мөлшерін үздіксіз бақылау тұрмыстық және қызметтік үй-жайлар мен емдеу орындарын озондауға дайындау кезінде де қажет. Барлық жағдайларда озонметрлерге олардың дизайнының қарапайымдылығы мен жоғары шуылға төзімділігіне, өлшеу дәлдігі кезінде жұмыс жасау ыңғайлылығына талаптар қойылады [15].*

*Берілген жұмыста разрядтық ток шамасының иондардың орташа қозғалғыштығының мәніне тікелей тәуелділігін ескере отырып, токтың ұлғаюынан разрядтық саңылау ішіндегі озонның көлемдік концентрациясын анықтауға мүмкіндік беретін, озонды оның жоғары концентрациясында бақылау үшін қолайлырақ болатын әдіс ұсынылды. Бақылау дәлдігі мен нәтижелердің сенімділігін арттыру үшін теңдестірілген өлшеу сұлбасы қолданылды.*

*Кілтті сөздер: озон, тәжжі разряды, иондар, озон концентрациясы, өлшеу сұлбасы.*

## Кіріспе

Қазіргі уақытта озонды талдау мен бақылаудың бірнеше жүздеген әдістері бар. Шартты түрде оларды физикалық, физикалық-химиялық және химиялық деп бөлуге болады. Басқа классификация бойынша абсолютті және салыстырмалы деп бөлуге болады. Біріншісі өлшенетін концентрацияның шамасын тікелей алуға мүмкіндік береді; олардың ең дәлдігі озонметрлерді калибрлеу жүргізілетін бастапқы стандарттар ретінде қызмет ете алады, ал екіншісі озон концентрациясының функциясы болып табылатын шаманы өлшейді және өздері калибрлеуді қажет етеді.

## Материалдар мен әдістер

Ең көп деректер иондардың өз газындағы қозғалғыштығы туралы беріледі. Масс-спектрометриялық өлшемдер молекулалық газдарда бір мезгілде иондардың бірнеше түрі болуы мүмкін екенін көрсетеді. Мысалы, азотта бөлме температурасында  $N^+$ ,  $N^+2$ ,  $N^+3$ ,  $N^+4$  тұрақты, ал таза оттегіде иондардың тұтас ассоциациялары бар -  $O^+$ ,  $O^+2$ ,  $O^+3$ ,  $O^+4$  және  $O^-$ ,  $O^-2$ ,  $O^-3$ . Молекулалары әртүрлі типтегі атомдардан тұратын газдар қоспаларында иондар одан да әртүрлі болады [1]. Мысалы, атмосфералық ауада ( $N_2 - 75,6\%$ ,  $O_2 - 23\%$ ) тәж разряды кезінде азот пен оттегінің атомдық және молекулалық иондары бір мезгілде болуы мүмкін.

1-кестеде оң азот иондарының және теріс оттегі иондарының [2] қозғалғыштығы, сондай-ақ азоттағы, оттегідегі және ауадағы әртүрлі атомдық және молекулалық иондардың түзілу реакциялары келтірілген.

Кесте 1 – Азот пен оттегі иондарының қозғалғыштығы

Газ	Иондар, (см <sup>2</sup> /Вс)	Тәжірибе	Реакциялар
$N_2$ [6]	$N - 3.0$ ; $N_2 - 1.9$ ; $N_3 - 2.3$ ; $N_4 - 2.3$ .	$P = 760$ мм сын. бағ. $T = 273K$	$N_2^+ + N_2 \rightarrow N_4^+$ $N_2^+ + N_2 \rightarrow N_3^+ + N$
$N_2$ [6]	$N - 3.3$ ; $N_2 - 1.8$ ; $N_3 - 3.1$ ; $N_4 - 2.4$ .	$E/p < 20$	$N_4^+ + N_2 \rightarrow 2N_2^+ + N^+$ $N_2^+ + O_2 \rightarrow N_2^+ + O_2^+$
$N_2$ [47]	$N - 3.42$ ; $N_2 - 2.8$ ; $N_3 - 2.55$ ; $N_4 - 2.42$ .	$E/p \rightarrow 0$ Есеп	$N_2^+ == N_4^+$
$O_2$ [46]	$O - 3.2$ (2.0); $O_2 - 2.2$ (2.24); $O_3 - 2.6$ $O_4 - 2.2$ (2.16)	$p = 760$ $T = 273K$ мм сын. бағ.	$O_2 + e \rightarrow O^+ + O^- + e$ $O^+ + O_2 \rightarrow O_2^+ + O$
$O_2$ [6]	$O - 3.4$ ; $O_2 - 1.95$ ; $O_3 - 2.6$	$E/p_0 = 9-50$ , $Pd = 7-26$	$O^+ + 2O_2 \rightarrow O_3^+ + O_2$ $O_2^+ + 2O_2 \rightarrow O_4^+ + O_2$
$O_2$ [6]	$O - 3.2$ ; $O_2 - 2.25$ ; $O_3 - 2.5$	$E/p_0 = 0.1-235$ $E/p_0 \rightarrow 0$	$O_2^+ + O_2 \rightarrow O_2^+ + O_2^-$ $O^- == O_2^-$
$O_2$ [47]	$O - 3.38$ ; $O_2 - 2.76$ ; $O_3 - 2.52$ ; $O_4 - 2.34$	Есеп $E/p_0 \rightarrow 0$	

