

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazma hüququnda

TİKİLMİŞ POLİETİLEN İZOLYASIYALI KABELLƏRİN İSTİSMAR XARAKTERİSTİKALARININ YAXŞILAŞDIRILMASI ÜSULLARININ İŞLƏNMƏSİ

İxtisas: 3306.01– Elektrotexnika, elektrotexnika mühəndisliyi
(texnika)

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Mehti Əvəz oğlu Camalov**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş
dissertasiyanın

AVTOREFERATI

BAKİ-2024

Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universitetinin Elektrotexnika kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: texnika üzrə elmlər doktoru, akademik
Arif Məmməd oğlu Həşimov

Rəsmi opponentlər: texnika üzrə elmlər doktoru, professor
XXXXXX

texnika üzrə elmlər doktoru, professor
XXXXXX

texnika üzrə elmlər doktoru, professor
XXXXXX

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Texniki Universiteti nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.04 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri: texnika elmləri doktoru,

Dissertasiya şurasının elmi texnika üzrə fəlsəfə doktoru,

katibi : _____

Elmi seminarın sədri: texnika elmləri doktoru,

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Unikal elektrofiziki və kimyəvi xassələrinə görə bir çox polimerlər və onların əsasında alınmış kompozit materiallar texnikanın müxtəlif sahələrində, o cümlədən, elektroenergetikada geniş istifadə olunur.

Polimer kompozitlər elektrik qurğu və avadanlıqlarının, elektrik veriliş xətlərinin izolyasiya sistemlərinin əsas kompoziti hesab olunur. Elektroizolyasiya məqsədilə istifadə olunduqda, polimer kompozitlərin effektiv işi, sistem üçün həlledici rol oynayır. Belə ki, istənilən elektroenergetik kompleksin dayanıqlı və təhlükəsiz işi, etibarlılığı və istismar müddəti izolyasiya sisteminin keyfiyyət göstəriciləri ilə müəyyən olunur. Məsələn bu kontekstdən yanaşdıqda, energetik komplekslərin istismar göstəricilərini qiymətləndirmək üçün, əsas kriteriya onların izolyasiya sistemində hansı proseslərin və nədən baş verdiyinin dərin təhlili hesab olunur.

İstismar müddətində elektroizolyasiya sistemlərinə elektrik sahəsi ilə yanaşı, temperatur, nəmlik, mexaniki gərginlik, klimatik şərait, müxtəlif təbiətli şüalar, kimyəvi aktiv mühit və s. təsir edir. Bəzən bu faktorların bir neçəsi eyni vaxtda sistemə təsir göstərir. Bütün hallarda, bu faktorların ayrı - ayrılıqda və ya birlikdə təsiri ilə, onların xassələrinə neqativ təsir edən, elektrofiziki və kimyəvi proseslər meydana çıxır. Polimerlərin xüsusilə də, poliolefinlərin kimyəvi dayanıqlığı və inertliyi, geniş mənada, məlumdur. Bununla yanaşı, poliolefin əsaslı kompozitlərin, yuxarıda göstərilən faktorların bəzilərinin təsirinə dayanıqlığı haqda, elmi əsərlərdə, axıra qədər aydın olmayan məsələlər vardır. Bu sahədə yerinə yetirilən hər növ tədqiqat işi aktual məsələlərdəndir. Polimerlər, eləcə də, kompozitlər zəif elektrik sahəsində çox yüksək elektrofiziki xassələrə malikdir. Bununla belə, yüksək sahələrdə onların xarakteristikaları dəyişir və yeni hal alır. Məlumdur ki, sintez olunan bir çox polimerlər yüksək elektrofiziki xassələrə sahib olduğu halda, güclü sahələrdə "elektrik köhnəlməsi" adlanan prosesə məruz qalır, zaman-zaman elektriki və mexaniki xassələri korlanır.

