

**AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI**  
**Akademik H.M. ABDULLAYEV adına FİZİKA İNSTİTUTU**

---

*Əlyazması hüququnda*

**ELÇİN CƏLAL oğlu QURBANOV**

**QISA MÜDDƏTLİ YÜKSƏK ELEKTRİK İMPULS  
SAHƏLƏRİNİN VƏ QAZ BOŞALMALARININ  
MÜXTƏLİF DİELEKTRİK MÜHİTLƏRƏ  
TƏSİRLƏRİNİN ELMİ VƏ TEXNOLOJİ  
ƏSASLARININ İŞLƏNİLMƏSİ**

3344.01 – Yüksək gərginliklər texnikası

Texnika üzrə elmlər doktoru elmi dərəcəsi  
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

**A V T O R E F E R A T I**

**BAKİ – 2018**

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının akademik H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

**Elmi məsləhətçi:**

**A.M. Həşimov**  
Texnika üzrə elmlər doktoru,  
akademik

**Rəsmi opponentlər:**

**T.M. Lazımov**  
Texnika üzrə elmlər doktoru,  
professor

**H.C. İbrahimov**  
Texnika üzrə elmlər doktoru

**A.M. Məhərrəmov**  
Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,  
professor

**Aparıcı təşkilat:**

Bakı Dövlət Universiteti  
“Fiziki elektronika” kafedrası

Müdafiə «\_\_»\_\_\_\_\_ 2018-cı il tarixdə, saat \_\_ Azərbaycan MEA akademik H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutunun nəzdindəki B/D 01.011 Dissertasiya Şurasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: AZ-1143, Bakı şəh., H. Cavid pr. 131,  
тел./факс: +(99412)538 76 46/537 22 92, e-mail: director@physics.ab.az

Dissertasiya ilə AMEA Fizika İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat «\_\_»\_\_\_\_\_ 2018-cı ildə göndərilmişdir.

**Dissertasiya Şurasının elmi katibi,  
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,  
professor**

**D.H. Arashı**

## İŞİN ÜMUMİ MƏZMUNU

**Mövzunun aktuallığı.** Sənayenin inkişafı, atmosferdə istixana effekti yaradan zərərli qaz tullantılarının ixracı, əhalinin artması, iqlim dəyişmələri, ekosistemin pozulması və s. global məsələlər alimlərin qarşısında enerji effektivli və ekoloji cəhətdən təminatlı emal üsullarının təxirəsalınmaz axtarışını tələb etməkdədir. Bununla əlaqədar qeyd olunan kriteriyalara cavab verən təhlükəsiz təsir üsullarının işlənilməsi istiqamətində aparılan yüksək elektrik impuls sahələrinin müxtəlif dielektrik mühitlərə (qazlar, mayələr, bərk dielektriklər və s.) təsirlərinin öyrənilməsi üzrə tədqiqat işləri, bu sahədə çalışan alimlər üçün perspektivli istiqamət kimi dəyərləndirilir. Sənaye tezlikli yüksək elektrik sahələrinin tədqiqi və onların müxtəlif məqsədlər üçün sənaye və xalq təsərrüfatı sahələrində tətbiqi (maşınqayırma, elektrotexnika, materialşünaslıq, kimya sənayesi və s.) üzrə işlər uzun müddətdir ki aparılır və uğurla ekoloji cəhətdən təhlükəli və enerjitutumlu (mexaniki, hərərətli, kimyəvi və s.) texnoloji prosesləri əvəz edir. Bu texnoloji qurğular başqa texnologiyalara nisbətən həm konstruksiyanın sadəliyi baxımından, həm də emal olunan obyektə elektrik enerjisinin effektiv tətbiqi ilə fərqlənir.

Bu baxımdan müxtəlif mühitlərdə qısa müddətli (mikro, nanosaniyə) elektrik qaz boşalmalarının xüsusiyyətlərinin tədqiqi, onlara kənardan dielektrik materialların təsiri və yüksək elektrik impuls sahələrinin çirklənmiş mühitlərdəki toksik elementlərə və bioloji hüceyrələrə təsirlərinin öyrənilməsi böyük maraq kəsb etməkdədir. Bu məqsədlə yüksək amplitudlu, qısa frontlu və müddətli impulsların generasiyası, onların itkisiz ötürülməsi və emal obyektində enerjinin effektivli ifrazının təmin edilməsi üçün impuls gərginliklər generatorların və onların əsas hissələrinin (enerji mənbəyi, ötürücü xətlər, kommutasiya cihazları, generatorun yükü və s.) parametrlərinin bir-birilə tənzimlənməsi olduqca vacib məsələdir. Enerji mənbəyi və generatorun yükünün bütün parametrlərinin optimallaşdırılması və onun əsasında hər xüsusi hal üçün elektroimpuls texnologiyasının işlənilməsi çox mürəkkəb elmi-texniki məsələdir ki, onun da həllinə təqdim olunan dissertasiya işi həsr edilmişdir.

Yüksək elektrik sahələr və elektrodlararası məsafələrin dəyərlərinin geniş diapazonda variasiya etməsi səbəbindən belə növ elektrotexnologiyaların işlənilməsi və istehsalatda tətbiqi olduqca çətin məsələ sayılmaqdadır. Qısa müddətli yüksək elektrik impuls sahələri vasitəsilə zərərli qaz tullantılarının emalı, içməli və tullantı suların, maye tərkibli qida məhsulların patogen mikroorqanizmlərdən zərərsizləşdirilməsi üsulları daha yaxşı

və gözlənilən nəticələrin əldə olunması və eyni zamanda proseslərin enerjieffektivliyi və ekoloji təhlükəsizliyinin təminatı üçün zəmanət yaradır. Buna baxmayaraq, hal-hazırda qeyd olunan mühitlərdə mikro və nanosaniyəli qaz boşalmalarının inkişafı zamanı müxtəlif mərhələlərdə baş verən yüksəksürətli proseslərə dair alınmış eksperimental nəticələr qeyri-kafidir və ziddiyyət təşkil etməkdədir. Onların kəmiyyət təsviri və riyazi modelləşdirilməsi müxtəlif mərhələlərdə dəşilmə mexanizmi haqqında fikir ayrılıqları yaradır. Eyni zamanda, bilavasitə qaz boşalması prosesinə təsir edən və xüsusi təyinatlı yüksək gərginlikli elektroimpuls qurğularının işlənilməsində nəzərə alınması vacib sayılan enerji mənbəyi, qaz boşalması və emal olunan mühitin parametrlərinin bir-birilə tənzimlənmə mexanizminin olmaması bu texnologiyaların inkişafına maneə törədir. Ona görə, qısa müddətli impuls sahələrinin tədqiqi istiqamətində aparılan işlər və onların əsasında enerjieffektivli və ekoloji cəhətdən təminatlı texnologiyaların yaradılması çox vacib və aktual elmi-texniki məsələ kimi qiymətləndirilə bilər.

**Dissertasiyanın əsas məqsədi** texnoloji qurğulara xas elektrod sistemlərdə qısa müddətli yüksək elektrik impuls sahələri və qaz boşalmalarının müxtəlif dielektrik mühitlərə (qazlar, bərk dielektriklər, mayelər, bioloji hüceyrələr) təsirlərinin elmi və texnoloji əsaslarının işlənilməsi və onun əsasında xüsusi təyinatlı enerjieffektivli elektrotexnologiyaların yaradılmasından ibarətdir.

Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün, dissertasiya işində aşağıdakı məsələlər həll edilmişdir:

– müxtəlif dielektrik mühitlərə (hava, su, maye tərkibli qida məhsulları, bərk dielektriklər) yüksək elektrik impuls sahələrinin təsiri və orada reallaşan yüksəksürətli fiziki proseslərin öyrənilməsi məqsədilə müxtəlif növlü 40-100 kV-lu qısa müddətli yüksək gərginlikli impuls generatorların işlənilməsi;

– potensial elektrodun konstruksiyasında orqanik şüşə, fluoroplastik və farfor dielektrik başlıqlardan istifadə edərək «mil-müstəvi» və «kürə-müstəvi» elektrod sistemlərində qısa ( $d = 3 \div 15$  mm) və uzun hava aralıqlarında ( $d = 30 \div 170$  mm) atmosfer təzyiqində və yuxarı müxtəlif növ nanosaniyəli impuls qaz boşalmalarının (tac, qığılcım) xüsusiyyətlərinin tədqiqi;

– «mil-müstəvi» və «kürə-müstəvi» elektrod sistemlərində qısa müddətli (ns) tac qaz boşalmasının xüsusiyyətlərinə hava aralığında paralel müstəvidə yerləşən müxtəlif dielektrik maneələrin təsirlərinə dair kompleks

tədqiqatların aparılması. Elektroqrafik vizualizasiya üsulu ilə polyarizasiya olunmuş dielektriklərin səthində qaz boşalmasının strukturu və onun parametrlərinin tədqiqi;

– «mil-müstəvi» və «mil-mil» elektrod sistemlərində su mühitlərinin qızma və elektrik deşilmə mərhələlərinin tədqiqi, volt-saniyə diaqramların təhlili, elektrohidravlik effektini yaradan proseslərin və yüksək elektrik impuls sahələri və qaz boşalmalarının bioloji hüceyrələrə (E-coli tipli mikroorqanizmlər, koliform, termotolerant bakteriyalar, kalifaqlar) təsirlərinin öyrənilməsi;

– «müstəvi-müstəvi» elektrod sistemində maye tərkibli qida məhsullarının (təbii şirələr, spirtli içkilər, süd məhsulları) fiziki-kimyəvi göstəriciləri və orqanoleptik xüsusiyyətlərinə, orada mövcud bioloji hüceyrələrə (məhsulların saxlanma müddətinin artırılması məqsədilə) qısa müddətli yüksək elektrik impuls sahələrinin və kimyəvi aktiv məhsulların (ozon, atomar oksigen) təsirlərinin öyrənilməsi;

– Yüksək elektrik impuls sahələri və qaz boşalmalarının qısa və uzun hava aralıqları (atmosfer təzyiqində və yuxarı), bərk dielektriklər, su mühitləri və bioloji obyektlərə təsirləri zamanı reallaşan yüksəksürətli proseslərin fiziki mexanizmlərinin öyrənilməsi;

– qısa müddətli həcmi tac qaz boşalması reaktoru əsasında zərərli qaz tullantılarının emalı, içməli və tullantı suların mövcud təhlükəli mikroorqanizmlərdən zərərsizləşdirilməsi və maye tərkibli qida məhsullarının saxlanma müddətinin artırılması, onların orqanoleptik xüsusiyyətlərinin yaxşılaşdırılması məqsədilə innovativ elektrotexnologiyaların işlənilməsi.

**Tədqiqat obyektləri və üsullar.** Tədqiqat obyektləri qismində qısa müddətli elektrik impuls qaz boşalmaları və emal olunan mühitlər (hava, içməli və tullantı suları, maye tərkibli qida məhsulları, bioloji hüceyrələr, bərk dielektriklər) seçilmişdir. Eyni zamanda qaz boşalmalarının xüsusiyyətlərinə dielektrik mühitlərin təsirləri öyrənilmişdir.

Dissertasiyada qaz boşalmaları aralıqlarının konstruksiyaları dəyişilərək elektrodlararası məsafədə elektik sahələrinin variasiya olunmasına nail olunmuşdur. Eyni zamanda, qısa müddətli elektrik qaz boşalmalarının xüsusiyyətlərinin enerji mənbəyi, elektrod sistemləri və mühitlərin müxtəlif parametrlərindən asılılığı, qeyd olunan mühitlərdə deşilmə proseslərinin müxtəlif inkişaf mərhələləri tədqiq edilmişdir. Emal olunan obyektlərdə qaz boşalmalarının xüsusiyyətləri yüksəksürətli qeydiyyat cihazları, Tektroniks tipli ossiloqraf, fotoelektrik çoxaldıcılar və dozimetrlər vasitəsilə tədqiq edilmişdir.

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutunun “Yüksək gərginliklər fizikası və texnikası” laboratoriyasında 0102AZ00030 və 0106AZ00685 sayılı «Energetikanın fiziki-texniki və texnoloji əsaslarının işlənməsi» elmi istiqaməti çərçivəsində yerinə yetirilmişdir.

**Elmi yenilik:**

– ilk dəfə atmosfer və yuxarı təzyiqlərdə qısa hava aralıqlarında nanosaniyəli yüksək elektrik impuls sahələri və qaz boşalmalarının təsiri zamanı elektrodlararası məsafədə elektrik sahələri və yüklərin fokuslanmış axınının idarə olunması məqsədilə potensial elektrodların konstruksiyalarında hərəkətdə olan orqanik şüşə, fluoroplastik və farfor dielektrik başlıqları istifadə edilmişdir. Tədqiqatlar nəticəsində göstərilmişdir ki, potensial elektrodun əyrilik radiusu və dielektrik örtüklərin “mil” elektrodun ucluğu və bir-birinə qarşı hərəkətindən asılı olaraq elektrodlararası məsafədə və müxtəlif təzyiqlərdə fiziki proseslərin intensivliyinin artması müşahidə olunur. Bu da, öz yerində, qaz boşalması zamanı ionlaşma sahəsinin və rentgen şüalanması zonasının kəskin genişlənməsinə, qaçan elektronların generasiyasına səbəb olmuşdur;

– müxtəlif geometrik parametrlə və elektrofiziki xüsusiyyətlərə malik dielektrik maneələrin istifadəsi ilə uzun hava aralıqlarında «mil-müstəvi» elektrod sistemlərində elektroqrafik vizyalizasiya üsulu ilə qısa müddətli elektrik qaz boşalmalarının strukturunun parametrləri təyin edilmişdir. Zərərli sənaye istehsalında atmosfərə buraxılan qaz tullantılarının emalı, içməli və tullantı suları və maye tərkibli qida məhsullarının patogen mikroorqanizmlərdən zərərsizləşdirilməsi üçün istifadə olunan, texnoloji qurğulara xas koaksial tipli “məftil-silindr” elektrod sistemli (məftil üzərində kiçik əyrilik radiusuna malik tac elektrodların yerləşdirilməsi ilə) nanosaniyəli tac qaz boşalması reaktorunun konstruksiyası təqdim edilmişdir;

– impuls gərginliklər generatorlarının çıxışında qısa frontlu impulsların generasiyası, hava aralıqlarının elektrik davamlılığının tez bərpası, onların stabil işləməsi və qığılcım qaz boşaldırıcı elektrodlarının uzun müddət ərzində istismarını təmin edilməsi məqsədilə qısa kommutasiya vaxtlı çoxaralıklı qaz boşaldırıcılarının təkmilləşdirilmiş konstruksiyaları təqdim edilmişdir. Bununla da, hava aralıqlarının elektrik davamlılığının tezliklə bərpa olunması, impulsların yüksək təkrarlanma tezliyi ilə generasiyası və onların emal olunan obyektlərə effektiv təsir edilməsinə nail olunmuşdur;

– eksperimentlər və hesablamaların aparılması vasitəsi ilə qısa müddətli impuls gərginliklərin su mühitinə təsiri zamanı onun qızma və elektrik

deşilməsinin sərhəd rejimləri təyin olunmuşdur. İlk dəfə müəyyən edilmişdir ki, su mühitinə qısa müddətli (mikro və nanosaniyəli) impuls-ların birgə təsiri orada mövcud patogen mikroorqanizmlərə mənfi təsir edir və onların birdəfəlik inaktivasiyasına imkan yaradır;

– ilk dəfə göstərilmişdir ki, maye tərkibli qida məhsullarının zərərsizləşdirilməsi üçün (mühitdə qılgılcım kanalları yaranmadan və məhsulların qida və bioloji dəyərlərinə təsir etmədən) onlara 400 ns müddətindən çox olmayan və ns frontlu impulslarla təsir edilməsi məqsədəuyğundur.

### **Praktiki dəyəri:**

– qaz boşalmalarının parametrlərinin təyini və fiziki proseslərin analizi əsasında zərərli istehsalat sahələrdə qaz tullantılarının emalı, içməli və tullantı suları, maye tərkibli qida məhsullarının zərərsizləşdirilməsi məqsədilə yaradılan enerji effektivli yüksək gərginlikli elektroimpuls qurğularının əsas hissələrinin rejimlərinin hesablanma metodikası təqdim edilmişdir;

– qaz tullantılarının effektiv elektron emalı, toksik elementlərin neytrallaşdırılması, qaz boşalması nəticəsində böyük həcmdə və bütün hava aralığını əhatə edən kimyəvi aktiv mühitin (ozon, atomar oksigen) formalaşması məqsədilə «məftil – silindr» koaksial elektrod sistemi (məftil elektrodun üzərində kiçik əyrilik radiuslu tac elektrodların yerləşdirilməsi ilə) əsasında uzun məsafəli, qısa müddətli tac qaz boşalması reaktoru işlənmişdir. Təqdim olunan elektroimpuls reaktoru mövcud maneə impuls qaz boşalması reaktoruna nisbətən həm ozonun generasiyası, enerji sərfiyyatı, iqtisadi səmərəliliyi, həm də qabarit ölçüləri baxımından daha əlverişlidir. Eyni zamanda, mövcud konstruksiyada elektrodların soyudulması üçün əlavə vasitələrin quraşdırılması nəzərdə tutulmur;

– içməli və tullantı sularının effektiv elektron emalı və patogen mikroorqanizmlərdən zərərsizləşdirilməsini təmin edən, «mil–müstəvi» elektrod sistemi və qısa müddətli yüksək elektrik sahələri və qaz boşalmalarının təsirləri üzərində qurulan və müxtəlif fiziki proseslərin: elektrohıdravlik effekti, elektroliz, ultrabənövşəyi şüalanma və s. müşayiəti ilə əks olunan enerji effektivli və ekoloji cəhətdən təminatlı elektrotexnologiyalar işlənmişdir;

– maye tərkibli qida məhsullarının patogen mikroorqanizmlərdən zərərsizləşdirilməsi və onların orqanoleptik xüsusiyyətlərinin yaxşılaşdırılması (fiziki-kimyəvi göstəriciləri, qida və bioloji dəyərlərinə təsir etmədən) üçün (mövcud enerji tutumlu üsulların və kimyəvi konservantların istifadəsinin əvəzinə) «müstəvi–müstəvi» elektrod sistemi və qısa müddətli elektrik impuls sahələrinin təsirləri üzərində qurulan ekoloji cəhətdən təhlükəsiz

enerjieffektivli elektrotexnologiya işlənilmişdir.