Ауа [48] [49] [15] [45]	$k_+$ $kt$ 1.4/ $\delta$ 2.24 1.03 0.75	$k_-$ 1.8 1.8/ $\delta$ 0.66	$p = 760$ мм сын. бағ. $T = 293K$ $T = 293K$ 0.3 – 0.5 мс $p = 760$ мм сын. бағ. $T = 273K$	$2O_2 + e \rightarrow O_2^- + O_2$ $O_2 + e \rightarrow O_2^- + h$ $O^+ + O_2 \rightarrow O_2^+ + O$ $O^+ + N_2 \rightarrow NO^+ + N$
----------------------------------	--	---------------------------------------	--	--

Оң (жақшада) және теріс оттегі иондары әдетте атомдық  $O^+$  және  $O^-$  иондарын қоспағанда, шамамен бірдей қозғалғыштыққа ие болады. Электрондардың көпшілігі оттегіге қосылғанымен, бірақ олардың едәуір бөлігі бос қалады, бұл  $O_2$  ионының орташа қозғалғыштығын  $O^+$ -мен салыстырғанда едәуір арттырады, ал таза оттегіде  $O_2$  ионының қозғалғыштығы ионның басқа түрлерінен ерекшеленеді, бұл иондардың қозғалысы процесінде шамадан тыс зарядтау нәтижесінен де болуы мүмкін.

Кестенің екінші бөлігінде тәждің разряды жағдайында «қалыпты» ауа иондары үшін  $k$  эксперименттік мәндері көрсетілген және барлық жағдайларда  $p = 760$  мм сын. бағ.,  $T = 293$  °K шарттары қабылданған. Иондардың қалыпты жағдайда төмендеген қозғалғыштығын анықтау үшін 273 санын 293 санына ауыстырылады [3, 4]. А.Г.Ляпин, В.И.Попков еңбектерінде «Өтпелі бірполярлы тәж өрісіндегі иондардың қозғалғыштығын өлшеу» атты кітабында [4] зонд өлшемдері арқылы  $\rho$   $k$  мәні (көлемдік заряд тығыздығы мен ион қозғалғыштығының туындысы) анықталған нүктедегі иондардың жергілікті қозғалғыштығы алынды. Күрделі және комплексті иондардың пайда болуы  $k(t)$  иондардың электродаралық саңылаудағы тұру уақытына байланысты екені анықталды [5].

Тәждік разряд жағдайында ауада әртүрлі қозғалғыштығы бар әртүрлі сортты иондар болуы мүмкін. Есептеулер үшін қолданылатын қозғалғыштықтың орташа мәні әр түрлі иондардың қозғалғыштығымен ғана емес, олардың концентрациясымен де анықталады. Сондай-ақ [6] орташа мәндердің  $k_+$  және  $k_-$  олардың электрод аралық кеңістіктегі өмір сүру уақытына тәуелділігі анықталды. (0.3 – 0.5)мс диапазонында иондардың қозғалғыштығы  $k_+ = 2.1$  және  $k_- = 2.24$  см<sup>2</sup>/Вс құрайды. Иондардың разрядтық аралықта болу уақыты 10 мс-қа дейін ұлғайған кезде, ол 1.5-ке дейін азаяды, бұл жоғарыда айтылғандай, ауыр күрделі иондардың пайда болуымен түсіндіріледі.

Теріс иондардың түзілуі мен ыдырау процестері иондану және оған іргелес теріс тәж аймақтарында қызығушылық тудырады. Электрондардың атомдармен және теріс ионды газдардың молекулаларымен (оттегі, фтор, хлор, фреон және т.б.) соқтығысуымен разряд аралығында оң ғана емес, теріс иондардың да түзілуі мүмкін. Азот және басқа инертті газдар атмосферасында теріс иондар пайда болмайды. Айта кету керек, атмосфералық ауада теріс

тәжде олар сыртқы разряд аймағында негізгі заряд тасымалдаушылар болып табылады.

Тәжді разрядтың негізінде газ қоспаларын талдау әдісі ұсынылды, мұнда разряд саңылауындағы газ құрамының өзгеруі металл түтік пен оның осі бойымен созылған металл жіп арасындағы тәж разрядының жану кернеуінің мәндерімен анықталады. Сонымен қатар, қуат көзінің кернеуінің ауытқуы мен талданатын газдың қысымы мен жылдамдығының әсерінен өлшеудің жоғары дәлдігі мен алынған мәліметтердің сенімділігі қамтамасыз етілмейді [7]. Осыған байланысты озонды бақылау әдісін жасау және оны жүзеге асыруға арналған құрылғыны әзірлеу міндеті тұрды, ол өлшеулердің белгілі жоғары дәлдігі мен сенімділігінен қарапайымдылығымен және пайдаланудың қарапайымдылығымен ерекшеленді. Зерттеу нәтижелері атмосфералық ауадағы озон концентрациясын өлшеудің ең тиімді әдісі оларды тәж разрядындағы иондардың қозғалғыштығы арқылы анықтау екенін көрсетті. Сондықтан, біз алдымен оң бір полярлы тәж жағдайында иондардың қозғалғыштығы мәндерін эксперименталды түрде өлшеу мүмкіндіктерін қарастырамыз.