Polimerlərin köhnəlməsi çoxfunksiyalı mürəkkəb prosesdir və izolyasiya sistemlərinin dağılmasının əsasını qoyur. Polimer izolyasiya sistemlərində, o cümlədən polietilen izolyasiyalı orta və yüksək gərginlik kabellərində, köhnəlmə hadisəsi aşkarlanan ilk anlardan, onların yaranması və inkişafına aid çoxsaylı elmi-tədqiqat praktik yönümlü işlər aparılmışdır və bu gün də davam etdirilir. Bununla yanaşı, köhnəlmə prosesinin yaranma mexanizmi və izolyasiya sisteminə təsirinin qiymətləndirilməsi haqda vahid və birmənalı konsepsiya yoxdur. Bu kontekstdən, elektrik sahəsində, polimer izolyasiya sisteminin daxilində baş verən mürəkkəb elektrofiziki proseslərin qiymətləndirilməsi və köhnəlmə prosesinə təsirinin, geniş spektrdə, tədqiq olunması öz aktuallığı ilə seçilən elmi-praktiki maraq kəsb edən sistemin dayanıqlığının qiymətləndirilməsi üçün vacib məsələlərdəndir. İzolyasiyanın köhnəlməsində, nəticə olaraq onun dağılmasında, müxtəlif səbəbdən izolyasiyada yaranan həcmi yüklər də əhəmiyyətli rol oynayır. Bu məsələdə həcmi yüklərin polimerlə və ya kompozitin komponentləri ilə qarşılıqlı təsir mexanizminin aydınlaşdırılması vacib məsələlərdəndir. Yüksək gərginlik texnikasında istifadə olunan polimerlərlə həcmi yüklərin qarşılıqlı təsiri molekulyarüstü strukturdan onların qeyri-bircinsliyindən, eləcə də kompozit əsaslı konstruksiyanın monolitliyindən asılıdır, məsələn, yüksək gərginlikli kabellərdə cərəyankeçirən damarlarla polimer izolyasiya sərhəddində boşluqların yaranması yüklərin injeksiya şərtlərini və polimerə təsir mexanizmini dəyişir. Bu hal polimerin molekulyarüstü strukturu dəyişdikdə də müşahidə olunur. Polimer izolyasiyada hava qabarcıqlarının yaranması və molekulyarüstü strukturun dəyişməsi bir neçə səbəbdən, məsələn, güc kabellərində temperatur yüklənmələrindən ola bilər. Hazırda texnoloji avadanlıqları təkmilləşdirmək və istiliyə dayanıqlı poliolefin kompozitlərdən istifadə etməklə, qeyd olunan çatışmazlıqları aradan qaldırmaq üçün intensiv işlər aparılır.

Yüksək gərginlikli kabellərdə qaz qabarcıqlarının yaranmasının qarşısını qisməndə olsa alınmasının yollarından biri, izolyasiya məqsədilə "tikilmiş polietilen" kimi tanınan materiallardan istifadə olunmasıdır. Belə ki, tikilmiş polimerdə bir sıra xassələr

yaxşılaşır, məsələn, xarici mühitin təsirindən çatlamalara dayanıqlıq, istiliyə davamlıq artır, istilikdən genişlənmə əmsalı azalır və temperatur yüklənmələrindən təsirindən polimerin həcmində qeyri-bircins strukturun yaranma ehtimalı azalır. Bununla əlaqədar olaraq, qızma və soyuma prosesində polimer izolyasiyada qaz qabarcıqlarının yaranma mexanizmi və inkişafının dərin tədqiqi eləcə də, elektrik boşalmaları zamanı yüklərin boşluqlardan polimerə injeksiya mexanizminin və onların sonrakı qeyri-bircinsliklərdə rolunun öyrənilməsi bugün də öz aktuallığı ilə seçilən məsələlərdəndir və dissertasiya işində bunlara xüsusi diqqət yetirilmişdir. İzolyasiya sistemlərində müxtəlif səbəblərdən meydana çıxan həcmi yüklər elektrik köhnəlməsi vədeşilmə prosesinin başlaması və gedişini idarə edir.

Tikilmiş polietilen kompozitlərin elektroenergetikada ən geniş istifadə olunduğu oblastlardan birincisi orta, yüksək və ifrat yüksək kabellərin izolyasiya sistemidir. Keçən əsrin 70-ci illərinin əvvəllərindən başlayaraq, bir sıra xarici ölkələrdə TPE izolyasiyalı bu tip kabellərin istehsalına başlanmışdır. Azərbaycanda TPE izolyasiyalı kabellərin istehsalı 2008-2009 cu illərə təsadüf edir.

Bütün bunları nəzərə almaqla, dissertasiya işinin ana xəttini TPE izolyasiyalı kabellərdə istifadə olunan polietilen kompozitlərin xassələrinin xarici faktorların təsirindən dəyişmə mexanizminin, eləcə də orta və yüksək gərginlikli kabellərin izolyasiya sistemində mövcud olan müxtəlif tip qeyri-bircins oblastlarda baş verən elektrofiziki proseslərin kabelin keyfiyyətinə və yaşam müddətinə təsirinin tədqiqi və analizi təşkil edir.

Tikilmiş polietilen izolyasiyalı kabellərin istismar xarakteristikalarının təhlili və tədqiqi üçün, yeni nəsil kompozit materialların, TPE izolyasiyalı orta və yüksək gərginlikli kabellərin yaşam müddətinin artırılması, kabel izolyasiyasının köhnəlmə prosesinə təsir edən multifaktorların təsirinin öyrənilməsi, izolyasiyada baş verən elektrofiziki proseslərin tədqiqi və bu tip kabellərin istehsal prosesinin təkmilləşdirilməsi sahəsində tanınmış respublika və xarici ölkə alimlərinin elmi işlərində geniş olaraq öz əksini tapmışdır: A.O.Orucov, A.M.Həşimov, M.Ə. Qurbanov, Ç.M.