İçməli və tullantı suların yüksək elektrik sahələri və qaz boşalmaları vasitəsilə zərərsizləşdirilməsinə dair «Azərsu» Açıq Səhmdar Cəmiyyətinin «Mərkəzi laboratoriyası» tərəfindən müqayisəli təcrübələrinin protokolları, maye tərkibli qida məhsullarının (təbii şirələr, spirtli içkilər) elektron emalına dair «Göyçay Konyak Zavodu» ATSC (Göyçay, Azərbaycan) və «Kristall +» QSC (Bakı, Azərbaycan) tərəfindən aktlar təqdim edilmişdir.

**Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:**

– böyük ekoloji əhəmiyyət kəsb edən, müxtəlif dielektrik mühitlərin emalı üçün nəzərdə tutulan qısa müddətli yüksək elektrik impuls sahələri və qaz boşalmalarının generasiyasının təmin olunması məqsədilə müxtəlif tipli yüksək gərginlikli enerji mənbələri – impuls generatorların və onların əsas hissələrinin işlənmə və yaradılma prinsipləri;

– yüksək elektrik impuls sahələrinin təsiri zamanı atmosfer və yuxarı təzyiqli qısa və uzun hava aralıqlarında qısa müddətli impuls qaz boşalmalarının formalaşması, emal olunan mühitlərin parametrləri, geometrik ölçüləri və elektrod konstruksiyaların geniş variasiyası şəraitində potensial elektrodalarda hidrofob və hidrofil örtüklərin istifadəsi ilə yüksəksürətli fiziki prosesləri, hava aralıqlarında yerləşən dielektrik maneələrin qaz boşalmasının xüsusiyyətlərinə təsirləri, elektroqrafik vizualizasiya üsulu ilə qaz boşalmalarının strukturları və parametrlərinin kompleks şəkildə tədqiqi;

– su mühitlərində «mil-müstəvi» və «mil-mil» elektrod sistemlərində enerji mənbəyinin müxtəlif parametrlərində qısa müddətli yüksək elektrik impuls sahələri və qaz boşalmalarının təsiri zamanı deşilmə proseslərinin ayrı-ayrı mərhələləri və fiziki hadisələri, enerji mənbəyi, qaz boşalması aralığının parametrləri və emal olunan mühitin elektrofiziki xüsusiyyətlərinin qarşılıqlı təsirlərinin kompleks tədqiqi, müxtəlif elektrod sistemləri, impulsun amplitudu və qütbiliyində su mühitlərinin volt-saniyə diaqramlarının təhlili, içməli və tullantı sularında mikroorqanizmlərin hüceyrələrinin inaktivasiya proseslərinin öyrənilməsi;

– müxtəlif emal rejimlərində bircinsli elektrik sahələrində yüksək gərginlikli impulsların maye tərkibli qida məhsullarının orqanoleptik xüsusiyyətləri, fiziki-kimyəvi və mikrobioloji göstəriciləri, toksik elementlərin həcmi, qida və bioloji dəyərlərinə təsirlərinin kompleks tədqiqi;

– qısa müddətli yüksək elektrik sahələri və qaz boşalmalarının təsiri zamanı sıx hava aralıqları (atmosfer və yuxarı təzyiqlərdə), bərk dielektriklər, su və maye tərkibli mühitlər, bioloji strukturlarda reallaşan



yüksək sürətli fiziki proseslərin mexanizmlərinin kompleks tədqiqi;

– fiziki proseslərin tədqiqi və alınan elmi nəticələr əsasında yüksək gərginlikli impuls qurğuları və onların əsas hissələrinin layihələndirilməsi və yekunda xüsusi təyinatlı, enerjiefektivli və ekoloji cəhətdən təhlükəsiz elektrotexnologiyaların işlənilməsi.

**Alınan nəticələrin dürüstlüyü.** Dissertasiya işində müəllif tərəfindən təqdim olunan elmi nəticələr müasir üsulların və yüksək həssaslığa malik genişzolaqlı ölçü cihazları və registrasiya avadanlığı vasitəsilə əldə edilmişdir. Eksperimental və hesablama yolu ilə alınan nəticələr bir-birini tamamlayır. Müəllif tərəfindən təqdim olunan müxtəlif dielektrik mühitlərdə yüksək elektrik sahələrinin təsiri zamanı baş verən fiziki proseslərin mexanizmləri haqqında məlumatlar dünya mətbuatında bu istiqamətdə çap olunan alimlərin ümumi fikrinə zidd deyil.

**Nəticələrin alınmasında müəllifin şəxsi payı.** Müəllifin Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutunda 2004-2015-ci illər ərzində yerinə yetirilən dissertasiya işində şəxsi payı müxtəlif dielektrik mühitlərə qısa müddətli yüksək gərginlikli elektrik impuls sahələri və qaz boşalmalarının təsirlərinin elmi və texnoloji əsasları, eksperimentlərin metodikası, yüksək gərginlikli elektroimpuls qurğuları və onların əsas hissələrinin işlənilməsi və təcrübələrin ümumi təşkili, aparılması və bilavasitə iştirak etməsi, alınan elmi nəticələrin analizlərinin aparılmasından ibarətdir. Bütün elmi nəticələr müəllif tərəfindən şəxsən alınıb, elmi jurnallar və konfrans materialları toplularında dərc edilib.

**İşin aprobasiyası.** Dissertasiya işinin əsas elmi nəticələri aşağıdakı konfrans və seminarlarda müzakirə edilmişdir:

AMEA – nın fizika-riyaziyyat və texnika elmləri bölməsinin iclası, AMEA – nın Fizika İnstitutu, Milli Aviasiya Akademiyası və “Azərsu” ASC-nin seminarları, Beynəlxalq konfrans «Fizika-2005» (Bakı, 2005), III Beynəlxalq konfrans «Energetikanın fiziki və texniki problemləri» (Türkiyə, 2006), XXVIII Beynəlxalq konfrans «İonlaşmış qazlarda hadisələr» (Çexiya, 2007), XI Beynəlxalq konfrans «Dielektriklərin fizikası» (Sankt-Peterburq, 2007), V Beynəlxalq konfrans «Energetikanın fiziki və texniki problemləri» (İspaniya, 2009), VI Beynəlxalq konfrans «Energetikanın fiziki və texniki problemləri» (İran, 2010), VII- Beynəlxalq konfrans «Energetikanın fiziki və texniki problemləri» (Şimali Kipr, 2011), I Beynəlxalq konfrans «Xəzər su texnologiyaları» (Bakı, 2013), IX Beynəlxalq konfrans «Energetikanın fiziki və texniki problemləri» (Türkiyə, 2013), XXXXXXVI Beynəlxalq konfrans «Qaz elektronikası» (ABŞ, 2013), II Beynəlxalq konfrans «Xəzər su texnologiyaları» (Bakı,

2014), XX Beynəlxalq konfrans «Plazma-Elm» və XXXXI Beynəlxalq konfrans «Güclü elektron dəstləri» (ABŞ, 2014); XXII Beynəlxalq konfrans «İonlaşmış qazların atom və molekulyar fizikası» (Almaniya, 2014); X Beynəlxalq konfrans «Energetikanın fiziki və texniki problemləri» (Bakı, 2014); XI Beynəlxalq konfrans «Energetikanın fiziki və texniki problemləri» (Rumıniya, 2015); XXXXXXVIII Beynəlxalq konfrans «Qaz elektronikası» (ABŞ, 2015).

**Çap olunmuş işlər.** Dissertasiya işinin nəticələri 56 məqalə və 5 tezisdə elmi jurnallarda, Respublika və Beynəlxalq konfransların materialları toplularında dərc edilmişdir.

**Dissertasiyanın həcmi və strukturu.** Dissertasiya işi giriş hissəsi, 7 fəsil, nəticələr, əlavələr və istinad edilmiş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir.

Dissertasiya işinin həcmi 318 vərəq, o cümlədən 82 şəkil, 23 cədvəl və 333 istinad olunan ədəbiyyat siyahısı, təşkil edir.

## **DİSSERTASIYA İŞİNİN MƏZMUNU**

**Girişdə** qısa müddətli yüksək elektrik impuls sahələri və qaz boşalmalarının müxtəlif sənaye və ekoloji təyinatlı texnoloji proseslərdə istifadəsinin hazırkı vəziyyətinin qısa təsviri təqdim edilmişdir. Tədqiqat mövzusunun aktuallığı, məqsəd və vəzifələri, elmi yenilik və alınan nəticələrin praktiki əhəmiyyəti əsaslandırılmış, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar qeyd edilmiş, dissertasiya işinin strukturu və qısa məzmunu təsvir edilmişdir.

**Birinci fəsil** müxtəlif mühitlərə yüksək elektrik impuls sahələrinin təsirlərinin elmi-texniki ədəbiyyatda analizi, emal olunan obyektlərdə yüksəksürətli fiziki proseslərin tədqiqi, yüksək gərginlikli impuls enerji mənbələri və onların əsas hissələrinin işlənilməsi, müxtəlif texnoloji proseslərdə qısa müddətli yüksək elektroimpuls təsirlərinin tətbiqinə həsr edilmişdir.

Yüksək gərginlikli impuls generatorları (cərəyan, gərginlik), kommutasiya cihazları, elektrik xətləri və onların parametrlərinin klassifikasiyasına dair ədəbiyyat icmalı, qurğuların üstün və mənfi cəhətləri, onların yüksək amplitudlu, qısa frontlu və müddətli impuls siqnallarının generasiyası və optimal parametrlərinə dair məlumatlar təqdim edilmişdir. İmpuls generatorlarında qaz boşaldırıcılarının sxemləri, elementləri, cihazların konstruktiv xüsusiyyətlərinin təsvirinə (siqnalların az itki, amplitud və forma təhrifləri ilə registrasiyası üçün) xüsusilə yer ayrılmışdır.

Müxtəlif dielektrik mühitlərdə qeyritaraz elektrik impuls qaz boşalmalarının xüsusiyyətlərinin tədqiqinə həsr edilmiş işlərin kritik analizi

və icmalı aparılmışdır. Müxtəlif mürəkkəb strukturlara, dispers materiallara, tozlara qarşı (modifikasiya məqsədilə) istifadə olunan elektroimpuls texnologiyaların təqdimatı, materiallar və strukturlarda impuls qaz boşalmalarının təsirlərinin əsas fiziki mexanizmlərinin təsviri verilmişdir.

Müxtəlif müəlliflərin yüksək gərginlikli nanosaniyəli impulsların təsiri zamanı atmosfer və yuxarı təzyiqli qazlarda gedən fiziki proseslərə, qısa müddətli impuls qaz boşalmalarının formalaşmasının ayrı-ayrı mərhələlərinə, müxtəlif qaz mühitlərində qaz boşalmasının strukturu və parametrlərinə dair tədqiqatların nəticələri təqdim edilmişdir. Qısa müddətli yüksək elektrik impuls sahələrinin təsiri zamanı impuls qaz boşalmalarının həyacanlanması, müxtəlif mayelərdə deşilmə proseslərinin öyrənilməsi üzrə çoxsaylı tədqiqatların nəticələri, su mühitində impuls qaz boşalmaları, xalq təsərrüfatının müxtəlif sahələrində elektrohidravlik effektinin tətbiqinə dair geniş təhlilli materiallar təqdim edilmişdir. Yüksək gərginlikli nanosaniyəli impulsların bərk dielektriklərə təsirləri, onların ekstremal şəraitdə deşilməsi və orada reallaşan fiziki proseslərin tədqiqi haqqında materiallar təqdim edilmişdir.

Aparılan icmalın analizi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, qısa müddətli yüksək elektrik impuls sahələri və qaz boşalmalarının müxtəlif mühitlərə, materiallara və strukturlara təsirləri, onların nəticəsində reallaşan yüksək sürətli proseslər və alınan elmi nəticələr haqqında mövcud ədəbiyyatda dərc olunan məlumatlar bir-birilə böyük ziddiyyət təşkil edir.

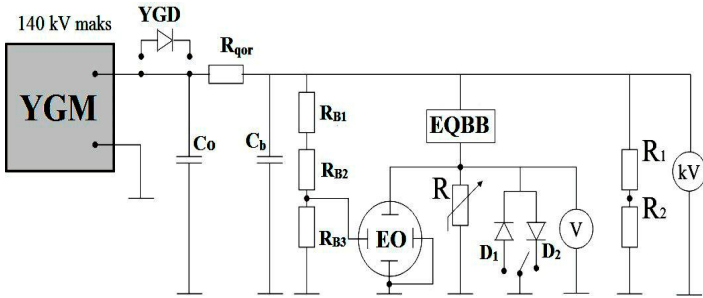
İndiyənə qədər yüksək impuls sahələrinin müxtəlif mühitlərə təsirləri zamanı baş verən fiziki proseslərin tədqiqinə, az itkilərlə yüksək tezlikli siqnalların generasiyası, ötürülməsi və emal olunan mühitlərdə effektiv ifrazı üzrə generatorların ayrı-ayrı hissələrinin yaradılmasına əsaslanan yüksək gərginlikli enerji effektivli elektroimpuls texnologiyaların işlənilməsi istiqamətində kompleks yanaşma yoxdur. Eyni zamanda yüksək elektrik impuls sahələrin ifrat qaz aralıqları, su mühitləri və bərk dielektriklərə təsirləri zamanı orada qısa müddətli qaz boşalmaları və deşilmə proseslərinin formalaşması üzrə mexanizmlərə dair birmənalı fikir mövcud deyil.

Bu günə yüksək gərginlikli impuls energetikası sahəsində olan mövcud fundamental tədqiqatların və alınan eksperimental nəticələrin, onların müxtəlif texnoloji proseslərdə tətbiqinin analizi nəticəsində tərəfimizdən dissertasiya işinin əsas məsələsinin qoyuluşu formalaşdırılmışdır. Onun məzmunu yüksək gərginlikli elektroimpuls qurğuları və onların əsas hissələrinin işlənilməsi, ekoloji cəhətdən vacib sayılan obyektlərin (hava, su və maye tərkibli qida məhsulları) elektron-ion emalı və patogen

mikroorqanizmlərdən zərərsizləşdirilməsi üzrə enerji effektivli elektrotexnologiyaların işlənməsi, əsas tədqiqat istiqamətlərinin təyin olunması, qısa müddətli yüksək elektrik impuls sahələri və qaz boşalmalarının müxtəlif dielektrik mühitlərə təsirlərinin nəticəsində fiziki proseslərin öyrənilməsinə dair sistemətik tədqiqatların aparılmasından ibarətdir.

**İkinci fəsil**də qısa və uzun hava aralıqları (atmosfer və yuxarı təzyiqlərdə), su mühitləri, maye tərkibli qida məhsulları və orada mövcud bioloji hüceyrələrə qısa müddətli yüksək elektrik impuls sahələrin təsirlərinin və qaz boşalmalarının xüsusiyyətlərinin tədqiqi məqsədilə TVO-140 tipli sənaye tezlikli yüksək gərginlikli transformatorun əsasında işlənən laborator elektroimpuls qurğusu haqqında məlumat təqdim edilmişdir. Mənbədən (YGM) yüksək gərginlik düzləndiriciyə (YGD) və sonda elektrik qaz boşalması blokuna (EQBB) verilir. Bloka Arkadyev-Marks sxemi ilə yığılan impuls gərginliklər generatoru, az induktivli ötürücü xətlər, sənaye qurğularına xas «mil-müstəvi», «kürə-müstəvi», «mil-mil» və «məftil-silindr» elektrod sistemlərindən ibarət tac və qığılcım qaz boşalmaları reaktorları daxildir.

Qısa müddətli qaz boşalmalarının elektrik parametrlərinin aşağı təhriflə registrasiyası üçün müxtəlif sxemli (kapasitif və resistiv gərginlik bölüşdürücüləri, tənzimləmə rezistorları, diodlar  $D_1$ ,  $D_2$  və cərəyan şuntları) ölçü traktları və Textronix tipli genişzolaqlı ossiloqraf istifadə edilmişdir.