#### Нәтижелер мен талқылау

Осы мақсатта тәж разряды аймағындағы иондардың қозғалғыштығын өлшеуге арналған құрылғы әзірленді, ол разряд тоғының ( $I$ ) және белгілі мәндерін пайдаланып есептеу арқылы иондардың ( $k$ ) қозғалғыштығын анықтау әдісімен жүзеге асырылады. бірполярлы тәждің сыртқы аймағындағы өріс күшінің мәндері  $[E(r)]$ , бұл өз кезегінде  $R_2$  радиусының сыртқы цилиндрі мен  $R_1$  радиусының кейбір эквипотенциалды беті арасындағы потенциалдар айырмасынан ( $\Delta U$ ) анықталады. Ұсынылған құрылғыда  $\Delta U$  потенциалдар айырымы үшін  $R_2$  және  $R_1$  сыртқы цилиндрлерінің радиустары бар екі цилиндрлік электродқа қолданылатын кернеу айырмасы ( $U_2 - U_1$ ) екі цилиндрге бірдей радиустағы тәждік сымдарды орнатқан кезде және екі цилиндр арқылы өтетін тәждің меншікті токтары тең болған жағдайда қабылданады. Осылайша, иондардың қозғалғыштығын есептеу үшін келесі өрнек алынды:

$$k = \frac{I}{2\pi\varepsilon_0[E^2(r)]} = \frac{I(R_2 - R_1)^2}{2\pi\varepsilon_0(U_2 - U_1)^2} = \frac{I\Delta R^2}{2\pi\varepsilon_0\Delta U^2} \quad 1$$

мұндағы  $r$  – ток радиусы;

$\varepsilon$  – диэлектрлік тұрақтысы.

Иондардың қозғалғыштығын мұндай анықтау әдісі дамыған бірполярлы тәждің сыртқы аймағындағы электр өрісінің қасиетіне – өріс кернеулігінің практикалық тұрақтылығына негізделген.

Иондардың қозғалғыштығын анықтаудың ұсынылып отырған құрылғысы мен әдісінің негізгі кемшілігі - бұл үшін екі цилиндрлік разрядтық камера қолданылады, бұл камераларда бірдей атмосфералық жағдайларды қамтамасыз етпейді, бұл өлшемдердің дәлдігін айтарлықтай төмендетеді. Сондай-ақ өлшеу дәлдігіне электр өрісінің шеткі бұрмалануларын жоятын қорғаныс электродтарының болмауына байланысты сыртқы цилиндрдің әртүрлі радиустарындағы сымдардың тәжінің ұзындығының айырмашылығы қатты әсер етеді.

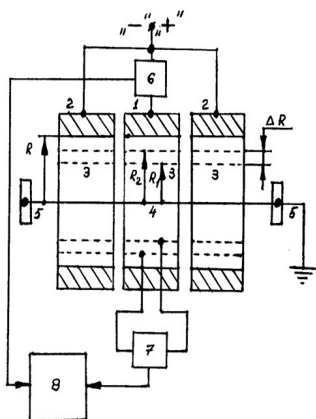
Тәж разрядының және қорғау электродтарының сыртқы аймағының разряд эквипотенциал беттерінде коаксиалды орналасқан цилиндрлер түріндегі тор электродтары бар неғұрлым сенімді және тиімді құрылғы әзірленді, пішіні мен өлшемі бойынша негізгіге бірдей, негізгі сыртқы цилиндрге коаксиалды екі жағында орналасқан және микропроцессормен және өрістің ток және потенциалдар айырмасының түрлендіргіштерімен жабдықталған [8].

Тәж разрядының сыртқы аймағында  $\Delta R$  қашықтықта эквипотенциалды беттерде коаксиалды түрде орналасқан цилиндр түріндегі тор электродтары кеңістіктегі зарядтың табиғи таралуын бұзбай, кернеуді анықтауға мүмкіндік береді, бұл ретте өлшеу аймағы және екі цилиндр арқылы өтетін меншікті разрядтық токтардың теңдігі атмосфералық жағдайдың бірдей болуын қамтамасыз етеді. Пішіні мен өлшемі бойынша негізгіге ұқсас қорғаныс электродтарын қолдану электр өрісінің жиктерінің бұрмалануын болдырмайды, бұл сымның тәждік қимасының ұзындығының тұрақтылығына әкеледі. Үздіксіздігін қамтамасыз ету және өлшеу техникасын жеңілдету үшін ток түрлендіргіштерінің деректері мен өрістің потенциалдар айырымы бойынша және тұрақты  $\Delta R$  коэффициентін ескере отырып, (1) формула бойынша иондардың қозғалғыштығын есептеуді жүзеге асыратын микропроцессор қолданылады.