Cuvarlı, T.A. William, C.C. Barnes, G.J. Anders, И.Б. Пешков, С. Д. Холодный, Н.И. Белоруцов və s. Lakin bu tədqiqatlarda tikilmiş polietilen izolyasiyalı kabellərin istismar xarakteristikalarına və yaşam müddətinə neqativ təsir edən faktorlara ayrı- ayrı aspektlərdə baxılmışdır. Ümumi olaraq tikilmiş polietilen izolyasiyalı kabellərin effektivlik göstəricilərinin geniş kompleks tədqiqatında ciddi boşluqlar vardır ki, bu da onların istismar resurslarının qiymətləndirilməsində çətinliklər törədir. Bu tip məsələlərin kompleks araşdırılması da aktual məsələlərdəndir.

Bir çox üstün xüsusiyyətlərinə görə tikilmiş polietilen kompozitlər orta, yüksək və ifrat yüksəkvoltlu kabellər üçün ən uğurlu izolyasiya materialı hesab olunur. Bura həm peroksidli, həm də silanlı tikilmiş polietilen aiddir. Orta və yüksək gərginlik kabellərinin istismar göstəricilərini qiymətləndirmək və yaşam müddətini proqnozlaşdırmaq üçün istifadə olunan polimer kompozitlər və onların xarakterik xüsusiyyətləri, elektrofiziki xassələri, bunların müxtəlif şəhələrin (elektrik, mexaniki, istilik) təsirindən dəyişmə səviyyəsi haqda müfəssəl məlumat olmalıdır. Bu istiqamətdə çoxsaylı tədqiqat işlərinin olmasına baxmayaraq, müəyyən görüləsi tədqiqat işlərinə ehtiyac vardır. Dissertasiya işində ən müasir ölçü cihaz və qurğularından, mütərəqqi metodlardan istifadə olunmaqla, sözügedən materialların hərtərəfli dərin tədqiqatı aparılmış və uyğun tövsiyyələr verilmişdir. Alınmış nəticələrin doğruluğuna əminlik vermək üçün, müxtəlif real şəraitlərdə, çoxsaylı təcrübələr aparılmış və onların dərin analizi verilmişdir. Polimer kompozitlərin kompleks elektrofiziki xassələri ilə yanaşı, həmçinin onların kimyəvi strukturunda baş verən dəyişikliklər və onların polimerin xassələrinə təsir mexanizmi də öyrənilmişdir. Bu tədqiqatlar tədqiqat obyektini kimi seçilmiş materialların bir sıra maraqlı xarakterikalarını üzə çıxarmış və onlardan real şəraitdə istifadəsini faydalı etmişlər. Alınmış nəticələrin çoxsaylı analoji elmi tədqiqat işləri ilə müqayisəsi aparılmış, tədqiqatların daha dolğun olduğunu, yetkinliyini nəzəri cəhətcə əsaslandırmaqla mövzunun aktuallığı bir daha təsdiq edilmişdir.

Dissertasiya işinin əhəmiyyətli bir hissəsi TPE izolyasiyalı orta və yüksək gərginlik kabellərində, elektrik sahəsində kabel izolyasiyasının köhnəlməsinə səbəb olan və mahiyyətə onun istismar göstəricilərini aşağı salan və yaşam müddətini qısaldan mürəkkəb elektrofiziki proseslərin dərin tədqiqinə yönəlmişdir. Belə ki, bu sahədə uzun illər boyu çoxsaylı tədqiqat işlərinin aparılmasına baxmayaraq elmi- praktik tələb olunan ciddi problemlər hələ də mövcuddur. Üstəlik, nəzərə alsaq ki, ölkəmizdə bu tip kabelləri, həm istehsalı, həm də istismarı sahəsində praktik sınaq məlumatları kabellərin optimal və effektiv işini qiymətləndirmək üçün yetərli deyildir, o zaman bu istiqamətdə görülmən hər bir elmi tədqiqat işi aktuallığı ilə yanaşı, həm də bu vacib sahənin inkişafına öz töhfəsini verəcəyinə ümidliyik.

TPE izolyasiyalı orta və yüksək gərginlikli kabellər elektrik enerji şəbəkələrində istifadə olunduğu ilk illərdən, proqnozlaşdırılması əvvəlcədən mümkün olmayan, lakin onların sıradan çıxmasını sürətləndirən, problemlər qarşıya çıxdı. Kabellərin istismar xarakteristikaları və real resursu gözləniləndən xeyli aşağı oldu. Bunun səbəbi müəyyən etmək məqsədilə, ilk zamanlar aparılan tədqiqat-sınaq işləri kabelin izolyasiya sistemində bir sıra qeyri-bircins oblastların yarandığını üzə çıxardı. Məlum oldu ki, kabel izolyasiyasının vaxtından əvvəl dağılmasına səbəb bu oblastlarda baş verən müxtəlif təbiətli çoxfaktorlu elektrofiziki, kimyəvi, istilik prosesləri və mexaniki gərginliklərdir. Bir sıra hallarda, yaranması arzu olunmayan bu proseslər, güclü elektrik sahəsilə, digər kənar faktorların eyni vaxtda təsirindən meydana gəlir (temperatur, nəmlik, qabarcıqlar, kənar cisimlər və s). İlkin problemlər aşkarlanan ilk anlardan ta bugünə qədər, kabel izolyasiyasında qeyri-bircins oblastların yaranma və inkişaf, eləcə də izolyasiyanın dağılmasına təsir mexanizminin öyrənilməsinə aid, xarici ölkə və alimləri tərəfindən, genişmiqyaslı tədqiqat işləri həyata keçirilir. Məsələyə klassik və fərqli orijinal yanaşmalar mövcuddur. Problemlərin həlli, TPE izolyasiyalı ifrat yüksəkvoltluq, yüksək istismar göstəricilərinə malik kabellər layihələndirmək, istehsal və istehlak etmək baxımından bugün də aktuallığını saxlayır. Müasir informasiya texnologiyalarının