Şək. 1. Yüksək gərginlikli transformator əsasında yığılan impuls qurğusunun elektrik sxemi

Fəsilə bizim tərəfimizdən elektrik yüklərin fokuslanmış dəstləri və elektrik sahələrinin idarə olunması məqsədilə elektrod sistemlərində orqanik şüşə, fluoroplastik və farfor materiallarından hazırlanan dielektrik başlıqların konstruksiyaları təqdim edilmişdir. Başlıqlar potensial

elektrodun (PE) üclüğüna və biri-birinə qarşı 1-5 mm diapazonunda hərəkət edə bilirlər. Müstəvi elektrodlar qismində bütöv polad və ya 1,5 mm addımlı tor elektrodlardan istifadə olunmuşdur. Elektrodlararası məsafənin 1-170 mm diapazonunda variasiyası məqsədilə müstəvi elektrodlar hərəkət mexanizmi ilə təchiz olunmuşlar.

Eyni zamanda hava aralığında yerləşən dielektriklərin polyarizasiya olması səbəbindən onların səthində toplanan yüklər qaz boşalmasının strukturu və parametrlərinin elektroqrafik vizualizasiya üsulu ilə tədqiq olunması və təyin edilməsinə imkan yaratmışdır.

Fəsilə tədqiq olunan obyektlərin təsviri, CCD-kameralar və yüksək sürətli fotoreqistratorlar vasitəsilə hava və su aralıqlarında qısa müddətli qaz boşalmalarının optik şüalanma zonasının registrasiyası, elektroqrafik vizualizasiya üsulu ilə hava aralıqlarında elektrik qaz boşalmasının strukturu və parametrlərinin təyini, fotoelektron çoxaldıcılar vasitəsilə lider kanallarının sürətinin təyini, qısa sıx hava aralıqlarında dozimetr və yüksək hassaşlığa malik plynkalar vasitəsilə rentgen şüalanması sahəsinin təyini və tədqiqi, yüksək impuls sahələrinin təsiri nəticəsində elektrodların səthinin optik üsullarla tədqiqi, su və maye tərkibli mühitlərdə mövcud patogen bakteriyaların impuls təsirlərindən qabaq və sonra həcmnin artmasının təyin edilməsi metodikaları təqdim edilmişdir.

İstehsalçılar: Azərsu ASC, “Göyçay Konyak Zavodu” ATSC və “Kristall +” QSC-nin xüsusi laboratoriyalarında istifadə olunan içməli və tullantı suları, maye tərkibli qida məhsullarının (təbii şirələr, spirtli içkilər) təcrübə nümunələrində qısa müddətli elektrik sahələri, qaz boşalmaları və yaranan aktiv mühitin {atomar oksigen, ozon} təsirləri nəticəsində patogen mikroorqanizmlərin həcmnin təyin olunması metodikaları təqdim edilmişdir.

**Üçüncü fəsilə** tədqiqat məqsədləri üçün bizim tərəfimizdən Arkadyev-Marks sxemi əsasında və sənaye tezlikli yüksək gərginlikli transformator, kapasitif enerji toplayıcıları və qığılcım qaz boşaldırıcılardan ibarət, tiristor sxemi ilə yığılan və impuls transformatorundan ibarət və kabel xətlərinin əsasında yığılan yüksək gərginlikli generatorların konstruksiyaları təqdim edilmişdir. Eyni zamanda, generatorların əsas hissələrinin konstruksiyalarının təkmilləşdirilməsi və çıxışda kiçik frontlu yüksək tezlikli siqnalların generasiyası məqsədilə orada baş verən fiziki proseslərin tədqiqi aparılmışdır. Tədqiq olunan obyektlərin və enerji mənbəyinin (ötürücü xətlər daxil olmaqla) parametrləri bir-birilə tənzimlənmişdir.

Arkadyev-Marks sxemi əsasında yığılan impuls gərginliklər generatorlarında yüksək gərginlikli, aşağı induktivli impuls kondensatorlardan

istifadə edilmişdir. Müxtəlif tədqiq obyektlərinə yüksək elektrik impuls sahələrinin təsirlərinin rejimləri və effektivliyin optimallaşdırılması məqsədilə yüksək gərginlikli generatorlarda istifadə olunan yüklənən tutumun dəyərləri onlarla pKf – bir neçə mkF civarında dəyişdirilir. Sxemdə induktiv itkilərin qarşısının alınması üçün bütün birləşmələr zolaq xətləri vasitəsilə yerinə yetirilmişdir. Yüksək gərginliklər generatoru və elementlərin parametrlərinin variasiyası vasitəsilə generatorun çıxışında müxtəlif gərginliklərdə müxtəlif təkrarlanma tezliyi və qaz boşalması kanallarında enerji ifrazına malik impulslar formalaşdırılırdır. Hər bir hal üçün, tədqiqatların nəticələri və tədqiq olunan mühitlərə impulsların effektiv təsirlərinin səviyyəsi müəyyənləşdirilərək qurğuların maksimal emal effektivinə malik iş rejimləri seçilmişdir. Generatorların orta gücü 50 kVt-dan az, iş resursu isə –  $10^8 \div 10^{10}$  impuls təşkil etmişdir.

Kommutasiya cihazları qismində hava aralığının elektrik gücünü tez bərpa edən müxtəlif elektrodlararası məsafəli - d qılgımcı hava aralıqlı qaz boşaldırıcıları istifadə edilmişdirlər. Bu məqsədlə yüksək gərginlikli generatorların çıxışında bir neçə mm-lik məsafəli düz-paralel elektrod sistemli çoxaralıqlı qılgımcı qaz boşaldırıcılarının konstruksiyaları təqdim edilmişdir. Onların vasitəsilə qısa frontlu – onlar ns, müddətli – yüzlər ns və yüksək tezlikli – minlərlə Hz-dək təkrarlanma tezlikli impulsların generasiyası təmin edilmişdir. Eyni zamanda, mövcud konstruksiyalı qılgımcı qaz boşaldırıcıları onların iş resursunun yüksəlməsinə imkan yaratmışdır.

Fəsilədə impuls transformatoru əsasında tiristor sxemi ilə yığılan yüksək gərginliklər generatorunun parametrlərinin (sxemin induktiv və kapasitif, generatorun əsas hissələrinin parametrlərinin tənzimləməsindən asılı olaraq) hesablanma və qiymətləndirmə metodikası təqdim edilmişdir. Bu da ayrı-ayrı cihazların (impuls transformatoru, çoxaralıqlı qaz boşaldırıcıları) materialları və konstruksiyalarının optimizasiyasına, çıxışda cihazların qısa kommutasiya və tez elektrik gücünün bərpa müddətinə nail olması, impuls transformatorların yüksək transformasiya göstəricisi, qısa front (ns) və impulsların yüksək təkrarlanma tezliyinin (kHz) təmin olunmasına imkan yaratmışdır.

Təqdim olunan hesablanma mexanizmlərinin əsasında impuls transformatorlu, 100 kV-luq, qısa frontlu (bir neçə ns) və müddətli ( yüzlərlə ns), minlərlə Hz-ə qədər impulsların təkrarlanma tezliyinə malik enerji effektivli elektroimpuls qurğusu işlənmişdir.

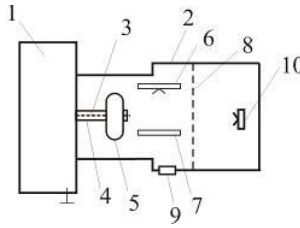
Qısa müddətli impuls qaz boşalmalarının xüsusiyyətləri, onların və hava aralığında yerləşən dielektrik maneələrin parametrlərinin qarşılıqlı təsiri,

qısa müddətli impuls qaz boşalmasının strukturu və onun parametrlərinin tədqiqi üçün qısa müddətli (front – onlarla ns, müddəti – yüzlərlə ns), 100 kV-luq, kabel xətləri əsasında yığılan yüksək gərginliklər generatoru işlənmişdir.

Yüksək gərginliklər generatorlarının fəaliyyəti zamanı yaranan elektromaqnit müdaxilələrin təsirləri, zərərli yüksək tezlikli şüalanmalar və akustik səslərin aradan qaldırılması üçün, qurğunun bütün yüksək gərginlik hissəsi spesifik səs keçirməyən material ilə əhatə olunmuş, yüksək həssaslı ölçü cihazları və qurğuları isə tam ekranlaşmış qoruyucu konstruksiya daxilində yerləşdirilmişdir.

**Dördüncü fəsil**də 40-100 kV-luq diapazonunda impuls gərginliklərin qısa ( $d = 3-15$  mm) və uzun ( $d = 30-170$  mm) hava aralıqlarına (atmosfer və yuxarı təzyiqlərdə) təsiri zamanı formalaşan qısa müddətli elektrik qaz boşalmaların xüsusiyyətlərinin tədqiqi üzrə əldə olunan elmi nəticələr təqdim edilmişdir. Elektrod konstruksiyası qismində sənaye qurğularına xas «mil-müstəvi» və «kürə-müstəvi» elektrod sistemləri istifadə edilmişdir. Belə ki, elektrik sahələr və fokuslanmış yüksək enerjili yük dəstlərinin idarə olunması məqsədilə orqanik şüşə, fluoroplastik və fərfordan hazırlanmış hərəkətdə olan dielektrik başlıqlardan ibarət potensial elektrodların konstruksiyaları təqdim edilmişdir. Başlıqlar potensial elektrodun ucluğu və bir-birinə qarşı  $L = 1-5$  mm civarında hərəkət edirdilər. Potensial elektrodlar qismində dəmirdən hazırlanan  $r = 1-6$  mm radiuslu “mil” və  $\varnothing 16$  mm diametrlı “kürə” tipli elektrodlar istifadə olunmuşdur. Dəmir  $r = 1$  mm radiuslu “mil” elektroda fərför və fluoroplastik,  $r = 4$  mm radiuslu elektroda – orqanik şüşə,  $\varnothing 16$  mm diametrlı “kürə” elektroduna isə fluoroplastikdən hazırlanan başlıqlar taxılmışdır. Anod qismində 1,5 mm addımlı polad tor və ya bütöv “müstəvi” tipli elektrod istifadə olunmuşdur. Qısa sıx hava aralıqlarında nanosaniyəli elektrik qaz boşalmaları Arkadyev-Marks sxemi əsasında yığılan və yüksək gərginlikli sənaye tezlikli transformator, kapasitif enerji tutumlardan ibarət (sxemin elektrik parametrləri: gərginlik, yüklənmə tutumu və s. və qaz boşaldırıcıların konstruksiyaları geniş variasiya olaraq) impuls generatorlar vasitəsilə formalaşır. Fiziki proseslərin tədqiqi nəticəsində (optik və rentgen şüalanma, potensial elektrodla partlayış prosesləri və s.) yüksək gərginliklər generatorunun çıxışında formalaşan impulsların qeyd olunan parametrləri daha effektiv rejimə təsadüf etmişdir:  $U = 60 \div 100$  kV;  $t_f = 2 \div 20$  ns,  $t_i = 20 \div 350$  ns,  $f_t = 200$  Hz  $\div$  200 kHz.

Şək. 2-də yüksək gərginlikli elektroimpuls qurğusunun işçi kamerasının eskizi göstərilmişdir.



Şək. 2. Yüksək gərginlikli generatorun yükünün eskizi

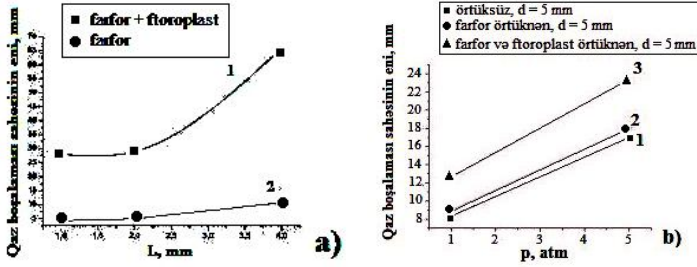
Yüksək impuls gərginliyi generatorun çıxışından (1) işçi kameranın (2) farfor (4) və fluoroplastik (5) başlıqlardan ibarət potensial elektroduna (3) verilir. Anodun (8) arxasında «Samsung S500» markalı rəqəmsal videokamera, qaz boşalması sahəsinin yan tərəfindən DP5B (6) tipli dozimetr və qarşı tərəfdən rentgen plynokadan ibarət kasset yerləşdirilmişdir (7). Qaz boşalmasının cərəyanı şunt (9) vasitəsilə «Textronix» markalı ossilloqrafla qeyd olunurdu.

İşçi kameranın mövcud konstruksiyası və orada cihazların göstərilən qaydada yerləşdirilməsi qaz boşalmasının şüalanma sahəsinin real genişlənməsinin aydın qeyd olunmasına şərait yaradır. Əvvəlcədən qaz boşalması prosesləri videofayla yazılır, sonra isə «Sony Vegas Pro 8» kompyuter redaktə proqramı vasitəsilə alınan fayllar inteqral rəqəmsal şəkillərə çevrilir.

Qaz boşalmasının bütün fotosəkillərində katod ətrafında bənövşəyi diffuz şüalanma ilə əhatə olunmuş parlaq ağ şüalanma sahəsi qeydə alınmışdır. Bənövşəyi sahə həyəcanlı azot molekullarının neytral vəziyyətə keçid vaxtı elektromaqnit radiasiyasının (ikinci müsbət zolaq sistemi), ağ rəngdə şüalanma sahə isə – nisbətən yüksək temperaturlu katod ətrafı plazmanın emissiyasının spektrlərinə təsadüf edir. Elektrodlararası məsafənin azalması ( $< 5$  mm) diffuz qaz boşalmaların qılgıncım qaz boşalmalarına çevrilməsinə səbəb olur və qılgıncım kanallarının sayı (ağ rəngdə) katodun səthində olan mikroçixıntılardan sayı ilə bərabərlik təşkil edir.

Şək. 3-də qaz boşalması sahəsinin eninin (şüalanma sahəsi) katodun geometriyası (L), təsir mühitin parametrləri (p) və elektrodlararası məsafədən (d) asılılıqları təqdim edilmişdir.





Şək. 3. Qaz boşalmasının şüalanma sahəsinin potensial elektrodalarda dielektrik başlıqların yerləşdirilməsi ( $r = 1$  mm) və havanın təzyiqindən asılılıq əyriləri: a – farfor və fluoroplastik başlıqları (1), farfor başlığı (2), elektrodlararası məsafə –  $d = 11$  mm; b – başlıqlar yoxdur (1), farfor başlığı (2), farfor və fluoroplastik başlıqları (3),  $d = 8$  mm

Əyrlərdən görüldüyü kimi, havanın atmosfer təzyiqində təqə farfor başlığının 1 mm əyriklik radiuslu potensial elektroduna qarşı 1-4 mm məsafə diapazonunda hərəkət etməsi qaz boşalmasının şüalanma sahəsinin 5 mm-dən 10 mm-dək genişlənməsinə səbəb olur. Onun üstündən fluoroplastik başlığın taxılması, onların bir-birinə və elektrodun ucluğuna qarşı 1 mm məsafədə hərəkət etməsi qaz boşalmasının şüalanma sahəsinin 5 mm-dən 27 mm-ə, 4 mm-də isə – 62 mm-dək genişlənməsinə səbəb olur.

Havanın təzyiqi 1 atm-dən 5 atm-dək yüksəldikdə qaz boşalmasının şüalanma sahəsi 9 mm-dən 17 mm-ə qədər genişlənir. Görüldüyü kimi, iki örtüyün sinxron istifadəsi qaz boşalmasının şüalanma sahəsinin daha kəskin genişlənməsinə səbəb olur.

Sıx hava aralığında qısa müddətli yüksək elektrik impuls sahələrinin təsiri zamanı elektrodlararası sahələrdə rentgen şüalanma sahəsi qeydə alınır və onun ölçülərinin potensial elektrodun konstruksiyası və təsir mühitinin parametrlərindən asılılığı müəyyən edilmişdir (cədv. 1).