1-суретте тәж разрядындағы иондардың қозғалғыштығын өлшеуге арналған құрылғының функционалдық диаграммасы көрсетілген. Ұсынылған құрылғыда негізгі сыртқы электрод 1 бар, оның екі жағында тор электродтары 3 бар қорғаныс электродтарымен 2 жабылған, сонымен қатар сыртқы электрод бар. Тәж сымы 4 екі ұшында ұстағыштармен 5 бекітіліп, содан кейін жерге тұйықталған. Тор электродтары 3 сыртқы цилиндрге және сымға коаксиалды орналасады және олардың орналасуы тәжірибе талабына сәйкес таңдалады. Ток түрлендіргіштерінің сигнал шығыстары 6 және өрістің

потенциалдар айырмасы 7 микропроцессордың 8 кірісіне қосылған,  $R_1$ ,  $R_2$  және  $\Delta R$  өлшемдері де көрсетілген.

Әзірленген құрылғы келесідей жұмыс істейді. Негізгі және қорғаушы электродтардың сыртқы цилиндрлеріне теріс немесе оң полярлықтың жеткілікті жоғары кернеуі берілгенде, олар мен сымның арасында тәжді разряд пайда болады, бұл бірполярлы разряд формасы болып табылады. Құрылғының жұмыс істеуі үшін қалыпты атмосфералық жағдайларда дамыған бірполярлы тәждің режимі қамтамасыз етілуі керек.



Сурет 1 – Тәждік разрядтағы иондардың қозғалғыштығын өлшеуге арналған құрылғы

Торлы электродтардың орналасуын таңдағаннан кейін негізгі электрод арқылы разрядтық токтың мәндері және торлы электродтардағы өрістің потенциалдар айырмасы өлшенеді, олар түрленуден кейін микропроцессорға енеді. Микропроцессорда алынған мән атмосфералық ауадағы тәж разрядындағы иондардың кейбір тиімді немесе нәтижелі (ток бойынша) қозғалғыштығына сәйкес болады.

Атмосфералық ауадағы иондардың қозғалғыштығын өлшеу келесі параметрлері бар құрылғының көмегімен орындалды: тәж сымның  $r$  радиусы 10-нан 50 мкм-ге дейін өзгерді, сыртқы цилиндрдің радиусы  $R_2 = 7$  мм, ал  $\Delta R = 2$  мм және  $R_1 - 2, 4, 6$  мм; меншікті токтар 10, 30, 50 мкА/см; негізгі электродтың ені 1 см, ал одан қорғаныс электродтарына дейінгі қашықтық 1 мм; тәждің разряд аймағындағы шағын электродаралық қашықтықтарда  $E/p$  диапазондары 5-тен 15 В/см мм сын. бағ. Атмосфералық ауадағы



иондардың қозғалғыштығын өлшеу нәтижелері келесіні көрсетті: сымнан 2-ден 6,5 мм-ге дейінгі қашықтықта теріс иондардың қозғалғыштығының мәндері 5,94-тен 2,61 см<sup>2</sup> / В.с аралығында болады, ал оң иондар – 2,79-дан 1,54 см<sup>2</sup>/В.с дейін [9]. Иондардың қозғалғыштығын өлшеуден алынған нәтижелері негізінде бақылаудың жоғары дәлдігі мен сенімділігін, сонымен қатар пайдаланудағы қарапайымдылық пен ыңғайлылықты қамтамасыз ететін озонды бақылау әдісі және оны жүзеге асыруға арналған құрылғы ұсынылды [10]. Бұл жағдайда оң тәж разрядының дәйекті орналасқан учаскелері арқылы озоны бар ауаның біркелкі ағыны жасалады, ал бірінші бөлімде озоны бар ауа разрядтың оң көлемдік зарядымен әрекеттеседі, ал екінші бөлімде разряд бойынша ағын демпфер камерасы (озон сіңіргіш) арқылы енеді, содан кейін озон концентрациясын анықтау үшін екі разрядтық саңылаулардың жүктемелеріндегі кернеу потенциалы айырмасының шамасы қолданылады. Бірполярлы тәж аймағындағы әртүрлі иондардың қозғалғыштығының белгілі деректері мен өлшенген мәндерін талдау (1-кесте) және разрядта атомдық және молекулалық оттегі мен азот иондарының түзілу және жоғалу процестері жүргізілгенде. қарастырылатын болса, тәж разрядының озонметриялық сипаттамаларын анықтау керек. Осы мақсатта тәж аймағындағы иондардың орташа қозғалғыштығының сырттан келетін озон концентрациясына тәуелділігі қолданылады. Бұл ретте әзірленген озонметрлер [11] озон разряд аймағына сырттан енген кезде теріс және оң тәждегі иондардың орташа қозғалғыштықтарының өзгеруін салыстыру арқылы баланстық схема бойынша жұмыс жасайды. Сондықтан келіп түсетін озонның әсер ету механизмдерін және тәждің әртүрлі полярлықтары үшін орташа иондардың қозғалғыштығының өзгеру кинетикасын бөлек қарастырған жөн.

Белгілі болғандай [11], теріс зарядты тәж атмосфералық ауадан озон алу үшін пайдаланылады, ол әртүрлі модификациядағы тәжді разрядты озонаторларды жасауда жеткілікті түрде зерттелген. Бастапқыда разряд аралығының белгілі бір параметрлерінде теріс тәж аймағында түзілетін озон мөлшерін анықтау қажет болады.