imkanlarından istifadə edərək, qeyri-bircins oblastlarda, xüsusilə də hava boşluqlarında və su triinqlərində güclü elektrik sahəsində, baş verən daxili elektrofiziki proseslərin dərin təhlili aparılmışdır. Yuxarıda qeyd olunan problemlərin həlli istiqamətində görülən işlər, məsələyə yeni prizmadan baxış, mövzunun aktuallığını bir qədər də artırır. Hətta ən mükəmməl izolyasiyada belə, müxtəlif ölçülü qaz boşluqlarının yaranma ehtimalı kritik faktor kimi qəbul edilir. Bu səbəbdən, güclü sahələrdə, həmin boşluqlarda meydana çıxan elektrofiziki və kimyəvi effektlər və onların izolyasiyanın dağılmasının təsir mexanizmi, prosesin modelləşdirilməsi yolu ilə geniş tədqiq edilmişdir. Məlumdur ki, həm peroksidli, həm də silanlı tikilmiş polietilen bir neçə komponentdən ibarətdir. Bunlar kompozitə tələb olunan xassələr verməklə yanaşı, onun həcmində qeyri-bircins oblastlar yarada bilir. Bununla əlaqədar olaraq, tikilmə prosesində, temperaturun təsirindən bu oblastlarda baş verən fiziki proseslər dərinədən öyrənilmişdir (xüsusilə də, elektrik boşalmaları zamanı yüklərin injeksiyası və onların köhnəlmə prosesinə təsiri). Bu zaman formalaşan həcmi elektrik yükləri, hətta elektrik sahəsinin təsiri dayandıqdan sonra da köhnəlmə prosesini stimullaşdırır. Başqa sözlə həcmi yüklər elektrik köhnəlməsinin gedişini idarə edir. Həcmi yüklər polimer izolyasiyanı başqa bir hala salmaq qabiliyyətinə malikdir. İşdə bu maraqlı hadisələrin yaranması və təsir mexanizmi kifayət qədər dərin və yeni metodların tətbiqilə tədqiq edilmişdir. İstismara buraxılan ilk anlardan məlum oldu ki, tikilmiş polietilen kompozitlərin vaxtından əvvəl, nisbətən alçaq gərginliklərdə deşilməsində "su triinqi" kimi tanınan qeyri-bircins oblastların xüsusi əhəmiyyətli çəkisi vardır. Məlum olmuşdur ki, istismar müddətində kabel izolyasiyasında yaranan su triinqləri elektrokimyəvi xarakterli prosesdir. Bu proses izolyasiyada struktur dəyişikliyi yaradır və bu oblastlar izolyasiyanın zəif yerləri hesab olunur. Elektrik sahəsinin təsirindən bu yerlərdə mürəkkəb elektrokimyəvi hadisələr baş verir, zəif yerlərin əhatə dairəsi genişlənir və bir müddətdən sonra izolyasiyada elektrokimyəvi deşilmə baş verir. Su triinqlərinin yaranma mexanizminə aid çox saylı tədqiqat işləri aparılsa da, yenə də həlli vacib sayılan məsələlər mövcuddur. Bura ilk növbədə, su triinqi

oblastlarında, elektrik sahəsində baş verən elektrokimyəvi effektləri aid etmək olar. Dissertasiya işində bu məsələlər araşdırılmış və elmi-praktik əhəmiyyət kəsb edən nəticələr alınmışdır.

TPE izolyasiyalı orta və yüksək gərginlikli kabellərdə, sonradan meydana çıxan müxtəlif xarakterli defektlər bir neçə mərhələdə - layihələndirmədə buraxılan səhvlər, istehsalın təkmil olmaması, çəkiliş və istismarda yaranan bilər. Defektlərin oxşar xüsusiyyətlərilə yanaşı, fərqli səbəbləri də vardır. Qeyri-bircins oblastların yaranması çoxfunksiyalı prosesdir və köhnəlmə prosesinə təsir mexanizmləri də fərqlidir. İşdə müxtəlif mərhələlərdə meydana çıxan defektlər qruplaşdırılmış, yaranma mexanizmləri təhlil edilmiş, tələb olunan hallarda elmi araşdırmalar aparılmışdır.