Cədvəl 1

Sıx hava aralıklarında təsir mühiti və potensial elektrodun müxtəlif parametrlərində rentgen şüalanmasının tədqiqi üzrə alınan nəticələr

Elektrodun əyriklik radiusu	Başlıq	Havanın təzyiqi, atm.	Katodda rentgen şüalanması sahəsinin eni, mm	Anodda rentgen şüalanması sahəsinin eni, mm
Mil, $r_{əyri}=1$ mm	-	1	3,2	4,93
Mil, $r_{əyri}=1$ mm	Farfor	1	16,3	82,05
Mil, $r_{əyri}=4$ mm	-	1	-	69,73
Mil, $r_{əyri}=4$ mm	Orqanik şüşə	1	-	89,44
Mil, $r_{əyri}=4$ mm	-	3	16,02	82,54

Cədvəl 1-dən görünür ki,  $r = 1$  mm əyrilik radiuslu potensial elektrodun konstruksiyasında dielektrik başlıqların mövcudluğundan asılı olmayaraq  $p=1$  atm. hava təzyiqində elektrodların ikisinin də ətrafında (anod və katod) rentgen şüalanma sahəsi qeydə alınır. Potensial elektrodun konstruksiyasında farfordan düzəldilmiş başlıqlar olduğu halda katodətrafi ərazidə rentgen şüalanma sahəsinin eni 3,2 mm-dən 16,3 mm-dək, anodun ətrafında isə – 4,93 mm-dən 82,05-dək genişlənməsi müşahidə olunur. Potensial elektrodun ( $r = 4$  mm) əyrilik radiusunun artması və konstruksiyada orqanik şüşədən düzəlmiş dielektrik başlığın olması, onun elektrodun ucuğuna qarşı  $L = 5$  mm məsafədə hərəkət etməsi və hava təzyiqinin  $p = 1$  atm. bərabər olması rentgen şüalanma sahəsinin yalnız anod ətrafında qeydə alınması və onun eni 69,73 mm-dən 89,44 mm-dək genişlənməsi ilə nəticələnir. Potensial elektrodun parametrlərinin dəyişmədiyi və hava təzyiqinin 1 atm-dən 3 atm-dək yüksəltdiyi halda isə elektrodun konstruksiyasında başlıqların mövcudluğundan asılı olmayaraq rentgen şüalanma sahəsi elektrodların ikisinin də ətrafında qeydə alınır və katodyanı ərazidə onun ölçüləri  $\sim 16,02$  mm təşkil edir.

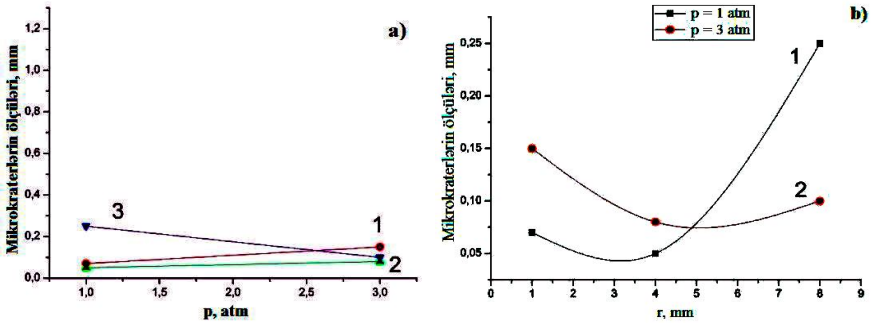
Qeyd etmək lazımdır ki, rentgen şüalanması sahəsinin aydın avtoqrafları potensial elektrodun yalnız neqativ qütbiliyində qeydə alınmışdır. Yəqin ki, bu fakt potensial elektrodun müxtəlif konstruksiyalarında və təsir mühitinin xüsusiyyətlərində neqativ qütblü potensial elektrodun ətrafında pozitiv qütblü həcmi yükünün formalaşması və “mil” elektrodun mikroçixıntılarında elektrik sahəsinin əhəmiyyətli dərəcədə güclənməsi ilə bağlıdır. Anod ətrafında, potensial elektrodun ölçüləri və mühitin xüsusiyyətlərindən asılı olmayaraq, rentgen şüalarının daimi qeydiyyatı pozitiv qütblü müstəvi istiqamətində hərəkət edən neqativ qütblü lider kanallarının yaxınlaşması zamanı orada elektrik sahəsinin lokal güclənməsi ilə izah etmək olar.

Yüksək elektrik impuls sahələrinin qısa məsafəli ifrat hava aralıklarına təsiri zamanı impuls qaz boşalmalarının formalaşmasının əsas məqamlarından biri də katodun mikroçixıntılardan (haradakı elektrik sahəsinin əsas gücü cəmlənməkdədir) partlayıcı elektron emissiyasının baş verməsidir. Yüksək elektrik sahəsinin təsiri zamanı katodun səthindəki mikroçixıntılardan avtoelektron emissiyası, onunla bağlı partlayış prosesləri baş verir ki, nəticədə katodyanı ərazidə yüksək temperaturlu plazma formalaşır və mikroçixıntıların yerində mikrokraterlər yaranır. Potensial elektrodun işçi sahəsindən asılı olaraq mikrokraterlərin sıxlığı və ölçüləri dəyişir. Şək. 4-də formalaşan mikrokraterlərin ölçülərinin təsir mühitinin xüsusiyyətləri və potensial elektrodun ölçülərindən asılılıq əyriləri təqdim edilmişdir.

Əyrilərdən görüldüyü kimi, aşağı radiuslu potensial elektrodlarda ( $a$ ,

əyri 1 –  $r = 1$  mm) partlayıcı proseslərin nəticəsində yaranan kraterlərin ölçüləri 70 mkm-dən ( $p = 1$  atm) 130 mkm-dək ( $p = 3$  atm) artır. Potensial elektrodun radiusu (əyri 2 –  $r = 4$  mm, əyri 3 –  $r = 8$  mm) və mühitin təzyiqi artdıqda mikrokraterlərin ölçülərinin qismən azaldığı müşahidə edilir. Yəqin ki, bu da geniş səthli potensial elektrodlarda mikroçixıntılıarın sayının artması və onlar arasında elektrik sahələrinin daha bərabər paylanması (zəifləməsi) ilə əlaqədardır.

Hava aralıklarında yüksək elektrik impuls sahələrinin təsiri zamanı formalaşan və inkişaf edən qısa müddətli qaz boşalmalarında mövcud fiziki proseslərin daha dolğun təsviri məqsədilə uzun hava aralıklarında ( $d = 30$ -170 mm) qaz boşalmalarının xüsusiyyətləri tədqiq edilmişdir.



Şək. 4. Kraterlərin ölçülərinin təsir mühiti və elektrodların parametrlərindən asılılıqları: a – mühitin təzyiqindən (əyri 1-3); b – mühitin müxtəlif parametrlərində elektrodların ölçülərindən

Statik fotoçəkiliş və elektroqrafik vizualizasiya üsulları ilə birgə hava aralıklarında elektrik qaz boşalmalarının formalaşmasının ilkin və aralıq mərhələləri tədqiq edilmişdir. Müxtəlif elektrod sistemləri (“mil-müstəvi”, “kürə-müstəvi”), impulsların müddəti, elektrodlararası məsafədə yerləşən bərk dielektriklərin geometrik ölçüləri və elektrofiziki parametrlərində həyacanlanan nanosaniyəli qaz boşalmasının strukturu və xüsusiyyətləri öyrənilmişdir. Tədqiqat obyektləri qismində müxtəlif qalınlıqlı ( $\Delta = 0,5$ -6 mm), dielektrik nüfuzluqlu ( $\epsilon = 3$ -9) və səthə malik (hamar və kobud) orqanik şüşə, polikor, keramika və sital materiallarından hazırlanan dielektrik maneələr istifadə edilmişdir. Onlar hava aralıqına paralel müstəvidə (potensial elektrodun müxtəlif məsafələrdə (0,3-20 mm)) yerləşdirilmişdir. Tac elektroduna (“mil”, “kürə”) pozitiv qütblü (front - bir neçə ns; müddət - yüzlərlə ns) impuls gərginliyi verildikdən sonra potensial elektrodun ucluğundan nanosaniyəli tac qaz boşalmasının

həyacanlanması baş verirdi. Dielektrik maneənin qalınlığının potensial elektrodadək olan məsafəyə qarşı nisbətindən asılı olaraq, hava aralığında yüksəkkeçirici lider kanallarından ibarət həcmi tac elektrik qaz boşalması formalaşdı. Hava aralığında impuls qaz boşalmasının formalaşması zamanı böyük həcmdə toplanan azhərəkətli həcmi müsbət yüklənmiş hissəciklərin dielektrik maneələrin polyarizasiyasına, yüklərin səthdə cəmləşməsinə səbəb olur ki, bu da, öz yerində, maneənin qalınlığından asılı olaraq, qaz boşalmasının xüsusiyyətlərinə mühüm təsir göstərməkdədir. Polyarizasiya olunmuş dielektrik maneələrin səthinin elektroqrafik vizualizasiya üsulu ilə yüklərdən neytrallaşdırılması qaz boşalmasının strukturu və qısa müddətli yüksək impuls sahələrinin təsiri zamanı formalaşan lider kanalların vizual təsvirinin əldə olunmasına imkan yaradır. Cədvəl 2-də dielektrik maneələrinin impuls qaz boşalmasının xüsusiyyətlərinə təsirlərini əks etdirən nəticələr təqdim edilmişdir.

Cədvəl 2

Müxtəlif dielektrik maneələr üçün qaz boşalması cərəyanının dəyəri

№	Nümunənin adı	Nümunənin qalınlığı, mm	Elektrodlararası məsafə, mm	PE-dən maneəyə qədər məsafə, mm	Cərəyanın dəyəri, A
1	Hava		116	2	0,25
2	Keramika	0,5	116	2	0,3
3	Keramika	0,96	116	2	0,35
4	Sital (kəbud)	0,98	116	2	0,25
5	Polikor (hamar)	1,0	116	2	0,28
6	Sital (hamar)	0,5	116	2	0,26
7	Keramika (hamar)	1,0	116	2	0,4

Cədvəldən görüldüyü kimi, qaz boşalması cərəyanının dəyəri, dielektrik maneələrin potensial elektroda qarşı 2 mm məsafədə yerləşdiyi və dielektriklərin qalınlığı artdığı zaman (təmiz hava aralığına nisbətən) 10-30% yüksəlir. Dielektrik maneələr və potensial elektrodun arasında məsafə azalarkən (hətta ona toxunarkən), dielektriklərin xüsusiyyətlərindən asılı olmayaraq, qaz boşalması cərəyanının dəyəri 2-3 dəfə artır. Elektroqramlardan görünür ki, hamar səthli dielektriklərdə lider kanallarının şaxələnmə prosesi daha aydın və parlaq təsvir olunur. Maneələrin qalınlığı və dielektrik nüfuzluğu artdıqca, qaz boşalmalarının elektroqramlarında lider kanallarının strukturu daha intensiv və çoxşahəli, bütün hava aralığını əhatə edərək, təsvir olunur. Hətta, lider kanallarının, hava aralığında həm uzunluğunu, həm də eninə (onların əsas kanalının müəyyən bucaq altında hərəkət etməsi

nəticəsində) inkişafı müşahidə olunur. Çoxsaylı eksperimentlərin nəticəsində təyin edilmişdir ki, hava aralığında lider kanallarının intensiv şaxələnmə prosesinin müşahidə edilməsi üçün, orta elektrik sahənin minimum dəyəri 8 kV/cm olmalıdır. Bu faktorun (toksik qaz tullantılarının maksimal dərəcədə neytrallaşdırılması üçün) təyinatlı yüksək gərginlikli elektroimpuls qurğularının işlənilməsində nəzərə alınması çox vacibdir. Alınan elektroqramlarda qaz boşalması strukturunun və onun parametrləri (kanal və başlıqların ölçüləri, cədv. 3) təyin edilmişdir.

Cədvəl 3-dən görünür ki, dielektrik maneələrin eyni qalınlığa və səthin vəziyyətinə malik olduğu halda (onların potensial elektroda qədər olan məsafədən asılı olaraq) elektroqramlarda təsvir olunan lider kanallarının ölçüləri (kanalın, başlıqların) kəskin dərəcədə fərqlənirlər. Beləliklə,  $h = 0,5$  mm qalınlıqlı hamar səthli sitallar üçün, potensial elektrodun yaxınlığında lider kanalların başlıqlarının ölçüləri (7 mm) eyni səthli keramik materiallara nisbətən (0,5-1 mm) çox yüksəkdir, lakin lider kanallarının öz ölçüləri çox aşağıdır və 1,5-5 mm təşkil edir. Bu halda dielektriklərin materialı xüsusilə mühüm rol oynayır. Eyni səthlər üçün, dielektrik maneələrin qalınlığı artanda lider kanalların başlıqlarının ölçüləri 2-3 dəfə yüksəlir, kanalların ölçüləri isə xeyli azalır. Bu faktı hava aralığında lider kanallarının formalaşmasında, orada yerləşən dielektrik maneələrin polyarizasiya sahələrin təsirlərinin mövcudluğu kimi qiymətləndirmək olar.

Cədvəl 3

Elektroqramlarda lider kanallarının struktur parametrləri üzrə alınan nəticələr

Dielektrikin materialı	Qalınlığı, mm	Lider kanalının başlığının ölçüsü, mm	Lider kanalının başlığının hava aralığına paralel istiqamətdə ölçüsü, mm	Lider kanalının potensial elektrodun yaxınlığında ölçüsü, mm	Lider kanalının potensial elektrodan 5 mm məsafəsində ölçüsü, mm	Lider kanalının hava aralığına paralel istiqamətdə ölçüsü, mm
Sital (hamar)	0,5	7	0,5-2	9	1,5-5	4-8
Sitall(kobud)	1,0	0,4-1,5	0,5-2	3-10		2-5
Polikor (hamar)	1	0,5-3	0,5-3	2,5-3,5		4-17
Keramika (hamar)	0,5	0,5-1	0,3	100	500	500
Keramika (hamar)	1	1,5-2,5	2-3	3	2-9	7-11

Fəsildə, həmçinin, qaz boşalması sahəsinin (uzunluğu, eni) genişlənməsinin, potensial elektroddan 1,8 mm məsafədə yerləşən, 1,3 mm-lik qalınlığa malik orqanik şüşə tipli dielektrik maneədən istifadə etməklə, elektrodlararası məsafədən asılılığının təyin edilməsi üzrə optik tədqiqatların nəticələri təqdim edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, qaz boşalması sahəsinin uzunluğu və eninin elektrodlararası məsafədən asılılığı proporsionaldır. Hər birinin artması digər parametrin yüksəlməsinə səbəb olur (məsafə artdıqca boşalma sahəsinin uzunluğu 35-215 mm, eni isə 40-70 mm civarında artır). Qeyd etmək lazımdır ki, qaz boşalması sahəsinin uzunluğunun eninə nisbətə daha tez artması müşahidə olunur. İmpulsun müddətinin 130-350 ns diapazonunda yüksəlməsi qaz boşalmasının uzunluğunun 6 dəfə, eninin isə 2 dəfəyədək artmasına səbəb olur. Fotoelektron çoxaldıcılar üsulu ilə lider kanallarının sürətinin təyin edilməsi göstərir ki, potensial elektroddan uzaqlaşaraq liderlərin sürəti azalır və minimal həddə – 0,1 mm/ns-yə çatmaqdadır. Lakin elektrodlararası məsafənin azalması sürət enişinin qismən stabilləşməsinə imkan yaradır.

Müqayisə məqsədilə oxşar tədqiqatlar «kürə-müstəvi» elektrod sistemi üçün aparılmışdır. Təyin edilmişdir ki, əgər «mil-müstəvi» elektrod sistemində qaz boşalmasının gecikmə vaxtı 30-60 ns civarında dəyişirsə, «kürə-müstəvi» elektrod sistemində bu rəqəm 100-ns-dən çox təşkil edir. Buna baxmayaraq, hər iki elektrod sistemlərində qaz boşalması strukturunun parametrlərinin ölçüləri demək olar ki eynidir. Alınan elektroqramlardan görünür ki, gecikmə vaxtının azalması lider kanallarının intensiv şaxələnməsi və onların bütün elektrodlararası məsafəni əhatə etməsinə səbəb olur. Eyni zamanda, müxtəlif elektrod sistemlərində, eyni elektrodlararası məsafələrdə, qaz boşalması sahəsinin inkişaf sürətlərinin dəyərləri oxşardır.

Fəsildə bərk kristallik dielektriklərdə – qələvi halloid kristallarda qısa müddətli (ns) yüksək elektrik impuls sahələrinin təsiri zamanı baş verən fiziki proseslərin tədqiqinin nəticələri təqdim edilmişdir. Göstərilmişdir ki, dielektrik mühitlərdə deşilmə prosesi (impulsun amplitudu və lider kanallarının formalaşma yerindən asılı olaraq) elektron-qızma və ya güclü zərbə dalğalarının müşahidəsi ilə elektron-detonasiyası mexanizmi vasitəsilə reallaşır. Yaranan dalğaların səs sürətindən az və ya çox sürətlə yayılması və dielektriklərin sıxılması (zərbə nəticəsində) elektronların valent zonasından keçirici zonaya yüksək injeksiyasına səbəb olur.

**Beşinci fəsildə** elektrohidravlik effektlə müşahidə olunan su mühitlərində deşilmə prosesləri və orada «mil-müstəvi» və «mil-mil» elektrod sistemlərində tac və qıgılcım elektrik qaz boşalmalarının xüsusiyyətlərinin tədqiqi, volt-saniyə diaqramlarının təhlili və qısa müddətli qaz

boşalmalarının müxtəlif rejimlərinin su mühitlərində (içməli və tullantı suları) və maye tərkibli qida məhsullarında mövcud bioloji hüceyrələrə təsirlərinin öyrənilməsi məsələlərinə baxılmışdır.