Цилиндрдегі разряд аймағындағы токтың мәндері белгілі формулалармен анықталады [12]

$$I = 2\pi r k \rho E = 2\pi r n e k E \quad (2)$$

мұндағы  $r$  – ток өлшенетін киманың радиусы, см,  $\rho$  – заряд тығыздығы Кл/см<sup>3</sup>,  $n$  – иондардың тығыздығы см<sup>-3</sup>,  $e$  –  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл тең электрон заряды,  $k$  – иондардың қозғалғыштығы, см<sup>2</sup>/В.с.

мұндағы  $r$  – ток өлшенетін қиманың радиусы, см,  $\rho$  – заряд тығыздығы Кл/см<sup>3</sup>,  $n$  – иондардың тығыздығы см<sup>-3</sup>,  $e$  –  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл тең электрон заряды,  $k$  – иондардың қозғалғыштығы, см<sup>2</sup>/В·с.

Тәж аймағында  $O$ ,  $O_2$ ,  $O_3$  – иондарының болуы туралы маңызды сұрақ жоғарыда аталған барлық иондар үшін орынды саналады, сәйкесінше  $n_1$ ,  $n_2$  және  $n_3$  тығыздығы бар тәж қабатының шекарасына арналады. Егер тәж сымының радиусы  $r_0$  белгілі болса (біздің жағдайда ол  $5 \cdot 10^{-3}$  см-ге тең), онда тәждік қабаттың шекарасы  $r_1 = 0,3\sqrt{r_0}$  см формуласымен анықталады, онда ол см болады. 11-кесте негізінде, иондардың қозғалғыштығының мәндері үшін  $k_1(O)=3,2$ ;  $k_2(O_2)=2,24$ ;  $k_3(O_3)=2,54$  см<sup>2</sup>/В·с алуға болады. Сонда тәж тогы үшін келесі өрнекті жазуға болады:

$$I = 2\pi r e E (k_1 n_1 + k_2 n_2 + k_3 n_3) \quad (3)$$

мұндағы  $r=r_1$  және  $E=E_i$ . Тәж қабатының шекарасындағы өріс күші  $E_0 r_0 = E_{r_1}$  теңдігінен анықталады. Біз қарастырып отырған жағдай үшін тәждің бастапқы өріс кернеулігі ( $r_0 = 5 \cdot 10^{-3}$  см) 140 кВ/см, онда  $E_i = 33,33$  кВ/см тең болады. Тәждік разряд тогының мәні үшін  $1,66 \cdot 10^{-3}$  А/см қабылданады. Содан кейін келесі мәнді анықтауға болады:

$$k_1 n_1 + k_2 n_2 + k_3 n_3 = \frac{I}{2\pi r_1 e E_i} = 2,27 \cdot 10^{11} \quad (4)$$

Кейбір жорамалмен келесідегідей жазуға болады:

$$k_{cp} n = k_1 n_1 + k_2 n_2 + k_3 n_3 \quad (5)$$

мұндағы  $k_{cp}$  – иондардың орташа қозғалғыштығы,  $n$  – иондардың жалпы тығыздығы.

Электрондар мен иондардың түзілуі мен жоғалуының берілген элементарлық процестерін пайдалана отырып, атмосфералық ауадағы теріс тәж жағдайында барлық зарядталған және бейтарап оттегі атомдары мен молекулалары үшін үздіксіз теңдеулер жүйесін құрастыруға болады. Бұл теңдеулер жүйесін шешу көп еңбекті қажет етеді, өйткені элементар процестердің көптеген белгісіз параметрлерін анықтау қажет. Бұл ретте, осы теңдеулер жүйесін жалпы қарастыру келесі қорытындыларды жасауға мүмкіндік береді: разрядтың сыртқы аймағындағы электрон тығыздығының мәні аз ( $> 7-8$  мм) және сыртқы электродта нөлге ұмтылады. О- аймақтары тәж қабатының шекарасына жақын жерде жоғары тығыздыққа ие (максималды

мүмкіндік), ол бірте-бірте азаяды: сыртқы электродтағы О-2 және О-3 иондарының тығыздығы тәждің жалпы разряд тоғының 0,5 және 0,3 бөлігін құрайды. Қалыпты атмосфералық жағдайлар үшін бұл жағдайда О-, О-2, О-3 иондарының тығыздықтарының есептік есептеулері олардың арасындағы келесі қатынастарды береді [6]

$$\frac{[O^{-2}]}{[O^{-}]} = 1,72; \quad \frac{[O^{-2}]}{[O^{-3}]} = 1,32; \quad \frac{[O^{-3}]}{[O^{-}]} = 1,28 \quad (6)$$

Бланк заңына сәйкес [Мак-Даниель] иондардың үш түрі үшін мынаны жаза аламыз:

$$\frac{1}{k_{cp}} = \frac{n_1 k_2 k_3 + (1 - n_1 - n_3) k_1 k_3 + (1 - n_1 - n_2) k_1 k_2}{k_1 k_2 k_3} \quad (7)$$

Егер  $n_1 + n_2 + n_3 = 1$  ( $n$ ) қабылдаса, келесіні алуға болады:

$$\frac{1}{k_{cp}} = \frac{n_1}{k_1} + \frac{n_2}{k_2} + \frac{n_3}{k_3} \quad (8)$$