Kabel izolyasiyasında əsas qeyri-bircins oblastlardan biri hesab edilən qaz qabarcıqları bir qayda olaraq, peroksidli tikilmədə, vulkanlaşma prosesində yaranır. Bununla əlaqədar olaraq, vulkanlaşma prosesində qaz qabarcıqlarının yaranma mexanizmi və inkişaf şərtləri, nəzəri baxımdan ətraflı öyrənilmişdir.

Dissertasiya işində, orta və yüksək gərginlik kabellərində istifadə olunan polietilen kompozitlərdə aparılan genişspektrli elmi tədqiqat işləri və natural kabellərdə olan defektlərdə xüsusi proqramların köməyi ilə öyrənilmiş, elektrik effektlərinin TPE izolyasiyalı kabellərdə köhnəlmə prosesinin dərin təhlilinə aydınlıq gətirilmişdir.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Müxtəlif tip tikilmiş polietilen əsaslı kabel kompozit və izolyasiyalı materialları, orta və yüksək gərginlik kabelləri hesab edilir. Tədqiqatın predmeti isə tikilmiş polietilen izolyasiyalı kabellərin istismar xarakteristikalarının və keyfiyyət göstəricilərinin yaxşılaşdırılması üsulları, vasitələri və alqoritmləridir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Dissertasiya işinin əsas məqsədi tikilmiş polietilen izolyasiyalı kabellərin istismar xarakteristikalarının və keyfiyyət göstəricilərinin yaxşılaşdırılması üsullarının işlənməsindən ibarətdir. Yəni, TPE izolyasiyanın kabellərin xassələrinin tədqiqi və kabellərin etibarlı fəaliyyətinə təsir

göstərən amillərın araşdırılması olmuşdur. Bu məqsədə nail olmaq üçün qarşıya aşağıdakı əsas vəzifələr qoyulmuşdur:

-Müxtəlif mərhələlərdə orta və yüksək gərginlikli TPE izolyasiyalı kabellərin izolyasiya sistemində yaranma ehtimalı olan, fərqli təbiətli, qeyri-bircins oblastların kabelin köhnəlmə prosesinə təsirinin elmi cəhətdən əsaslandırılması və təhlili.

-Vulkanlaşma prosesində polimer kompozitdə qaz qabarcıqlarının yaranma mexanizminin və inkişaf kinetikasının tədqiqi, kritik ölçülərin qiymətləndirilməsi algoritminin işlənilməsi və polimer mühitlə məhdudlaşmış qaz qabarcığında elektrik boşalmalarının yaranma mexanizminin və tək-tək mikroboşalmalarının optik təsirinin formalaşması üsulunun tədqiqi və işlənilməsi.

-Polietilen əsaslı tikilmiş kompozitlərdə geniş spektrdə müxtəlif xarakterli elektrofiziki proseslərin, struktur dəyişikliklərinin və onların kabelin xassələrinə təsirinin tədqiqi.

-Tikilmiş polietilen izolyasiyadan hazırlanmış müxtəlif nümunələrdə gərginlik artım səviyyəsinin elektrik möhkəmliyinə təsirinin tədqiqi və elektrik möhkəmliyinin dəyişməsinin müxtəlif qeyri-bircinsliklər nəzərə alınmaqla yeni üsulun işlənməsi.

-Köhnəlmə prosesinin TPE izolyasiyalı materialın dielektrik xassələrinə təsirinin çoxfaktorlu kriteriyaların seçiminin əsaslandırılması və tikilmiş polietilen kompozitin dielektrik parametrlərinin geniş intervalında tezlik və temperatur xarakteristikalarının təhlili, tədqiqi və hesablama üsulunun işlənilməsi.

-Temperatur fluktuasiyası nəticəsində TPE kompozitlərdə baş verən elektrofiziki proseslərin qismi boşalma parametrlərinə, materialların morfoloji stabilliyinə təsirinin tədqiqi və istilik köhnəlməsi, qismi boşalma və struktur dəyişikliyi arasında bağlılığın əsaslandırılması.

Tədqiqat metodları. Tədqiqat obyektlərinin dielektrik xassələrinin geniş spektrdə tədqiqində Omicron CP100/CPTD1, qismi boşalmaların öyrənilməsində Omicron MPD 600, struktur dəyişikliklərin analizi üçün isə Perkin Elmer – Spectrum 100, X’Pert

PRO, Perkin Elmer Lambda 35, Zeiss EVO LS 10 müasir cihazlar və standart metodlardan, həmçinin, kabel izolyasiyada olan defektlərdə baş verən elektrofiziki proseslərin modelləşdirilməsi və tədqiqi üçün MATLAB/Simulink və Comsol Multiphysics simulyasiya proqramlarından istifadə edilmişdir.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar.

-Müxtəlif mərhələlərdə kabelin polimer izolyasiyasında qeyri-bircins oblastların yaranma ehtimalı və inkişafı mexanizminin və onların kabelin köhnəlmə prosesinə təsirinin tədqiqi öyrənilmişdir.