Su mühitlərindədeşilmə proseslərinin mərhələli öyrənilməsi üzrə tədqiqat işləri Arkadyev-Marks sxemi üzərində yığılmış yüksək gərginlikli impuls generatorunun vasitəsi ilə potensial elektrodun müxtəlif qütbiliyində «mil – müstəvi» və «mil – mil» elektrod sistemlərində,  $d = 1 \div 30$  sm elektrodlararası məsafələrdə və  $U = 5 \div 100$  kV gərginliklər diapazonunda aparılmışdır. İmpulsların parametrləri:  $t_f = 0,018 \div 28$  mks;  $t_i = 0,35 \div 700$  mks civarında dəyişirdi. Tədqiq mühiti qismində  $\sigma = (2,5 \div 4) \cdot 10^{-4} \text{ Om}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  elektrik keçiriciliyinə malik su mühiti istifadə olunurdu. Yüksək gərginlikli elektrod qismində  $\varnothing 5 \div 8$  mm-lik diametri,  $r_{kp} = 0,2 \div 0,4$  cm-lik əyrilik radiusu olan, sudan fluoroplastik hidrofob materialnan izolyasiya ( $l = 0,1 \div 3$  mm məsafə istisna olmaqla) olunmuş “mil” tipli elektrod konstruksiyası istifadə edilmişdir. Su mühitində «mil – müstəvi» elektrod sistemində yüksək qeyri-bircinsli elektrik impuls sahəsinin təsiri zamanı elektrodlararası məsafədə tamamlanmamış (tac) və tamamlanmış (qılgılcım) qaz boşalmaları həyacanlanır. Su mühitinindeşilməsinin ilkin və aralıq mərhələlərinin öyrənilməsi statik fotoçəkiliş və yüksəksürətli fotoregistrasiya üsullarının müştərək istifadəsi ilə yerinə yetirilmişdir. Qısa su aralıqlarında  $d=8-40$  mm və  $U=5,0-25$  kV gərginliklər diapazonunda potensial elektrodun müxtəlif qütbiliyində «mil-müstəvi» elektrod sistemində statik fotoçəkiliş üsulu ilə su mühitində qısa müddətli qaz boşalmasının ilkin formalaşma mərhələlərinin tədqiqatı aparılmışdır.

Uzun elektrodlararası məsafələrdə  $d=25-200$  mm və  $U=20-80$  kV gərginliklər diapazonunda su mühitinin yüksək sürətli fotoregistrasiya üsulu ilə ayrı-ayrıdeşilmə mərhələlərinin (qızma, elektrik) tədqiqatı aparılmışdır. Yüksək sürətli fotoqeydiyyat üsulu ilə alınan nəticələrin analizi göstərir ki, potensial elektrodun müsbət qütbiliyində uzun elektrodlararası məsafələrdə su mühitlərində gərginliyin  $U=20-80$  kV diapazonunda dəyişməsi elektrik boşalmasının gecikmə vaxtının  $U=20$  kV-da 10 mks-dən  $U=70$  kV-da isə 1 mks-ə qədər azalmasına, lider kanalların sürətinin  $v=10^5$  sm/s-dən  $v=3 \cdot 10^6$  sm/s-dək yüksəlməsinə, liderlərin sayının 10-12-yə, kanalın diametrinin 2,5 mm-ə çatmasına səbəb olur. Hətta,  $U=80$  kV və  $d=200$  mm elektrodlararası məsafədə bir sıra paralel plazma kanallarının yaranması müşahidə edilir. Potensial elektrodun mənfi qütbiliyində gərginliyin  $U=50-65$  kV diapazonunda artması gecikmə vaxtının  $U=50$  kV-da 14 mks-dən  $U=65$  kV-da isə 6 mks-dək azalması, lider kanalların sürətinin  $\sim v=3 \cdot 10^4$  sm/s ( $10^2$  dəfə potensial elektrodun müsbət qütbiliyindən aşağı) çatması ilə nəticələnir.

«Mil-mil» elektrod sistemində gərginliyin artması zamanı müşahidə olunan su mühitinin deşilmə prosesi qeyd olunan əvvəlki mexanizmlərdən bir qədər fərqlənir. Anod elektrodun ətrafında tac qaz boşalmasından əlavə lider kanallarının formalaşması müşahidə olunur. Su aralığının deşilməsi liderlərin elektrodarası məsafəsinin kəşilməsi ilə nəticələnir. Yüksək gərginliklərdə müsbət liderlərin sürətinin mənfi liderlərdən yüksək olması su mühitinin elektrodlararası məsafənin çox bir hissəsinin müsbət liderlər tərəfindən dəf edilməsi müşahidə olunmaqdadır.

Statik fotoçəkiliş üsulu ilə su mühitlərinin deşilməsi üzrə aparılan tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, aşağı gərginliklərdə (25 kV-a qədər) və qısa elektrodlararası məsafələrdə ( $d=8-40$  mm) potensial elektrodun müsbət qütbiliyində gərginliyin artması liderlərin gecikmə vaxtının dəyərinin 650 mks-dən 20-300 mks-dək düşməsinə, lider kanallarının sürətinin isə  $U=5,0$  kV-da  $v=1,5 \cdot 10^3$  sm/s-dən  $U=25$  kV-da isə  $v=3 \cdot 10^4$  sm/s-dək qalxmasına səbəb olur. Bu zaman qaz boşalması sahəsinin ölçüləri cüzi artır və lider kanalların parıltısı zəifləyir.

Potensial elektrodun mənfi qütbiliyində gecikmə vaxtının böyük statistik dəyişmələrə məruz qaldığı müşahidə olunur. Gərginliyin amplitudu  $U=5,5-20$  kV civarında qalxması gecikmə vaxtının 900 mks-dən 120 mks-dək düşməsinə səbəb olur. Bu zaman lider kanallarının sürəti  $v=3 \cdot 10^4$  sm/s təşkil edir. «Mil-mil» elektrod sistemində,  $d=8-140$  mm elektrodlararası məsafələrdə və  $U=15-25$  kV gərginlik diapazonunda potensial elektrodun ətrafında lider kanalların, müsbət qütblü anodun isə tac qaz boşalmasının formalaşması müşahidə edilir. Deşilmə prosesi mənfi qütblü liderin müsbət qütblü tac qaz boşalmasına qədər hərəkət edilməsi ilə yekunlaşır.

Fəsilə su mühitinin orta deşilmə vaxtı, su aralığında müşahidə olunan qızma və ionlaşma proseslərinin başlanğıcı, ona təsadüf edən minimal gərginliyin və elektrik sahə dəyərinin hesablanma metodikası təqdim edilmişdir. Təyin edilmişdir ki, su aralığında qızma proseslərinin başlanması üçün tələb olunan minimal enerjinin dəyəri yalnız potensial elektrodun ölçüləri və su aralığının parametrlərindən asılıdır. Aralıqda ifraz olunan enerjinin dəyərinin yüksəlməsi elektrodlararası məsafə –  $d$ , elektrodun əyrilik radiusu –  $r_s$  və açıq (isolyasiya olunmayan) sahəsinin artması ilə baş verir. Xüsusilə, əyrilik radiusunun dəyişməsi aralıqda ifraz olunan enerjinin dəyərinə nəzərə çarpan qədər təsir etməkdədir. «Mil – mil» elektrod sistemində potensial elektrodun əyrilik radiusunun artması su aralığında ifraz olunan enerjinin dəyərinə «mil – müstəvi» elektrod sistemi ilə müqayisədə daha çox təsir etməkdədir. Göstərilmişdir ki, su aralığında qızma proseslərin başlanması elektrik sahəsinin minimal dəyəri - 40 kV/sm-ə təsadüf edir və



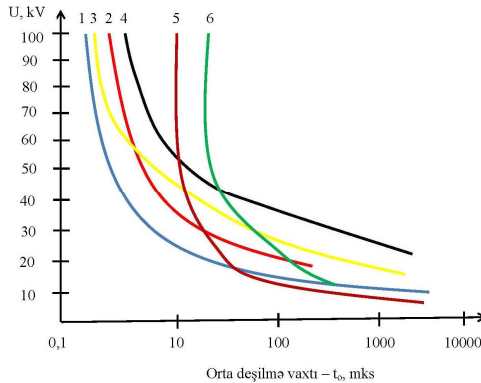
prosesin sürəti  $\sim (3 \div 5) \cdot 10^3$  sm/s təşkil edir. Yüksək impuls sahəsinin təsiri zamanı elektrodlararası məsafədə suyun qızması ilə yanaşı impuls elektrolizi prosesi də reallaşır. Bu proses elektrodyanı sahələrdə həcmi yüklərin (qaz qabarcıqlarının), hidrogen və oksigen ionlarının yaranması ilə müşahidə olunur. Qeyd etmək lazımdır ki, yaranan hidrogen ionlarının miqdarı oksigenə nisbətən daha çoxdur və onların katod ətrafında maksimal qaydada cəmlənməsi potensial elektrodun ətrafında elektrik sahəsinin qismən təhrif olunmasına səbəb olur. Bununla da, potensial elektrodun mənfi qütbiliyində və aşağı gərginliklərdə az dəyərli gecikmə vaxtlarının müşahidə olunması sübut olunur. Lider kanallarının sürəti artdıqca onların parlaqlığı və ölçüləri dəyişir: onlar az diametrlili və daha parlaq olurlar. Aşağı gərginliklərdə, müsbət və mənfi qütblü liderlərin sürətləri bir az fərqli olanda lider kanallarının parlaqlığı və ölçüləri qismən eynidir və  $-\delta = 1,5$  mm təşkil edir. Gərginliyin amplitudu artdıqca müsbət qütblü liderlərin sürəti də artır və onların dəyəri mənfi qütblü liderlərə nisbətən kəskin dərəcədə artıqdır. Bu zaman yüksək sürətli kanalların parlaqlığı artır və onların ölçüləri  $U = 70$  kV gərginliyində  $\delta = 0,1$  mm-ə qədər azalır. Qeyd etmək lazımdır ki, lider kanallarının parlaqlığı qaz boşalmasının kanalında keçirici cərəyanın sıxlığı və axın vaxtından asılıdır. Böyük keçirici cərəyanlarda qaz boşalması kanalının tez qızması, genişlənməsi və su mühitində zərbəli sıxılma dalğalarının yaranması prosesləri baş verir. Bu zaman, liderlərin genişlənmə sürəti qaz boşalması kanalında ifraz olunan enerjinin dəyəri və mayenin fiziki xassələrindən asılıdır. Su mühitinin deşilməsi prosesində ümumi cərəyanın dəyəri elektrodun açıq (izolyasiya olunmayan) sahəsindən keçən keçirici və lider cərəyanların cəmindən ibarət olacaqdır

Fəsilədə potensial elektrodun hər iki qütbiliyində yüksək elektrik impuls sahələrinin təsiri zamanı «mil-müstəvi» və «mil-mil» elektrod sistemlərində müxtəlif aralıqlı su mühitlərinin volt-saniyə xüsusiyyətləri tədqiq və təhlil edilmişdir (şək. 5).

Şəkildən görüldüyü kimi, qısa aralıqlarda  $d = 1 \div 5$  sm, potensial elektrodun mənfi qütbiliyində elektrodlararası məsafənin -  $d$  artdığı halda su mühitinin orta deşilmə vaxtı  $t_d = 15 \div 90$  mks civarında dəyişir. Aşağı gərginliklərdə ( $U < 20$  kV) bu vaxt həmçinin yüksəlir. Qeyd etmək lazımdır ki, 25-30 kV-dan çox gərginliklərdə bütün əyrilərin gedişində şaquli sahə müşahidə olunur ki, onun çərçivəsində liderlərin sürəti, gərginliyin amplitudundan asılı olmayaraq, sabit olaraq qalır. Əyrilərin analizindən müəyyən edilir ki, qısa aralıqlarda, aşağı gərginliklərdə ( $U < 25$  kV) mənfi qütblü «mil-müstəvi» elektrod sistemində müsbət qütblü «mil-müstəvi» və «mil-mil» elektrod sistemlərinə nisbətən su aralığının elektrik davamlılığı

daha kəskin azalmaqdadır.

Bu yəqin ki, aşağı gərginliklərdə suda gedən elektroliz prosesi və mənfəi qütblü potensial elektrodun ətrafında qaz qabarcıqları sahələrinin artması ilə bağlıdır.



Şək. 5. Müxtəlif su mühitləri üçün müqayisəli volt-saniyə əyriləri: 1 – müsbət qütblü «mil-müstəvi» elektrod sistemi ( $d = 1$  sm); 2 – müsbət qütblü «mil-müstəvi» elektrod sistemi ( $d = 3$  sm); 3 – «mil-mil» elektrod sistemi ( $d = 1$  sm); 4 – «mil-mil» elektrod sistemi ( $d = 3$  sm); 5 – mənfəi qütblü «mil-müstəvi» elektrod sistemi ( $d = 1$  sm); 6 – mənfəi qütblü «mil-müstəvi» elektrod sistemi ( $d = 3$  sm)

Su mühitinin orta deşilmə vaxtı  $t_d = 100$  mks olduqda mənfəi və müsbət qütblü «mil-müstəvi» elektrod sistemlərinin elektrik davamlılığının dəyəri «mil-mil» elektrod sisteminə nisbətən 2 dəfə aşağıdır. Orta deşilmə vaxtı  $t_d < 30$  mks olduqda mənfəi qütblü «mil-müstəvi» elektrod sistemlərinin elektrik davamlılığının dəyəri kəskin şəkildə yüksəlir,  $t_d < 2$  mks olduqda isə müsbət qütblü «mil-müstəvi» və «mil-mil» elektrod sistemlərinin elektrik davamlılıqları təxminən eynidir. Yəqin ki, bu həcmi yüklərin toplanma şəraitinin müxtəlifliyi ilə bağlıdır. Deşilmə prosesi anod tərəfindən inkişaf etdikdə «mil-mil» elektrod sisteminin elektrik davamlılığı müsbət qütblü «mil-müstəvi» elektrod sistemindən, liderlərin katod tərəfindən hərəkət etdikdə isə mənfəi qütblü «mil-müstəvi» elektrod sistemindən daha yüksəkdir. Bu fərq onunla əsaslanır ki, liderlərin yaranmasından əvvəl «mil-mil» elektrod sistemində elektrodyanı ərazidə elektrik sahəsinin dəyəri «mil-müstəvi» elektrod sisteminə nisbətən aşağıdır. Ona görə də, «mil-mil» elektrod sistemində liderlərin gecikmə vaxtının dəyəri daha yüksəkdir.

Yalnız ~100 kV-yə yaxın gərginliklərdə «mil-mil» elektrod sistemində liderlərin gecikmə vaxtı cüzi dərəcədə müsbət qütblü «mil-müstəvi» elektrod sistemindən yüksəkdir ki, bu da volt-saniyə əyrilərinin yaxınlaşması ilə müşahidə olunur.

Təcrübələr nəticəsində su mühitinin deşilmə vaxtını təyin edən aşağıdakı formula müəyyən edilmişdir:

$$t_{np} = \frac{a \cdot d}{(U - U_0)^2}, \quad (1)$$

harada:  $d$  – elektrodlararası məsafə,  $a$  – sabit göstərici ( $a = 3,6 \cdot 10^5 \text{ V}^2 \cdot \text{m/m}$ , su elektrik keçiriciliyi  $\sigma = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ Sm/sm}$ );  $U_0 = 18 \cdot 10^3 \cdot r \cdot \ln 4d/r$  – liderin yaranması və inkişafını təmin edən gərginlik,  $r$  – potensial elektrodun əyrilik radiusu.

Alınan eksperimental nəticələrə görə  $\sigma = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ Sm/sm}$  elektrik keçiriciliyə malik su mühitində lider kanalları potensial elektrod və ətrafında elektrik sahənin dəyəri –  $E = 40 \text{ kV/sm}$  olduqda yaranır və inkişaf edir.. Bu zaman, qaz boşalması kanalında yüksək enerji ifrazına təsadüf edən elektrodlararası məsafə aşağıdakı formula vasitəsilə təyin edilir:

$$d = 9 \cdot 10^{-9} U_{np}^{3/2} \left( \frac{C}{L} \right)^{0,25}, \quad (2)$$

harada:  $L$  – boşalma sxeminin induktivliyi,  $U_d$  – su mühitinin deşilməsini təmin edən gərginlik,  $C$  – kondensatorun tutumu.

Fəsilədə qısa müddətli yüksək elektrik impuls sahələri və qaz boşalmalarının (tac, qığılcım) su mühitlərində mövcud E-coli tipli, koliform, termotolerant bakteriya (cədv. 4) və kalifaqlara təsirlərinin öyrənilməsi üzrə aparılan tədqiqatların nəticələri təqdim edilmişdir.