(6) қатынастарды пайдаланып, келесі алынады:

$$n_1 = 0,25n; \quad n_2 = 0,43n; \quad n_3 = 0,32n \quad (9)$$

Егер  $n=1$  алсақ, онда иондардың орташа қозғалғыштығы үшін біз мынаны аламыз:

$$\frac{1}{k_{cp}} = \frac{0,25}{k_1} + \frac{0,43}{k_2} + \frac{0,32}{k_3} \quad (10)$$

Яғни,  $k_{cp} = 2,54 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ , ал жалпы ион тығыздығы:

$$n = \frac{2,27 \cdot 10^{11}}{2,54} = 0,9 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3} \quad (11)$$

Содан кейін (9) сәйкес иондардың тығыздығын анықтаймыз:

$$n_1 = 0,225 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}; \quad n_2 = 0,387 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}; \quad n_3 = 0,228 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$$

(4) формулада келтірілгендей, иондардың жеке түрлерінің қозғалғыштығы артқанда иондардың орташа қозғалғыштығы да артады. Сондықтан озон сырттан енген кезде иондардың қозғалғыштығының артуына әкелетін жеке элементарлық процестерді қарастыруымыз керек.

Теріс тәжде негізгі элементар процестерге оттегі атомдарының, молекулаларының және иондарының түрлену реакциялары жатады (2-кесте).

Кесте 1 –  $k_{cp}$ -ның жоғарылауына немесе төмендеуіне әкелетін реакциялар.

№	арттыру $k_{cp}$	төмендеу $k_{cp}$
1.	$O_3 + O_2^- \rightarrow O_2 + O_3^-$	$O_3 + O^- \rightarrow O + O_3^-$
2.	$O_3^- + N_2 \rightarrow O^- + O_2 + N_2$	$O_3 + O \rightarrow 2O_2$
3.	$O_3 + O_2 \rightarrow O_2 + O + O_2$	
4.	$O_3 + O(D) \rightarrow O_2 + O + O$	
5.	$O_3 + O_2 \left( \sum_a^+ \right) \rightarrow 2O_2 + O$	
6.	$O_3 + O_2 (\Delta d) \rightarrow 2O_2 + O$	

2-кестедегі деректер негізінде және басқа да белгілі реакцияларды ескере отырып, кестеде озонды сырттан беру кезінде тәж разряд аймағындағы иондардың орташа қозғалғыштығының жоғарылауына немесе төмендеуіне әкелетін реакциялардың екі тобы көрсетілген.

Осы кестеден көрініп тұрғандай, озонның сырттан енуінен, реакциялардың көпшілігі  $k_{cp}$  жоғарылауына әкеледі, бұл атомдық оттегінің және оның қозғалғыштығы жоғары иондарының түзілуімен байланысты. Сонымен қатар, озонның оттегі атомдарымен және молекулаларымен әртүрлі электрондық күйлері бар реакциялары (6) формулада берілген. Айта кету керек, озонмен соңғы реакциялар негізінен тәж қабатында немесе оның шекарасында жүреді.

Енді молекулярлық процестерді, оң тәж разрядының сыртқы бөлімінде озонның азот және оттегі иондарымен әрекеттесуі кезінде болатын процестерді қарастырайық [13]. Белгілі болғандай, оң тәж разрядындағы негізгі тасымалдаушылар  $O^+$ ,  $O_2^+$ ,  $N^+$ ,  $N_2^+$  болып табылады, олар сырттан келетін озон молекулаларымен келесідегідей әрекеттеседі [6]



Егер бұрынғы және жаңадан түзілген иондардың қозғалғыштықтарының мәндерін ескерсек  $\text{O}^+$  -3,2;  $\text{O}_2^+$  -2,24;  $\text{O}_3^+$  -2,54;  $\text{N}^+$  -3,3;  $\text{N}_2^+$  -1,87;  $\text{NO}^+$  -1,96 см/В.с, тәж разрядының сыртқы бөлігіндегі иондардың орташа қозғалғыштығы (12-13) реакциялардың төмендеуіне, ал (14-15) реакциялардың жоғарылауына әкелетіні анық [14]. (12-13) реакциялар тек тәж электродына жақын тар аймақта өтетінін, сондықтан олардың жалпы разрядтық токқа қосқан үлесі шамалы екенін ескере отырып, ал (14-15) реакциялар тәж разрядының сыртқы аймағында жүріп, жалпы разрядтық токқа айтарлықтай үлес қосады.

### Қорытынды

Разрядтық ток шамасының иондардың орташа қозғалғыштығының мәніне тікелей тәуелділігін ескере отырып, токтың ұлғаюынан разрядтық саңылау ішіндегі озонның көлемдік концентрациясын анықтауға болады.

Бұл ретте озон молекулаларының оң азот және оттегі иондарымен молекулалық реакциялары күрделі болатыны белгілі, өйткені олардың реакция константалары 10-30 смб/с аралығында болады. Сондықтан ұсынылған әдіс озонды оның жоғары концентрациясында бақылау үшін қолайлырақ, ал бөлмелердегі атмосфералық ауадағы озонның төмен концентрациясы кезінде оның сезімталдығы озонды бақылаудың дәлдігіне қойылатын талаптарға сәйкес келмейді.