-Vulkanlaşma prosesində kabelin izolyasiyasında qaz qabarcıqlarının yaranma mexanizminin və inkişaf kinetikasının öyrənilməsi, müxtəlif şərtlər daxilində kritik ölçülərinin hesablanması və qiymətləndirilməsi, o cümlədən, MATLAB/Simulink proqramından istifadə etməklə, polimer mühitlə məhdudlaşmış qaz qabarcığında elektrik boşalmalarının yaranma mexanizmi və tək-tək mikroboşalmaların optik təsirinin formalaşması tədqiq edilmişdir.

-İzolyasiya qatının müxtəlif hissələrində yerləşmiş qaz qabarcıqlarında baş verən elektrik effektlərinin tədqiqi, kabel izolyasiyası boyunca zamanla nəmlik və elektrik sahəsinin birgə təsirindən inkişaf edən müxtəlif ölçülü su triinqlərinin yaratdığı elektrik sahə təhriflərinin modelləşdirilməsi algoritmi, eləcə də, kabel xəttinin həssas yeri hesab olunan birləşdirici muftalarda elektrik sahəsinin tədqiq üsulu işlənmişdir (Comsol Multiphysics® proqramının bazasında tərtib edilmiş alqoritm).

-Təkcəqli və çoxqatlı sendviç strukturlu TPE əsaslı pərdə nümunələrdə elektrik möhkəmliyinin tədqiqi, gərginlik artım səviyyəsinin elektrik möhkəmliyinə təsirinin qiymətləndirilməsi həyata keçirilmiş və elektrik möhkəmliyi təcrübəsi Comsol Multiphysics® proqramında müxtəlif qeyri-bircinsliklər nəzərə alınmaqla modelləşdirilmişdir.

-İstilik köhnəlməsinin müxtəlif tip TPE izolyasiya materialının dielektrik xassələrinə təsiri tədqiq edilmiş, TPE nümunələrin geniş oblastlarda tezlik və temperatur dispersiyası təyin edilmişdir.

-Müxtəlif növ TPE əsaslı köhnəlmiş və köhnəlməmiş nümunələrdə qismi boşalmaların parametrlərinin müqayisəli tədqiqi

aparılmış və istilik köhnəlməsinin kabel izolyasiyasında struktur dəyişiklərinə təsiri tədqiq edilmişdir.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Dissertasiya işinin predmeti nəzərə alınmaqla, tikilmiş polietilen izolyasiyalı kabellərin istismar xarakteristikalarının yaxşılaşdırılması üsullarının işlənməsi istiqamətində aparılmış tədqiqatın elmi yeniliyi aşağıdakılar hesab olunur:

1. İlk dəfə olaraq, sonlu element metodunun təhlili bazasında tikilmiş polietilen izolyasiyalı orta və yüksək gərginlikli kabellərdə hava boşluqlarının və su triinqlərinin forma və ölçüləri nəzərə alınmaqla, onların izolyasiyanın köhnəlmə prosesinə və yaşam müddətinə təsirini kompleks şəkildə qiymətləndirmək üçün hava boşluqlarının və su triinqlərinin modeli, alqoritmi və strukturu işlənməmişdir. Qurulmuş model əsasında izolyasiyada hava boşluqları və su triinqlərinin budaqlarında təcrübi yolla təyin olunması mümkün olmayan cərəyan sıxlığı, elektrik sahə intensivliyi və potensialın paylanması təyin edilmişdir.

2. TPE izolyasiyanın köhnəlmə prosesini xarakterizə edən həssas parametrləri sistematik tədqiq edilmiş və bu zaman əsas kriterial parametrlər kimi dielektrik itki bucağının tangensinin və qismi boşalmaların səviyyəsinin seçilməsi əsaslandırılmışdır. O cümlədən, istismar müddətində qida gərginliyinin tezliyindən asılı olaraq, tgδ-nın dəyişməsi köhnəlmə prosesinə nəzarət monitorinqi kimi təklif olunmuşdur.

3. Müəyisəli şəkildə, ilk dəfə olaraq, respublikamızın kabel zavodlarında istehsal edilən TPE izolyasiyalı kabellərdə istifadə olunan müxtəlif modifikasiyalı tikilmiş polietilen izolyasiyalı kompozitlərin təqətlı və çoxqətlı strukturlarında, müxtəlif gərginlik artımlarında elektrik möhkəmlik sınaqları, dielektrik parametrlərinin istilik köhnəlmə sınaqları, geniş tezlik və temperatur intervalında dispersiyası, qismi boşalma sınaqları, istilik köhnəlməsi altında struktur dəyişikliklərini xarakterizə edən Furre transformasiyalı infraqırmızı spektroskopiya (FTİS), Ultrabənövşəyi-görünən spektroskopiya (UB/G), X-şüalarının diffraksiyası (XŞD), Skanedən elektron mikroskop (SEM) analizləri həyata keçirilmişdir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Dissertasiya işində alınmış bir-sıra nəticələr ölkəmizdə TPE izolyasiyalı kabel istehsalı edən zavodlarda istehsal prosesinin təkmilləşdirilməsi və enerji komplekslərində bu tip kabellərin istismarı zamanı onların keyfiyyət göstəricilərini və yaşam müddətini yüksəltmək məqsədilə istifadə oluna bilər.