Cədvəl 4

Biooloji hüceyrələrin fəaliyyətinə qaz boşalmalarının miqdarı və emal rejimlərinin təsirləri üzrə alınan nəticələr

Qaz boşalmalarının miqdarı	Emal rejimləri	Gərginliyin qütbiliyi	Gərginlik, kV	Yüklənən tutumun dəyəri, nF	Hüceyrələrin miqdarı, KOE/sm <sup>3</sup>
0					$4,0 \cdot 10^{10}$
10	корона	+	50	2,5	$4,0 \cdot 10^{10}$
100	корона	+	50	2,5	$4,6 \cdot 10^8$
1000	корона	+	50	2,5	$1,6 \cdot 10^8$
3000	корона	+	50	2,5	$0,6 \cdot 10^8$
5000	корона	+	50	2,5	$1,6 \cdot 10^4$
10	искра	+	50	2,5	$2,9 \cdot 10^8$
100	искра	+	50	2,5	$4,6 \cdot 10^8$
500	искра	+	50	2,5	$2,6 \cdot 10^8$
1000	искра	+	50	2,5	0

Alınan nəticələrin müqayisəsi təsdiqləyir ki, qılgılcım tipli qaz boşalması vasitəsilə su mühitinin emalının E-coli tipli bakteriyaların inaktivasiyası nöqtəyi nəzərdən aparılması daha effektivdir və qaz boşalmalarının miqdarı artdıqca mikroorqanizmlərin inaktivasiya dərəcəsi kəskin arta bilər. Əgər 5000 dəfə tac qaz boşalmalarının su mühitinə təsiri nəticəsində sağ hüceyrələrin miqdarı 6 dərəcə azalrsa, 1000 dəfə qılgılcım tipli qaz boşalmalarının təsiri nəticəsində onların sayı 10 dərəcədən çox azalır və sıfıra çatdırılır, yəni hüceyrələrin miqdarını təyin etmək mümkün olmur. Mövcud emal rejimləərə yüksək gərginlikli impuls generatorunun qeyd olunan parametrləri təsadüf edir:  $U = 50$  kV, kondensatorun yüklənən tutumunun dəyəri -  $C_3 = 2,5$  nF, impulsun frontu -  $t_f =$  bir neçə ns, impulsun müddəti  $t_i =$  yüzlərlə ns, impulsların təkrarlanma tezliyi  $f_i > 1000$  Hz.

Yüksək impuls sahələrinin koliform, termotolerant bakteriyaların və kalifaqların hüceyrələrinə iki rejimlərdə təsiri:  $U = 40$  kV və  $U = 12$  kV göstərir ki, aşağı gərginlikdə emal olunan mühitlərdə bir həftədən sonra bioloji hüceyrələrin sayının kəskin artması müşahidə olunur. 40 kV gərginlikdə isə emal olunan təcrübə nümunələrində bir həftə keçdikdə bioloji hüceyrələrin miqdarı ilkin sayından azdır və normativ qaydalara cavab verir.

Dissertasiya işində hüceyrənin xarici örtük (membran), sitoplazma, daxili örtük (membran) və nüvədən ibarət modelinə baxılmışdır. Modelin hər bir hissəsi (qatı) öz daxili dielektrik nüfuzluğuna ( $\epsilon$ ), keçiriciliyə ( $\gamma$ ) və ölçülünə malikdir. Bioloji hüceyrənin inaktivasiyasının effektivliyi qeyd olunan parametrlərin bir-birinə qarşı nisbətindən, təsiredici impulsun xüsusiyyətləri və emal olunan mühitin xassələrindən asılıdır. Müəyyən edilmişdir ki, emal olunan mühitin və sitoplazmanın dielektrik nüfuzluğunun dəyəri xarici örtükdəkindən yuxarı olduğu halda -  $\epsilon_{m,s} > \epsilon_x$  orada cəmləşən elektrik sahəsinin gücü yüksəlir, hətta sitoplazmanın dielektrik nüfuzluğu -  $\epsilon_s$  azaldıqca örtükdə elektrik sahənin təsiri artmaqdadır. Əgər hüceyrənin ayrı ayrı hissələrinin dielektrik nüfuzluqlarının nisbətləri göstərilən qaydada olarsa -  $\epsilon_m < \epsilon_0$  və  $\epsilon_s > \epsilon_0$ , eyni qütblü yüklər xarici örtüyün qarşı sərhədlərində cəmləşərək orada elektrik sahəsinin zəifləməsinə səbəb olacaqdır. Polyarizasiya yüklərinin hüceyrənin xarici örtüyünə düşən gərginliyin dəyərinə maksimal təsiri hüceyrəni əhatə edən emal mühitin yüksək dielektrik nüfuzluqlu olduğu halda mümkündür. Əks halda -  $\epsilon_m < \epsilon_0$  xarici örtükdə və sitoplazmada cəmləşən ümumi elektrik sahə polyarizasiya yükləri tərəfindən zəifləyir. Dissertasiya işində bioloji hüceyrənin tam inaktivasiyasına tələb olunan vaxtın -  $t_i$  hesablanma metodikası təqdim edilmişdir. Göstərilmişdir ki,

inaktivasiya müddəti impulsun frontu, elektrik sahəsinin dəyəri, sitoplazmanın dielektrik nüfuzluğu və keçiriciliyindən asılıdır. Hüceyrənin xarici örtüyünün dielektrik nüfuzluğunun azalması və emal mühitinin eyni adlı parametrisinin artması xarici örtükdə cəmləşən elektrik sahəsinin güclənməsi və oraya düşən gərginliyin dəyərinin yüksəlməsinə səbəb olur. Qeyd etmək lazımdır ki, hüceyrənin daha yüksək inaktivasiyasına onlara nanosaniyəli impulsların (frontu – bir neçə ns, müddəti – yüzlərlə ns) təsiri nəticəsində nail olmaq mümkündür.

Fəsilə həmçinin maye tərkibli qida məhsullarının (təbii şirələr, spirtli içkilər və süd məhsulları) saxlanma müddətinin uzaldılması, orada mövcud mikroorqanizmlərin inaktivasiyası məqsədilə hal-hazırda istifadə olunan enerjitutumlu, temperaturu üsulların və konservantların əvəzinə onlara qısa müddətli yüksək elektrik impuls sahələri, qaz boşalmaları və onların nəticəsində yaranan aktiv mühitin (ozon, atomar oksigen) təsirlərinin öyrənilməsi məsələlərinə baxılmışdır.

Tədqiqat nəticələri əsasında qida məhsullarının mikroorqanizmlərdən tam zərərsizləşdirilməsinin, yüksək gərginlikli elektroimpuls qurğularının optimal, enerjiefektivli iş rejimlərinin təmini ilə əlaqədar yüksək gərginlikli generatorların qeyd olunan parametrləri təyin edilmişdir:  $U_{gen} = 100$  kV,  $C_{yt} = 0,1 \div 2,5$  nF (kondensatorun yüklənən tutumu),  $t_f = 1,15 \div 18$  ns,  $t_i = 14 \div 350$  ns,  $f_i = 200 \div 5000$  Hz,  $E = 0,5 \div 12,5$  J (qaz boşalması kanalında ifraz olunan enerjinin dəyəri),  $W = 2,5$  kVt (güc). İşdə məhsulların fiziki-kimyəvi göstəricilərinin dəyişməsi, qida və bioloji dəyərinin saxlanması, orqanoleptik xassələrinin dəyişməsi və təhlükəli mikroorqanizmlərin mövcudluğu üzrə analizlər aparılmışdır. Təqdim olunan üsulun temperatur emalı ilə müqayisədə qeyd olunan qida məhsullarına təsirinə enerjiefektivliyi və məqsədyönlü olması nümayiş edilmişdir. Eyni zamanda, yeni üsul qida məhsullarının ilkin əsas fiziki-kimyəvi göstəriciləri, qida və bioloji dəyərinin dəyişməməsi şərtilə onların orqanoleptik xassələrinin yüksəlməsi və mikroorqanizmlərdən tam zərərsizləşdirilməsinə zəmanət verir (istehsalçı şirkət tərəfindən tətbiq aktları təqdim edilmişdir).

**Altıncı fəsilə** qısa müddətli (mks, ns) yüksək elektrik impuls sahələri və qaz boşalmalarının müxtəlif dielektrik mühitlərə təsiri zamanı orada gedən fiziki proseslərin mümkün mexanizmləri barədə müzakirə aparılır.

Yüksək impuls gərginliyin ifrat qaz aralıqlarına təsiri və orada qısa müddətli qaz boşalmalarının formalaşması zamanı biz dielektriklərdə qısa müddətli ekstremal faktorların təsirləri nəticəsində baş verən qeyri-taraz fenomenlərin mövcudluğu ilə qarşılaşırıq. Bu proseslərin təhlilinin çətinliyi

orada baş verən qarşılıqlı fiziki təsirlərinin müxtəlifliyi ilə əlaqələndirilir. Qaz boşalmalarının müxtəlif vizual görünüşdə olması onların qeyd olunan qarşılıqlı təsirlərinin statistikasını və yüksək elektrik sahəsində elektron dəstlərinin yaranma mexanizmlərinin müxtəlifliyi ilə izah olunur. Potensial elektrodun konstruksiyasında dielektrik örtüklərin olduğu halda qısa müddətli (ns) elektrik qaz boşalmalarının formalaşma prosesi klassik qaz boşalmalarından kəskin dərəcədə fərqlənir. Onların mövcudluğu «katod – farfor – fluoroplastik» zonasında elektrik sahəsinin konfigurasiyasının dəyişməsinə və yüksəksürətli qaz boşalması proseslərinin ilkin ionlaşma mərkəzlərindən uzaq məsafələrə yayılmasına səbəb olur. «Metal – farfor» sərhədində, yüksək elektrik sahəsində formalaşan qismən qaz boşalmaları mənfi ionların yaranmasına səbəb olur. Onların, öz yerində, fluoroplastik örtüyünün səthində cəmlənməsi qaz boşalmasının gecikmə vaxtının azalması, elektrodlararası məsafədə həcmi qaz boşalmasının formalaşması və elektrodyanı ərazidə qaz boşalması və rentgen şüalanma sahəsinin genişlənməsi ilə nəticələnir. Bu faktı, bizim tərəfimizdən elektrodyanı sahələrdə müşahidə olunan proseslər və rentgen şüalanma zonasının mövcudluğunu təsdiqləyən avtoqraflar sübut edir. Eyni zamanda, rentgen şüaları qazın orta ionlaşmasında fəal iştirak edir, qaz boşalması kanalının genişlənməsinə və onun anod istiqamətində sürətli hərəkətinə imkan yaradır. Anoda yaxın ərazilərdə yüksək enerjili elektronlardan ibarət güclü axın dəstlərinin mövcudluğunu təsdiq edən böyük ölçülü güclü rentgen şüalanma zonası müşahidə olunmaqdadır. Dielektrik örtüylü katodun ətrafında qaz boşalması və rentgen şüalanma sahəsinin genişlənməsi yüksək elektrik sahədə sərbəst enerjili elektronların generasiyası və ionizasiya mühitinin inkişafı ilə bağlıdır. Hava aralığında qısa müddətli (ns) qaz boşalmasının işıqlanma zonasının genişlənməsini təsvir edən mexanizm katodyanı ərazidə qaçan elektronların yaranması və onların qaz aralığında bütün fiziki proseslərin başlanğıcında oynadığı əhəmiyyətli rol ilə əlaqələndirilir.

Uzun hava aralıqlarında dielektrik maneələrin istifadəsi ilə qısa müddətli (ns) qaz boşalmalarının xüsusiyyətləri, strukturu və onun parametrlərinin öyrənilməsi üzrə aparılan tədqiqatlarda qeyri-taraz elektrik qaz boşalmalarının elektrodlararası məsafəyə müxtəlif bərk dielektrik maneələrinin daxil olunmasına qarşı çox həssas olduqları müəyyən edilmişdir. Dielektrik strukturunun elektrodlararası sahədə mövcudluğu elektrik sahəsinin konfigurasiyasına təsir edir və onun dəyişməsinə səbəb olur. Hava aralığında ionlaşma proseslərinin inkişafı zamanı daxil olunan dielektrik maneələrin səthində müsbət və ya mənfi ionların cəmlənməsi

prosesi baş verir ki, bu da, öz yerində, elektrik sahəsinin, ilkin ilə müqayisədə, kəskin təhrif olması ilə nəticələnir. Qeyd etmək lazımdır ki, «hava-dielektrik» sərhəddində toplanan polyarizasiya yüklərinin miqdarı, onların elektrik sahəsi və onun qaz boşalmasının xüsusiyyətlərinə təsiri potensial elektrodun və dielektrik maneə arasında məsafənin onun qalınlığına olan nisbətindən, dielektrikin xassələrindən və səthin vəziyyətindən asılıdır. Potensial elektrodun və dielektrik maneənin arasındakı məsafə qısa olduqda lider kanallarının müəyyən bucaq altında (dielektrikə tərəf) hərəkəti baş verir ki, bu da radial kanalların və müəyyən şəraitdə dielektrik üzərində səth qaz boşalmalarının formalaşmasına səbəb olur.

Su mühitlərində yüksək elektrik impuls sahələrinin təsiri zamanı, gərginliyin amplitudu və impulsların parametrlərindən asılı olaraq, qızma prosesləri, elektroliz və lider kanallarının formalaşdığı müşahidə edilir. Ümumilikdə, mayelərin deşilmə prosesini bir neçə mərhələyə bölmək olar: 1 – qaz boşalmasından qabaq baş verən proseslər; 2 – impulsun frontu müddətindəki proseslər; 3 – impulsun tənəzzülü müddətini əhatə edən proseslər.

Birinci mərhələdə (qaz boşalmasından qabaq) güclü elektrik sahəsində qaz qabarcıqları, ionlar və dipolların yaranması baş verir. Bu zaman kanaldakı proseslərə elektrik sahəsinin təsiri maqnit sahəsi ilə müqayisədə daha güclüdür. Lider kanallarının formalaşması və inkişafı mənfi OH ionlarının kanalda neytrallaşması nəticəsində baş verməkdədir. Bu zaman liderin səthi neytrallaşmış mənfi OH ionları, həcmi yük, qaz boşalması nəticəsində yaranan aktiv mühitlə (atomar oksigen, hidrogen və onların birləşmələri) əhatə olunaraq onu su mühitindən və səmərəsiz itkilərdən mühafizə edirlər.

İkinci mərhələdə (impulsun frontu müddətində) enerji mənbəyinin generatorun yükünə (işçi kamera və tədqiq olunan obyektə) boşalması prosesi baş verir. Bu zaman, qaz boşalması kanalında hərərət və təzyiğin dəyərləri yüksək dərəcəyə çatır və impuls elektrolizi prosesi elektrodyanı sahələrdən elektrodlararası zonaya keçid alır. Ətraf mühitdə zərbə dalğası və hərəkətli maye axınının formalaşması baş verir. Bu zaman, qaz boşalmasının kanalı genişlənərək daxilində olan təzyiğin hidrostatik təzyiqindən aşağı düşməsi baş verir və yekunda kanalın partlaması ilə nəticələnir.. Kanalın genişlənməsi prosesində maqnit sahəsinin yüksəlişi baş verir ki, bu da kanalın daxili və xaricində yüklərin hərəkətinə bilavasitə təsir edir. Bu mərhələdə mənfi ionlar lider kanallarının sərhədi istiqamətində hərəkət edərək elektrik enerjisinin maye mühitinə effektiv

ötürülməsini təmin edirlər. Qeyd etmək lazımdır ki, bu mərhələnin müddəti çox qısaadır. Kanalın ölçüləri - onlarla sm, orada ifraz olunan enerjinin dəyəri  $\sim 10^4$  J və kanalın rəqs dövrü – millisaniyələr təşkil etməkdədir.

İmpulsun tənəzzülü mərhələsində əks proseslər baş verməkdədir: qaz boşalması kanalının daralması, hərərət və təzyiqin aşağı düşməsi, işıqlanmanın zəifləməsi, kavitasiya proseslərinin başlanğıcı, qaz boşalması kanalında cərəyan və gərginliyin dəyərlərinin sifira enməsi. Bu zaman, elektrik sahəsinin yüksəlməsi və maqnit sahəsinin azalması nəticəsində kanalın periferik sahələrindən mərkəzə doğru mənfi qütblü ionların, kanalın səthi istiqamətində isə müsbət qütblü yüklərin və aşağı təzyiqli ion təbəqəsinin yaranması müşahidə edilir. Maye mühitinin səthində baş verən kavitasiya və həyəcan proseslərinin tədricən sönməsi və rekombinasiya proseslərinin başlanması qeyd olunur.

Qısa müddətli yüksək elektrik sahələri və qaz boşalmalarının su mühitləri (içməli və tullantı suları) və maye tərkibli qida məhsullarında mövcud mikroorqanizmlərin bioloji hüceyrələrinə təsirlərinin tədqiqi hər xüsusi hal üçün optimal emal rejimlərinin müəyyən edilməsi, enerji mənbəyi və generatorun yükünün (tədqiq olunan obyekt və mövcud bioloji hüceyrələr daxil olmaqla) parametrlərinin tənzimləmə metodikasının işlənilməsinə imkan yaratmışdır.

Su mühitlərində mikroorqanizmlərin inaktivasiyası üçün daha effektivli təsir vasitəsi kimi “mil-müstəvi” elektrod sistemli qığılcım qaz boşalması reaktoru seçilmişdir. Bu zaman, yaranan lider kanalları tərəfindən bütün elektrodlararası məsafənin keçməsi nəticəsində yüksək enerjili sıxılma şok dalğalarının formalaşması ilə müşayət olunan, bioloji hüceyrələrin fəaliyyətinə və gələcək bərpasına olduqca mənfi təsir göstərən elektrohidravlik zərbə, görünən oblastda işıqlanma, güclü ultrabənövşəyi şüalanma, termoionlaşmanın və s. yaranması müşahidə olunur.