Бақылаудың дәлдігі мен нәтижелердің сенімділігін арттыру үшін әдетте теңдестірілген өлшеу сұлбасы қолданылады, оның бір иінті теріс полярлық разряд саңылауы, ал екінші иінті оң полярлық разрядтық саңылау болып табылады және содан кейін екі разрядтық саңылаулардың жүктемелеріндегі кернеудің потенциалдар айырмасының шамасы бойынша озон концентрациясы бағаланады.

Осылайша, екі разрядтық токты салыстыру және оларды разряд саңылауларының жүктемелеріндегі кернеулердің потенциалдық айырмасы бойынша өлшеу разрядтардың электрлік сипаттамаларының, газ температурасы мен қысымының, сондай-ақ ағынның жылдамдығының өзгеруіне байланысты озонды бақылау қателіктерін айтарлықтай азайтуға мүмкіндік береді. Бірінші разряд саңылауының разряд тогы құрамында озоны бар ауадағы озон концентрациясының өзгеруіне тура пропорционалды

өзгеретіндіктен, ауадағы бұрын белгілі озон концентрацияларына сәйкес шығыс құрылғысын калибрлеу қиын емес.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **McDaniel, E. W., Mason, E. A.** The mobility and diffusion of ions in gases [Text]. – N. Y. London-Sydney, –1973. – P. 372.

2 **Смирнов, Б. М.** Ионы и возбужденные атомы в плазме [Текст]. – Москва: Атомиздат, 1974. – 456 с.

3 **Попков, И. М.** О подвижности ионов в условиях коронного разряда [Текст] // Доклады АН СССР, 1947. – № 6. – С. 1043–1046.

4 **Ляпин, А. Г., Попков, В. И.** Измерение подвижности ионов в поле переходной униполярной короны. Преобразовательные устройства в электроэнергетике [Текст]. М. : Наука, 1964. – С. 93–102.

5 **Goldman, A., Haug, R., Latham, R. W. J.** Appl.Phys. [Text], 1976, – P. 2418–2423.

6 **Мак-Даниель, И.** Процессы столкновений в ионизованных газах [Текст]. Пер. с англ. - М. : Мир, 1967. – 832 с.

7 **Емельянов, Ю. М.** Непрерывный и безынерционный анализ газовых смесей с помощью коронного разряда [Текст]. А.с. 131908 (СССР), 1960. – № 18.

8 **Бахтаев, Ш. А.** Предпатент РК №8716. Устройство для измерения подвижности ионов в коронном разряде [Текст] // Оpubл. Бюлл. – №3, 15.03.2000

9 **Бахтаев, Ш. А., Бавлаков, В. Н., Яковенко, Т. Н.** Измерение подвижности ионов в зоне униполярной короны [Текст] // Известия АН КазССР, Сер.физ.-мат. – 1980. – №34. – С. 90–91.

10 **Бахтаев, Ш. А.** Предпатент РК №8711. Способ для контроля озона и устройство для его осуществления [Текст]. Оpubл. Бюлл. – № 3. 15.03.2000.

11 Новые коронные счетчики медленных нейтронов [Текст]. Атомная энергия, 1962. – С. 617–619.

12 **Тиходеев, Н. Н.** Дифференциальное уравнение униполярной короны и его интегрирование в простейших случаях [Текст]. ЖТФ, - 1955. – № 8. С. 1449-1457.

13 **Gernak, M., Skalny, S., Veis, S.** Asta.Phys.Slov, [Text]. 1979. Vol. 29, № 1 – P.31–38.

14 **Райзер, Ю. П.** Основы современной физики газоразрядных процессов [Текст]. – М. : Наука, – 1980. – 416 с.

15 **Филиппов, Ю. В., Вобликова, В. А., Пантелеев, В. И.** Электросинтез озона [Текст]. – М. : МГУ. – 1987, – 237 с.