Dissertasiya işində aparılmış tədqiqatlarda əldə olunmuş nəticələr TPE izolyasiyalı kabellərin izolyasiya sistemində köhnəlmə prosesinin elmi baxımdan qiymətləndirilməsi üçün nəzəri əhəmiyyət kəsb edir.

Aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiya işinin nəticələri Збірник наукових праць “Велес” За матеріалами III міжнародної конференції “Зимові наукові читання” (Kiyeu, 2018). Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin 100 illik yubileyinə həsr olunmuş “Təhsil – tədqiqat- istehsalat mexanizminin qurulması” mövzusunda keçirilən Respublika Elmi – texniki konfransı. (Bakı, 2018.) Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin 100 illik yubileyinə həsr olunmuş “Tətbiqi fizika və energetikanın aktual məsələləri” Beynəlxalq elmi konfransı (Sumqayıt, 2018). Azərbaycan və Türkiyə Universitetləri: təhsil, elm, texnologiya. I Beynəlxalq elmi-praktiki konfransı (Bakı, 2019). Machine-building and Energy: New Concepts and Technologies” International Scientific-practical Conference materials (Bakı, 2021). Elektroenergetikanın müasir problemləri və inkişaf perspektivləri Beynəlxalq elmi-texniki konfransının məruzə materialları. (Bakı, 2022). VI international scientific and practical conference «Energy- and resource saving technologies: experience and prospects». (Qızılorda, 2024), həmçinin Azərbaycan Texniki Universitetində elmi seminarlarında təqdim olunmuş və müzakirə edilmişdir.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.

Dissertasiya işi “Azərbaycan Texniki Universiteti”nin “Elektrotexnika” kafedrasında, Türkiyənin “Yıldız Texniki Universiteti”nin Elektrik və elektronik fakültəsinin “Yüksək gərginliklər laboratoriya”sında və “Mərkəzi Laboratoriya”sında, Azərbaycan Elm və Təhsil Nazirliyinin nəznində “Radiasiya

Problemləri” institutunun və “Fizika” institutunun laboratoriyalarında, “Azərişiq” ASC –nin tədris mərkəzində həyata keçirilmişdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. I fəsil 51846 işarədən, II fəsil 14464 işarədən, III fəsil 88083 işarədən, IV fəsil 74221 işarədən ibarət olmaqla 250897 işarədən ibarət mətndə şərh olunmuşdur.

Dissertasiya girişdən, dörd fəsildən, nəticədən, istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından (288) ibarətdir.

Dissertasiyanın ümumi həcmi 266 səh. və ümumilikdə isə dissertasiya işi 332932 işarədən ibarətdir. Dissertasiyanın əsas mətni 63 şəkil, 23 cədvəl, 34 qrafik və 1 sxem daxil olmaqla 266 səhifədə şərh edilmişdir..

İşin qısa məzmunu

Girişdə dissertasiya işi yazılmış mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış, bu istiqamətlər üzrə aparılmış işlər haqda məlumat verilmiş, işin məqsəd və vəzifələri bəyan edilmiş, bu məqsədlərə çatmaq üçün istifadə olunan tədqiqat üsulları və əldə olunmuş nəticələr, o cümlədən dissertasiya işinin elmi yeniliyi qeyd olunmuşdur. Bununla yanaşı, dissertasiyadan ekstraksiya olunan məsələlərin pragmatikliyi, aprobeşiyası və tətbiqi göstərilmişdir.

Birinci fəsildə tikilmiş polietilen izolyasiyalı güc kabellərinin keyfiyyət göstəricilərinə təsir göstərən faktorların müəyyənəşdirilməsi və mövcud problemlərin həlli istiqamətində aparılan işlər, bu kabellərin cari vəziyyətini qiymətləndirmək üçün ədəbiyyat sorğusu aparılmışdır.

İlk olaraq, elektrik enerji sistemlərinin ayrılmaz hissəsi hesab edilən kabel xətlərinin inkişaf xronologiyası haqda məlumat verilmişdir. İstehsal və istismar prosesi ötən əsrlərdən bugünə kimi kabel sənayesində inqilab xarakterli baş vermiş mühüm kəşflər xülasələndirilmişdir. Qeyd olunmuşdur ki, orta, yüküsək və ifratyüksek gərginlikli kabel xətləri arasında ən effektiv kabel tipi kimi TPE izolyasiyalı kabel xətləri uęurla istifadə olunur. ABŞ və Kanada

kimi ölkələrdə izolyasiyası tikilmiş polietilendən olan kabellər 10-220 kV gərginlikli güc kabelləri bazarının 80-85%-ni əhatə edir. Almaniya və Danimarkada bu rəqəm 95%-ə qədər artır, amma Fransada, Yaponiya, Finlandiya və İsveçdə isə bu rəqəm — 100%-dir.

Bunu nəzərə alaraq, ilk fəsildə bu tip kabellərin konstruktiv icraları, onların xarakterik xüsusiyyətləri, üstün cəhətləri və ən əsası mövcud aktual problemləri göstərilmişdir.