Qısa müddətli yüksək elektrik impuls sahələri və qaz boşalmalarının təsiri vasitəsilə maye tərkibli qida məhsullarının patogen mikroorqanizmlərindən zərərsizləşdirilməsi, qığılcım kanallarının yaranmasının qarşısının alınması və mühitin bərabər şəkildə emal olunması üçün “müstəvi-müstəvi” elektrod sistemi seçilmişdir. Bioloji hüceyrələrin effektiv inaktivasiyası məqsədlə onun həndəsi və elektrofiziki parametrlərinin nəzərə alınmaqla elektrik sahəsinin hesablanma metodikası təqdim edilmişdir. Göstərilmişdir ki, elektrik sahəsinin hüceyrənin daxilinə yalnız qısa frontlu (bir neçə ns) impulslar, sitoplazma və nüvənin yüksək dielektrik nüfuzluğuna malik olması halında daha yüksək nüfuz edilməsinə şərait yaradılır.



**Yeddinci fəsildə** bizim tərəfimizdən zərərli qaz tullantılarının təmizlənməsi, su mühitlərinin (içməli və tullantı suları) və maye tərkibli qida məhsullarının patogen mikroorqanizmlərdən zərərsizləşdirilməsi üçün yüksək gərginlikli sənaye tezlikli və impuls transformatorları, qısa müddətli tac və qığılcım qaz boşalmaları reaktorların əsasında işlənən enerji effektivli və ekoloji cəhətdən təminatlı elektrotexnologiyalar təqdim edilmişdir.

Yüksək gərginlikli elektroimpuls qurğularının əsas hissələrinin parametrlərinin, enerji mənbəyinin gücünün generatorun yükündə (işçi kamera və tədqiq obyektini daxil olmaqla) daha effektiv tətbiqi məqsədlə emal olunan mühitin elektrofiziki parametrləri nəzərə alınmaqla elektrik sahəsinin xüsusiyyətlərinin hesablanma metodikaları təqdim edilmişdir. Fəsildə, eyni zamanda, yüksək gərginlikli elektroimpuls qurğularının istismarı zamanı işçi heyətinin yaranan təhlükəli elektronaqnit şüalar və akustik müdaxilələrdən qorunma tədbirləri təsvir edilmişdir.

## NƏTİCƏLƏR

1. Yüksək elektrik impuls sahələri, ( $100 \div 1000$  Hz) və  $>1000$  Hz diapazonunda qısa müddətli elektrik qaz boşalmalarının generasiyası, siqnalların enerji effektivli ötürülməsi və generatorun yükündə (işçi kamera və tədqiq olunan mühit daxil olmaqla) tətbiq olunması məqsədlə müxtəlif texnoloji təyinatlı yüksək gərginlikli enerji mənbələri – impuls gərginliklər generatorlarının və onların hissələrinin (qığılcım qaz boşaldırıcılarının) yaradılmasının əsas prinsipləri təqdim edilmişdir.

2. Xüsusi təyinatlı texnologiyaların işlənməsi üçün yüksək gərginlikli sənaye tezlikli və impuls transformatorların əsasında yığılan impuls gərginliklər generatorlarda qığılcım qaz boşaldırıcılarının qısa kommutasiya vaxtı və qaz aralıqlarının elektrik davamlılığının tez bərpasının (bir neçə ms) təmin edilməsi, qısa frontlu impulsların generasiyası (bir neçə ns) və onların təkrarlanma tezliyinin artırılması məqsədlə istifadə olunan çoxaralıqlı qaz boşaldırıcılarının və kommutasiya cihazlarının konstruksiyaları təqdim edilmişdir. Yüksək gərginlikli elektroimpuls qurğularının işlənməsi üçün impuls gərginliklər generatorlarının və onların yüklərinin əsas parametrlərinin hesablanma metodikası təqdim edilmişdir.

3. İlk dəfə qısa müddətli yüksək elektrik sahələrinin təsiri zamanı qeyri-bircins elektrik sahəli ifrat hava aralıqlarında yüksək enerjili yüklərin fokuslanmış axınlarının formalaşması və elektrik sahələrinin idarə

olunması məqsədilə potensial elektrodun ucuna və bir-birinə qarşı hərəkətdə olan hidrophil və hidrofob dielektrik örtüklərin istifadəsilə yığılan potensial elektrodların orijinal konstruksiyaları təqdim edilmişdir

4. Qeyd olunan parametrləri:  $U = 60 \div 100$  kV,  $t_f = 2 \div 20$  ns,  $t_i = 20 \div 350$  ns,  $f_t = 200$  Hz  $\div$  200 kHz yüksək gərginlikli impulsların təsiri zamanı  $p = 1 \div 5$  atm təzyiqli, qısa elektrodlararası məsafəli ( $d = 3 \div 15$  mm) sıx hava aralıqlarında qısa müddətli impuls qaz boşalmalarının formalaşması proseslərinin kompleks tədqiqatı aparılmışdır. Göstərilmişdir ki, potensial elektrodların konstruksiyalarında dielektrik örtüklərin istifadə edilməsi gərginlik, havanın təzyiqi və potensial elektrodun əyrilik radiusunun artması ilə katodyanı ərazidə qaz boşalması və rentgen şüalanma sahələrinin  $-\Delta = 5 \div 62$  mm (13 dəfə) və  $\Delta = 3,2 \div 16,3$  mm, anodyanı ərazidə isə  $-\Delta = 5 \div 90$  mm civarında genişlənməsinə səbəb olur.

5. Atmosfer təzyiqində, uzun hava aralıqlarında  $-d = 30 \div 170$  mm «mil – müstəvi» və «kürə – müstəvi» elektrod sistemlərində müxtəlif dielektrik maneələrin istifadəsi ilə qısa müddətli tac qaz boşalmasının xüsusiyyətlərinin kompleks tədqiqatı aparılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, maneələrin hava aralığında potensial elektrodun səthindən  $\sim 2$  mm məsafədə yerləşdikdə qaz boşalması cərəyanının dəyəri 10-30%, potensial elektroda toxunduqda isə, dielektrikin materialından asılı olmayaraq,  $-2-3$  dəfə artır. Göstərilmişdir ki, bütün hava aralığında orta elektrik sahəsinin dəyəri 8,0 kV/sm-dən az olmayan halda hər hansı nöqtədə lider kanallarının şaxələnmə intensivliyi müşahidə edilir. Alınan elektroqramlar vasitəsilə müxtəlif səthli maneələr üzərində lider kanallarının struktur parametrləri təyin edilmişdir: liderin başlıqları - 0,5-7 mm, potensial elektrodun yaxınlığında lider kanalların ölçüləri - 2,5-100 mm, potensial elektrodundan 5 mm məsafədə lider kanalların ölçüləri - 1,5-500 mm, qaz boşalmasının sahəsinin uzunluğu  $-L_{bs} = 35 \div 215$  mm, eni  $D_{bs} = 40 \div 70$  mm.

6. Müxtəlif qütblü və amplitudlu qısa müddətli impuls gərginliklərin təsiri zamanı «mil – müstəvi» və «mil – mil» elektrod sistemləri, zəif və qeyri-bircins elektrik sahələrdə su mühitlərinin deşilmə mərhələlərinin kompleks optik tədqiqatı aparılmışdır. Alınan volt-saniyə əyrilər vasitəsilə müəyyən edilmişdir ki, 20 kV-dan az gərginliklərdə su mühitində qızma və elektroliz, yüksək gərginliklərdə isə lider kanallarının yaranması ilə müşahidə olunan elektrik deşilməsi proseslərinin mövcudluğu üstünlük təşkil etməkdədir. Göstərilmişdir ki, potensial elektrodun mənfi qütbiliyində və orta deşilmə vaxtının  $t_{od} < 30$  mks-dən az olduqda su mühitlərinin elektrik davamlılığı kəskin şəkildə artır. Orta deşilmə vaxtının

$t_{od} < 2$  mks-dən az olduqda, potensial elektrodun «mil – müstəvi» elektrod sistemində müsbət qütblü olduğu halda isə, onun elektrik davamlılığı «mil – mil» elektrod sistemi ilə qismən bərabərlik təşkil edir. Təyin edilmişdir ki, yüksək gərginliklərdə, texnoloji proseslərdə yüksək sürətli lider kanallarının formalaşması  $\sim 10^6$  sm/s ilə əlaqədar müsbət qütblü potensial elektrodun istifadəsi daha məqsəduyğundur.

7. Su mühitlərində elektrohidravlik effektlə müşahidə olunan qısa müddətli impuls qaz boşalmaların müxtəlif rejimlərinin (tac, qıgılcım elektrik qaz boşalmaları) içməli və tullantı sularında mövcud bioloji hüceyrələrə (E-coli tipli, koliform, termotolerant bakteriyalar, kalifaqlar) təsirlərinin kompleks tədqiqatı aparılmışdır. Göstərilmişdir ki, su mühitlərində mikroorqanizmlərin inaktivasiyasının dərəcəsinin daha yüksək  $\sim 10^{10}$  səviyyəyə çatdırılması yalnız qıgılcım qaz boşalması rejimində:  $U = 50$  kV gərginliyində,  $C_y = 2,5$  nF kondensatorun yükləmə tutumunda və impulsların  $f_t \sim 400$  Hz təkrarlanma tezliyində mümkündür. Gərginliyin dəyəri və potensial elektrodun qütblüyündən asılı olan, fiziki, elektrokimyəvi və mexaniki proseslərlə müşahidə olunan qısa müddətli yüksək elektrik sahələri və qaz boşalmalarının su mühitlərinə təsiri zamanı baş verən deşilmə proseslərinin təsviri mexanizmləri təqdim edilmişdir.

8. Maye tərkibli qida məhsullarının (təbii şirələr, spirtli içkilər və süd məhsulları) saxlanma müddətinin uzaldılması, orada mövcud mikroorqanizmlərin tam inaktivasiyası məqsədilə onlara bircins yüksək elektrik sahələrində qısa müddətli yüksək elektrik sahələri və kimyəvi aktiv mühitin (atomar oksigen, ozon) təsirlərinin kompleks tədqiqatları aparılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, yüksək intensiv ( $\sim 100$  kV/sm və yuxarı) və qısa frontlu ( $t_f \sim$  bir neçə ns) elektrik sahələri bioloji hüceyrənin nüvəsinə birbaşa nüfuz edərək onun gələcək inkişafını dayandırır və hüceyrənin strukturuna daha effektivli təsir edir. Eyni zamanda, qeyd olunan qida məhsullarının, fiziki-kimyəvi keyfiyyət göstəriciləri, qida və bioloji dəyərlərinin dəyişməməsi şərtilə, orqanoleptik xassələrinin yaxşılaşması təyin edilmişdir.

9. Müxtəlif dielektrik mühitlərə (hava, su, bərk cisim halında olan dielektriklər, maye tərkibli qida məhsulları, bioloji hüceyrələr) qısa müddətli yüksək elektrik sahələri və qaz boşalmalarının təsirlərini təsvir edən fiziki mexanizmlər təqdim edilmişdir. Göstərilmişdir ki, yüksək elektrik impuls sahələrinin müxtəlif dielektrik mühitlərinə təsiri zamanı elektrik qaz boşalmasının formalaşmasında yüksək enerjili qaçan elektronların müstəsna rolu vardır. Müəyyən edilmişdir ki, atmosfer təzyiqli uzun hava aralıqlarında dielektrik maneələrin qalınlığının ( $> 2$  mm)

və dielektrik nüfuzluğunun ( $\epsilon > 3$ ) artması, onların və potensial elektrodun arasındakı məsafənin azalması ( $< 2$  mm) ilə dielektrik maneələrin polarizasiya sahəsi qaz boşalmasının xüsusiyyətləri və strukturuna mühüm təsir göstərməkdədir. Göstərilmişdir ki, su mühitlərinin müxtəlif deşilmə mərhələlərində maqnit və ya elektrik sahələri mühüm rol oynayırlar. Müəyyən edilmişdir ki, su mühitləri və maye tərkibli qida məhsullarının mikroorqanizmlərdən zərərsizləşdirilməsinə qaz boşalması sahəsində reallaşan fiziki proseslərin (elektroliz, zərbə dalğaları, ultrabənövşəyi radiasiya, termoionlaşma və s.) və impulsun parametrlərinin təsiri var. Belə ki, emal olunan mühitin xassələrindən asılı olaraq, impulsun frontu bir neçə ns-dək, müddəti – yüzlərlə ns-dək azaldılması və impulsların təkrarlanma tezliyinin yüzlərlə Hz-dək çatdırılması və onların təsiri vasitəsilə təhlükəli mikroorqanizmlərin tam inaktivasiyasına nail olmaq mümkündür.

10. Qısa müddətli yüksək elektrik sahələri və qaz boşalmalarının müxtəlif dielektrik mühitlərə təsiri zamanı baş verən fiziki proseslərin təqdim olunmuş tədqiqat nəticələri, impuls gərginliklər generatoru və onun yükünün (işçi kamera və tədqiq obyektini daxil etməklə) parametrlərinin hesablanma metodikasının əsasında yüksək gərginlikli elektroimpuls qurğularının əsas hissələrinin işlənilməsi təmin, onların daha optimal və enerji effektivli iş rejimləri təyin edilmişdir.

11. Sənaye sahələrində toksik qaz tullantılarının neytrallaşması, su mühitləri (içməli və tullantı suları) və maye tərkibli qida məhsullarının ozonla emalı məqsədilə «məftil – silindr» koaksial elektrod sistemi (məftil üzərində müsbət qütblü tac elektrodların yerləşdirilməsi ilə) əsasında yığılmış qısa müddətli tac qaz boşalması reaktorlu enerji effektivli və ekoloji cəhətdən təminatlı elektrotexnologiyalar işlənilmişdir. Təqdim olunan qurğu tiristor sxemi ilə impuls transformatorun əsasında yığılmışdır və qeyd olunan texniki parametrlərə malikdir:  $d = 100$  mm (elektrodlararası məsafə),  $U_{\text{çix}} = 100$  kV (generatorun çıxışında gərginliyin amplitudu),  $t_f =$  bir neçə ns (impulsun frontu),  $t_i < 400$  ns (impulsun müddəti),  $f_t > 1000$  Hz (impulsların təkrarlanma tezliyi).

12. Çirklənmiş su mühitlərini patogen mikroorqanizmlərdən zərərsizləşdirilməsi və xlorlama prosesinin əvəz edilməsi məqsədilə «mil – müstəvi» elektrod sistemi (müsbət qütblü potensial elektrodu) əsasında yığılmış tac və qığılcım qaz boşalmaları reaktorlu ekoloji cəhətdən təminatlı elektroimpuls texnologiyası işlənilmişdir. Təqdim olunan qurğu sənaye tezlikli yüksək gərginlikli transformatorun əsasında yığılmışdır və qeyd olunan texniki parametrlərə malikdir:  $d = 70$  mm (elektrodlararası

məsafə),  $U_{\text{çix}} = 50 \text{ kV}$  (generatorun çıxışında gərginliyin amplitudu),  $t_f =$  bir neçə ns (impulsun frontu),  $t_i < 400 \text{ ns}$  (impulsun müddəti),  $f_i \sim 400 \text{ Hz}$  (impulsların təkrarlanma tezliyi).

13. Maye tərkibli qida məhsullarının patogen mikroorqanizmlərdən zərərsizləşdirilməsi məqsədilə «müstəvi – müstəvi» elektrod sistemi və bircins elektrik sahəsi əsasında yığılmış ekoloji cəhətdən təminatlı elektroimpuls texnologiyası işlənmişdir. Təqdim olunan qurğu tiristor sxemi ilə impuls transformatorun əsasında yığılmışdır və qeyd olunan texniki parametrlərə malikdir:  $d = 10 \text{ mm}$  (elektrodlararası məsafə),  $U_{\text{çix}} = 100 \text{ kV}$  (generatorun çıxışında gərginliyin amplitudu),  $t_f =$  bir neçə ns (impulsun frontu),  $t_i < 400 \text{ ns}$  (impulsun müddəti),  $f_i \sim 200 \text{ Hz}$  (impulsların təkrarlanma tezliyi).