## REFERENCES

- 1 **McDaniel, E. W., Mason, E. A.** The mobility and diffusion of ions in gases [The mobility and diffusion of ions in gases] [Text]. – N.Y. London-Sydney, -1973. – p. 372.
- 2 **Smirnov, B. M.** Iony i vzbuzhdennye atomy v plazme. [Ions and excited atoms in plasma] [Text]. – Moscow: Atomizdat, 1974. – 456 p.
- 3 **Popkov, I. M.** O podvizhnosti ionov v usloviyah koronnogo razrjada [On ion mobility under corona discharge conditions] [Text] : Doklady AN SSSR, 1947. – № 6. – P. 1043–1046.
- 4 **Ljapin, A. G., Popkov, V. I.** Izmerenie podvizhnosti ionov v pole perehodoj unipoljarnoj korony [Measurement of ion mobility in the field of a transient unipolar corona] [Text] : Preobrazovatel'nye ustrojstva v jelektroenergetike. Moscow : Nauka, 1964. – P. 93–102.
- 5 **Goldman, A., Haug, R., Latham, R. W. J.** Appl.Phys. [Text], 1976, – P. 2418-2423.
- 6 **Mak-Daniel', I.** Processy stolknovenij v ionizovannyh gazah [Collision processes in ionized gases] [Text]. Per. s angl. – Moscow : Mir, 1967. – 832 p.
- 7 **Emel'janov, Ju. M.** Nepreryvnyj i bezynercionnyj analiz gazovyh smesej s pomoshh'ju koronnogo razrjada [Continuous and inertialess analysis of gas mixtures using corona discharge] [Text]. A.s. 131908 (SSSR), 1960. – № 18.
- 8 **Bahtaev, Sh. A.** Predpatent RK №8716. Ustrojstvo dlja izmerenija podvizhnosti ionov v koronnom razrjade [Device for measuring the mobility of ions in a corona discharge] [Text] : Opubl. Bjull. – № 3. 15.03.2000
- 9 **Bahtaev, Sh. A., Bavlakov, V. N., Jakovenko, T. N.** Izmerenie podvizhnosti ionov v zone unipoljarnoj korony [Measurement of ion mobility in the unipolar corona zone] [Text]: Izvestija AN KazSSR, Ser.fiz.-mat. – 1980. – №34. – P. 90–91.
- 10 **Bahtaev, Sh. A.** Predpatent RK №8711. Sposob dlja kontrolja ozona i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija [Method for ozone control and device for its implementation] [Text]. Opubl. Bjull. – № 3. 15.03.2000.
- 11 **Novye koronnye schetchiki medlennyh nejtronov** [New corona counters of slow neutrons] [Text]. Atomnaja jenergija, 1962. – P. 617–619.
- 12 **Tihodeev, N. N.** Differencial'noe uravnenie unipoljarnoj korony i ego integrirovanie v prostejshih sluchajah [The differential equation of the unipolar crown and its integration in the simplest cases] [Text]. ZhTF, – 1955. – № 8. – P. 1449-1457.
- 13 **Gernak, M., Skalny, S., Veis, S.** Asta.Phys.Slov, [Text]. 1979. Vol.29, № 1. – P. 31–38.

14 **Rajzer, Ju. P.** *Osnovy sovremennoj fiziki gazozarjadnyh processov* [Fundamentals of modern physics of gas discharge processes] [Text]. – Moscow : Nauka, – 1980. – 416 p.

15 **Filippov, Ju. V., Voblikova, V. A., Panteleev, V. I.** *Jelektrosintez ozona* [Electrosynthesis of ozone] [Text]. – Moscow : MGU. – 1987. – 237 p.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

*\*Г. К. Сыдықова, А. М. Айтуганова, А. Жансериковна*

Кызылординский университет имени Коркыт Ата,

Республика Казахстан, г. Кызылорда

Принято к изданию 18.09.23.

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ОЗОНОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

*Для создания озонометрических устройств путем разработки и реализации метода наблюдения за озоном важно обеспечить, чтобы они отличались определенной высокой точностью, надежностью при простой и удобной работе. Результаты исследования показали, что наиболее эффективным способом измерения концентрации озона в атмосферном воздухе является их определение по подвижности ионов в корональном разряде. Поэтому сначала рассмотрим возможности экспериментального измерения значений подвижности ионов в условиях положительной униполярной короны.*

*Измерение концентрации озона является актуальным для физико-химии озона и технологии производства озона, а непрерывный контроль содержания озона в воздухе необходим и при подготовке бытовых и служебных помещений и лечебных мест к озонированию. Во всех случаях к озонометрам предъявляются требования к простоте их конструкции и высокой помехоустойчивости, удобству работы при точности измерений [15].*

*В данной работе предложен метод, более подходящий для контроля озона при его высоких концентрациях, позволяющий определить объемную концентрацию озона внутри разрядной щели из-за увеличения тока с учетом прямой зависимости величины разрядного тока от значения средней подвижности ионов. Для повышения точности наблюдений и надежности результатов использовалась сбалансированная схема измерения.*



*Ключевые слова: озон, коронный разряд, ионы, концентрация озона, схема измерения.*

*\*G. K. Sydykova, A. M. Aituganova, A. Zhanserikkyzy*  
Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan, Kyzylorda  
Accepted for publication on 18.09.23

## **BASIC PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF OZONOMETRIC DEVICES**

*To create ozonometric devices by developing and implementing an ozone monitoring method, it is important to ensure that they are distinguished by a certain high accuracy, reliability with simple and convenient operation. The results of the study showed that the most effective way to measure the concentration of ozone in atmospheric air is to determine them by the mobility of ions in the coronal discharge. Therefore, we will first consider the possibilities of experimental measurement of ion mobility values under conditions of a positive unipolar corona.*

*Measurement of ozone concentration is relevant for the physical chemistry of ozone and ozone production technology, and continuous monitoring of ozone content in the air is also necessary when preparing household and office premises and medical places for ozonation. In all cases, ozonometers are subject to requirements for the simplicity of their design and high noise immunity, ease of operation with measurement accuracy [15].*

*In this paper, a method is proposed that is more suitable for monitoring ozone at its high concentrations, which makes it possible to determine the volume concentration of ozone inside the discharge slit due to an increase in current, taking into account the direct dependence of the discharge current on the value of the average mobility of ions. To improve the accuracy of observations and the reliability of the results, a balanced measurement scheme was used.*

*Keywords: ozone, corona discharge, ions, ozone concentration, measurement scheme.*

Теруге 18.09.2023 ж. жіберілді. Басуға 29.09.2023 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4140

Сдано в набор 18.09.2023 г. Подписано в печать 29.09.2023 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4140

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[www.vestnik-energy.tou.edu.kz](http://www.vestnik-energy.tou.edu.kz)