## **DİSSERTASIYANIN MÖVZUSUNA AİD ÇAP EDİLMİŞ MƏQALƏLƏR**

1. Vershinin Yu.N., Gashimov A.M., Gurbanov E.D. Role of electron escape in pulsed dielectric breakdown // Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2005, № 6, p. 70-73
2. Гашимов А.М., Мехтизаде Р.Н., Курбанов Э.Д., Бондяков А.С. Импульсные разряды наносекундного диапазона и их воздействие на твердые диэлектрики / Beynəlxalq Konfrans «Fizika-2005». Məqalələr toplusu, Bakı, 2005, s. 450-452
3. Vershinin Yu.N., Gashimov A.M., Gurbanov E.D. Influence of the electric discharges on the properties and structure of solid dielectrics // Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2006, № 1, p. 24-28
4. Курбанов Э.Д., Гашимов А.М., Гурбанов К.Б., Бондяков А.С. Гусейнли А.Я. Исследования характеристик и структуры наносекундных импульсных разрядов в воздухе // Проблемы энергетики, Баку, 2006, № 3-4, с. 60-66
5. Kurbanov E.D., Gashimov A.M., Bondyakov A.S., Quseynli A.Ya. High voltage pulsed discharge in air in atmosphere pressure and the big overvoltages / 3-d International conference on technical and physical problems of power engineering «TPE-2006», Conference proceedings, Turkey, 2006, p. 672-674
6. Gurbanov E.D., Kuzhekin I.P., Gashimov A.M., Bondyakov A.S. Local and nonlocal criterions of runaway electrons in solid gases and dielectrics under action of high voltage pulses by short wavefront //

- Fizika, Bakı, 2007, cild XIII, № 5, s. 3-8
7. Курбанов Э.Д., Бондяков А.С., Мурадова Р.А. Импульсный пробой твердых диэлектриков // Проблемы энергетики, 2007, № 4, Баку, с. 71-73
  8. Курбанов Э.Д., Кужекин И.П., Гашимов А.М., Бондяков А.С. Физические процессы в плотных газах при воздействии наносекундных импульсов высокого напряжения // Проблемы энергетики, Баку, 2007, № 3, с. 58-65
  9. Kalenikov A., Kuzhekin I.P., Kurbanov E.D. Treatment of water by high electrical fields and pulsed discharges / 28-th International conference "ICPIG-2007", Book of abstracts, Praga, p. 1510-1511
  10. Горин Ю.В, Курбанов Э.Д. Кужекин И.П. Ионизационные процессы в воздухе при воздействии наносекундных разрядов сверхвысокого напряжения / Материалы XI Международной конференции, Санкт-Петербург, 2008, т. 1, с. 300-302
  11. Кужекин И.П., Курбанов Э.Д. Импульсный разряд в воде // Проблемы энергетики. 2008, № 1, Баку, с. 103-105
  12. Кужекин И.П., Курбанов Э.Д. Сильные электрические поля и импульсные разряды в воде // Вестник МЭИ, 2008, № 2, Москва, с. 33-36
  13. Кузнецов В.Г., Гашимов А.М., Курбанов Э.Д. Исследование структуры наносекундного стримерного разряда методом электрографии // Техническая электродинамика. Киев, 2009, № 6, с. 17-22
  14. Kurbanov E.D. The explosive processes on potential electrode at formation of nano-second impulse discharge in solid air // Fizika. Bakı, 2009, cild XV, № 4, s. 32-34
  15. Gashimov A.M., Kurbanov E.D. The influence of high-voltage impulse treatments on biological cells // Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2009, vol.45, Issue 5, p. 411-414
  16. Курбанов Э.Д. Комплексное исследование характеристик наносекундного стримерного разряда в резконеоднородном поле при наличии в промежутке диэлектрических пластин // АМЕА-nın Xəbərləri. Fizika-Riyaziyyat Elmləri Seriyası, Bakı, 2009, cild 29, № 5, s. 78-93
  17. Курбанов Э.Д. О влиянии параметров газового промежутка на разрядную зону наносекундного разряда в воздухе // Проблемы энергетики, Баку, 2009, № 1, с. 55-58
  18. Курбанов Э.Д. Об импульсном пробое диэлектрических сред //

- Электричество, 2009, № 6, с. 57-59
19. Курбанов Э.Д., Горин Ю.В. Процессы активации и пробоя твердых диэлектриков при воздействии на них сильных электрических полей // Вестник МЭИ, 2009, № 2, с. 68-71
  20. Курбанов Э.Д. Рентгеновское излучение быстрых электронов при высоковольтном наносекундном пробое воздуха повышенного давления // Fizika, Bakı, 2009, cild XV, № 2. s. 119-121
  21. Курбанов Э.Д. Роль диэлектрических насадок в формировании наносекундных импульсных разрядов в плотном воздухе // Электричество, Москва, 2009, № 4, с. 60-65
  22. Курбанов Э.Д. Фотографическое исследование канала разряда в воде // Проблемы энергетики, Баку, 2009, № 3-4, с. 92-98
  23. Курбанов Э.Д. Электрический пробой воды в миллиметровых и субмиллиметровых промежутках // Проблемы энергетики, Баку, 2009, № 2, с. 65-68
  24. Курбанов Э.Д., Горин А.В. Области свечения наносекундного импульсного разряда в атмосферном воздухе при различных конфигурациях потенциального электрода // Упрочняющие технологии и покрытия. Москва, 2009, № 10, с. 12-16
  25. Kurbanov E.D. The development of potential electrode new construction which is cathode for obtaining of nano-second volume discharge glow in the air at atmospheric pressure // Fizika. Bakı, 2009, cild XV, № 3, s. 23-24
  26. Kurbanov E.D., Kuzhekin I.P., Hashimov A.M., Bondyakov A.S. The physical processes in water by affect of high voltage short front pulses / The 5-th International conference on technical and physical problems of power engineering TPE-2009, Conference proceedings, Spain, p. 245
  27. Mekhtizadeh R.N., Rzayev F.T., Kurbanov E.D., Bondyakov A.S., Kazimov Sh.A. Exploration and application of the high-speed ionization waves in modern technologies / The 6-th International conference on technical and physical problems of power engineering TPE-2010, 14-16 September. Conference proceedings, Tebriz, Iran, p. 366-368
  28. Курбанов Э.Д. Ионизационные процессы в воде при воздействии импульсов высокого напряжения // Проблемы энергетики, Баку, 2010, № 4, с. 70-77
  29. Mekhtizadeh R.N., Bondyakov A.S., Kazimov Sh.A., Kurbanov E.J.

- The role of dielectric nozzle on X-radiation of runaway electrons during high voltage breakdown / The 7-th International conference on technical and physical problems of power engineering TPE-2011, 7-9 July, Conference proceedings, Lefkoşa, North Cyprus, p. 333-335
30. Гурбанов Э.Д. Методика расчета параметров импульсного пробоа воды в электрогидравлических установках // Проблемы энергетики, Баку, 2013, № 4, с. 49-54
  31. Gurbanov E.J. Crown and spark discharges in water / The 9-th International conference on technical and physical problems of electrical engineering TPE-2013, Conference proceedings, Istanbul (Turkey), p. 501-503
  32. Gurbanov E.J. Plasma processes in water under effect of short duration pulse discharges / The 66-th Annual Gaseous Electronics Conference GEC-2013, Bulletin of the APS, Princeton (USA), vol. 58, № 8, p. 47
  33. Gurbanov E.J. Water purification by influence of high voltage pulsed discharges / Materials of the 1-st International Conference on Caspian Aqua Technologies, Baku, 2013, p. 264-266
  34. Gurbanov E.J. Power effective methods of water purification / Materials of the 2-st International Conference on Caspian Aqua Technologies, Baku, 2014, p. 209-212
  35. Gurbanov E.J. Thermal and electric breakdown of water at crown and spark discharge // IJTPE, 2014, Issue 19, vol. 6, № 2, p. 88-93
  36. Gurbanov E.J. Determination of parameters, influencing on discharge processes in water / 22-nd International Electrophysics Conference on Atomic and Molecular Physics of Ionized Gases (ESCAMPIG), 15-19 July 2014, Abstract Booklet, Greifswald, Germany, p. 169-170
  37. Gurbanov E.J. Electrophysical methods of bacteriological disinfection of water medium / The 20-th IEEE International Conference on «Plasma Science» and 41-st Conference on «High Power Particle Beams». 25-29 May 2014, Book of abstracts, IEEE. Washington, USA. ISBN 978-1-4799-2711-1. OI:10.1109/Plasma.2014.7012572
  38. Gurbanov E.J. Environmentally clear methods of water disinfection // IJTPE, 2014, Issue 18, Vol. 6, № 1, p. 34-38
  39. Gurbanov E.J. Influence of construction of electrode system on development of nanosecond discharges in air at high pressures / The 10-th International conference on technical and physical problems of



- electrical engineering TPE-2014, Conference proceedings, Baku, p. 375-378
40. Гурбанов Э.Д. Высоковольтная технологическая установка по электронной обработке текучих пищевых продуктов в порционном режиме // Электронная Обработка Материалов, 2015, т. 51, № 6, с. 103-107
  41. Гурбанов Э.Д. Высоковольтные озоновые технологии в процессе подготовки питьевой воды // Su Problemləri: Elm və Texnologiyalar, 2015, № 4, s. 101-108
  42. Гурбанов Э.Д. Методика разработки высоковольтных импульсных установок для инактивации микроорганизмов в водной среде // Su Problemləri: Elm və Texnologiyalar. 2015, № 3, s.119-128
  43. Гурбанов Э.Д. Методика разработки высокочастотных импульсных устройств на основе импульсных трансформаторов // Проблемы энергетики, Баку, 2015, № 2, с. 39-47
  44. Гурбанов Э.Д. Методика расчета параметров разрядной цепи при разработке высоковольтных импульсных установок технологического назначения // Проблемы энергетики, Баку, № 3, 2015, с. 57-64
  45. Гурбанов Э.Д. О генерации озона в импульсном коронном разряде // Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin Xəbərləri, Bakı, cild. 18, № 4, 2015, s. 65-72
  46. Мамедов В., Гашимов А.М., Гурбанов К.Б., Гурбанов Э.Д. Технологическая установка с реактором барьерного разряда для обработки текучих пищевых продуктов // Проблемы энергетики, Баку, 2015, № 3, с. 65-72
  47. Gurbanov E.J. Consideration of the high-voltage installation parameters, defining an effective progress of electrophysical and electrochemical processes in water // Su Problemləri: Elm və Texnologiyalar. № 1, Bakı, 2015, s. 82-88
  48. Gurbanov E.J. Disinfecting drinking water and sewage by means of strong pulse electromagnetic fields / The 11-th International conference on technical and physical problems of electrical engineering TPE-2015, 10-12 September, Conference proceedings, Bucharest (Romania), p. 354-358
  49. Gurbanov E.J. Electronic treatment of the water mediums by high-voltage nanosecond pulses // Fizika, Baku, 2015, vol. XXI, № 4, p. 39-41
  50. Gurbanov E.J. Influence of parameters of the electrode design on a

- luminescence form of the pulsed discharges in overvoltage gaps // ИТРЕ, 2015, issue 23, vol. 7, № 2, p. 49-54
51. Gurbanov E.J. Physical processes in water at thermal and electric breakdown // Fizika, Bakı, 2015, vol. XXI, № 3, p. 48-50
  52. Gurbanov E.J., Hashimov A.M. Application of strong pulse electric fields for disinfecting of the water mediums / The 68-th Annual Gaseous Electronics Conference GEC-2015, 12-16 October 2015, Bulletin of the APS, Hawaii (USA), vol. 60, № 9, p. 141
  53. Gurbanov E.J., Hashimov A.M. Application of strong pulse electric fields for disinfecting of the water mediums / ICRP-9/GEC-68/SPP-33 9th International Conference of Reactive Plasmas / 68 Gaseous Electronic Conference / 33rd Symposium of Plasma Processing, ISBN: 978-4-86348-529-7, Published by the Japan Society of Applied Physics Tokyo, Japan, 2015. TF1.00008. p. 1-2
  54. Gurbanov E.D. High Voltage electric pulse treatment of water-containing foodstuffs // Surface engineering and applied electrochemistry, 2016, v. 52, № 3, с. 276-283
  55. Гашимов А.М., Гурбанов Э.Д. Разработка высоковольтных импульсных установок и обеспечение мер безопасности при их эксплуатации // Энергетика. Изв. высш. Учеб. заведений и энерг. объединений СНГ, Минск, 2016, т. 59, № 2, с. 95-105
  56. Гурбанов Э.Д. Особенности проектирования высоковольтных импульсных технологических установок по обработке водосодержащих сред в проточном режиме // Электричество, Москва, 2016, № 3, с. 48-56
  57. Гурбанов Э.Д. Пилотная установка по электроимпульсной обработке текучих пищевых продуктов в проточном режиме // Ekoenergetika, Bakı, 2016, № 1, s. 64-74
  58. Гурбанов Э.Д. Разработка основных узлов высоковольтных высокочастотных импульсных установок. Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri. Bakı, 2016, cild 8, № 1, s. 110-121
  59. Гурбанов Э.Д. Экологически чистые методы обработки жидких пищевых продуктов // Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin Xəbərləri, Bakı, 2016, cild. 19, № 1, s. 46-54
  60. Гурбанов Э.Д. Электронно-ионная обработка водосодержащих сред высоковольтными импульсами микросекундного и наносекундного диапазона // АМЕА-nın Xəbərləri. Fizika-Texnika və Riyaziyyat Elmləri Seriyası, Bakı, 2016, Cild XXXVI, № 2, s. 110-120

61. Гурбанов. Э.Д. Влияние высоковольтного электроимпульсного воздействия на концентрацию бактерий E-coli в воде // Электронная Обработка Материалов, 2016, т. 52, № 3, с. 94-100

**ЭЛЬЧИН ДЖАЛАЛ оглы ГУРБАНОВ**  
**РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ**  
**ВОЗДЕЙСТВИЯ СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСНЫХ**  
**ПОЛЕЙ И РАЗРЯДОВ КОРОТКОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НА**  
**РАЗЛИЧНЫЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СРЕДЫ**

**АННОТАЦИЯ**

Работа посвящена разработке энергоэффективных и экологически безопасных электротехнологий с использованием сильных электрических импульсных полей и разрядов короткой длительности для очистки вредных газовых выбросов (ГВ), обеззараживания питьевой и сточных вод, жидких пищевых продуктов (ЖПП) от патогенных микроорганизмов (ПМ).

Для достижения поставленной цели были проведены комплексные исследования характеристик импульсных разрядов короткой длительности (ИРКД) в плотном воздухе на малых ( $d = 3-15$  мм) и протяженных ( $d = 30-170$  мм) воздушных промежутках, их структуры и параметров с применением конструкций потенциального электрода с выдвигающимися диэлектрическими насадками и барьерами. Были изучены отдельные стадии пробоя водных сред (ВС) и определены эффективные режимы ИРКД для инактивации содержащихся в них ПМ. Исследованы наиболее эффективные режимы воздействия ИРКД на ПМ в ЖПП (натуральные соки, спиртные напитки, молочные изделия).

В работе при исследовании характеристик ИРКД были использованы методы сверхскоростной фоторегистрации, статического фотографирования, электрографической визуализации, широкополосные устройства и измерительная аппаратура.

По результатам исследований установлено, что наиболее эффективная нейтрализация ГВ достигается при возбуждении ИРКД (дес. нс) в объеме воздушного промежутка без искровых пробоев. Максимальная степень инактивации ПМ в ВС –  $10^{10}$  обеспечивается в системе электродов «стержень – плоскость» при искровом режиме разряда (дес. нс), а в ЖПП – «плоскость – плоскость» при воздействии импульсов с фронтом в ед. нс.

Предложены конструкции искровых разрядников с малым временем коммутации (доли мс), методики расчета и согласования параметров отдельных узлов и схемы энергоэффективных электротехнологий конкретного технологического назначения.

**ELCHIN JALAL GURBANOV**  
**DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL**  
**BASES OF INFLUENCE OF SHORT DURATION STRONG**  
**ELECTRICAL PULSE FIELDS AND DISCHARGES ON**  
**DIFFERENT DIELECTRIC MEDIUMS**

**SUMMARY**

The work is dedicated to developing energy-efficient and environmentally friendly electric technologies using strong electric fields and pulsed discharges of short duration for the clearing of harmful gas emissions (HQE), disinfection of drinking water and sewage (DDWS), liquid food products (LFP) from pathogens.

To achieve this aim have been conducted comprehensive research of the characteristics of short duration pulsed discharges in the dense air (atmospheric pressure and above) in small ( $d = 3-15$  mm) and extended ( $d = 30-170$  mm) air gaps, their structure and parameters using the potential electrodes with retractable nozzles and barriers in the gap. Individual breakdown stages of water mediums and determined effective modes of short duration pulsed discharges for inactivating of pathogens contained therein were studied. Were explored the most effective modes of action of strong electric pulsed fields on pathogens in LFP (natural juices, alcoholic beverages, dairy products).

In research of characteristics of short duration pulsed discharges the ultrafast photographic techniques, static photographic, electrophotographic imaging, broadband devices and instrumentation were used.

According to the research results found that the most effective neutralization of HQE is achieved by formation of nanosecond short duration pulsed discharges (tens ns) in all volume of the air gap without spark channels. The maximum inactivation level of pathogens ( $\sim 10^{10}$ ) in water mediums on spark pulsed discharge regime (pulse front is tens ns) at «pin - plane», but in LFP at «plane - plane» (pulse front is some ns) uniform electrode systems is provided.

Designs of spark dischargers with low switching time (ms), methods of calculation and alignment parameters of the individual installation components and the circuits of energy-efficient electric technologies by specific technological purpose are offered.

Kağız formatı: 60/84 16/1  
Sayı: 100 nüsxə

---

AMEA-nın mətbəəsində çap olunmuşdur.

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ им. академика Г.М. АБДУЛЛАЕВА**

---

*на правах рукописи*

**ЭЛЬЧИН ДЖАЛАЛ оглы ГУРБАНОВ**

**РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ  
ВОЗДЕЙСТВИЯ СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСНЫХ  
ПОЛЕЙ И РАЗРЯДОВ КОРОТКОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НА  
РАЗЛИЧНЫЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СРЕДЫ**

3344.01 – Техника высоких напряжений

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

**БАКУ – 2018**