Aparılmış təhlil göstərdi ki, bu gün istismar göstəricilərinə görə, ən effektiv hesab edilən TPE izolyasiyalı kabellərdə izolyasiyanın degradasiyasının (köhnəlməsinin) əsas səbəbləri, elektrik, istilik və bir sıra hallarda mexaniki gərginliklərdən izolyasiyada yaranmış, müxtəlif təbiətli zədələrdə baş verən elektrofiziki proseslərdir. Bu proseslər həm izolyasiyanın daxilində, həm də yarımkeçirici ekran-izolyasiya-yarımkeçirici ekran sərhəddində baş verir. Oda məlum oldu ki, bu proseslərin izolyasiyanın köhnəlməsindəki roluna aid çoxsaylı fundamental tədqiqat işlərinin aparılmasına və ciddi nəticələr əldə olunmasına baxmayaraq, hələ də həlli vacib problemlər qalmaqdadır. Bura ilk növbədə XLPE izolyasiyanın degradasiyasına səbəb olan və kabelin ömrünü qısaldan elektrik ağacları (elektrik triinqləri) və su ağaclarının yaranması və inkişaf mexanizmlərinin qiymətləndirilməsi və ömür modelinin dərin tədqiqi aiddir. Bununla yanaşı, izolyasiyanın sıradan çıxmasında bilavasitə rol oynayan defektlərdən biri də, izolyasiya daxilindəki hava boşluqları və onlarda baş verən qismi boşalma hadisəsidir.

Qeyd olunan bu problemlərin daha dəqiq, dolğun və hərtərəfli öyrənilməsi üçün kabel xəttinin ən həssas elementi hesab edilən izolyasiya sistemində istifadə olunan polimerlərin bir-sıra xarakterik xüsusiyyətlərinin araşdırılması aparılmışdır. Kabel xətlərində ən geniş istifadə olunan polimer materiallar, kompozitlər polietilen, tikilmiş polietilen və polivinilxlorid izolyasiya materiallarıdır.

Təhlil göstərdi ki, güc kabellərinin termoplastik kompozitlərdən hazırlanan izolyasiyası, termoplastların özünün təbiətindən asılı olan, bir sıra çatışmazlıqlara malikdir. Bunlardan ən başlıcası axıcılıq və ərimə temperaturuna yaxın temperaturda

mexaniki xassələrinin kəskin pisləşməsi, bəzən isə formasını tam itirməsidir. Bundan başqa, daxili mexaniki gərginlik hesabına, istismar zamanı hər hansı səbəbdən, məsələn, qısaqapanmalarda izolyasiyanın daxilində, güclü deformasiya müşahidə olunur və bəzən mikroçatlar yaranır. Bu da öz növbəsində izolyasiyanın xassələrini kəskin korlayır. Bu səbəblərdən praktikada termoplastik polimerlərin istilik xassələrindən tam şəkildə istifadə olunmur. İstehlakçılar, etibarlıq baxımından, onların işçi temperaturunu bir qədər aşağı qəbul edirlər. Məsələn, PE izolyasiyalı kabellərdə işçi temperatur 65-70 °C qəbul edilir .

PE -nin əsas çatışmazlıqlarından biri onun istiliyə davamlılığının aşağı olmasıdır ki, bu da onun yüksək gərginlik kabellərində izolyasiya materialı kimi tətbiqini məhdudlaşdırır. Polietilenin xətti genişlənmə əmsalının yüksək qiyməti (0,00015 - 0,000180 C) temperatur dəyişməsi zamanı böyük mexaniki gərginliklərin yaranmasına səbəb olur. Bu da izolyasiyanın istismar müddətini qısaldır. Həqiqətən də, təsadüfi səbəblərdən, məsələn qısa müddətli qısaqapanmalarda kabellər əksər hallarda sıradan çıxır. Belə xoşagəlməz halların qarşısını almaq üçün “tikilmiş” polimer kompozitlərdən istifadə olunur. Tikilmiş polimerlərin əsas üstünlüyü, hətta ərimə temperaturundan yuxarı temperaturalarda, əzici yüklərin təsirinə müqavimətini saxlamasıdır. Həmçinin, xüsusi termostablizatorlardan istifadə etdikdə onların buraxıla bilən işçi temperaturu artır.

Polietilenin isitiliyə davamlılığını artırmaq məqsədilə, onun tikilmə prosesi aparılır və bunun nəticəsində polietilen xətti quruluşdan fəza quruluşuna keçir. Bu halda, materialın istiliyə müqaviməti uzun müddətli iş rejimində 90°C və qısa qapanmalar zamanı 250 °C olur. Beləliklə, tikilmə nəticəsində əldə olunan tikilmiş polietilen, kabel izolyasiyası üçün ən uyğun və effektiv material hesab olunur.

Hazırda kabel texnikasında tikilmiş polietilen kompozisiyadan daha geniş istifadə olunur, ilk növbədə bunlardan orta,yüksək ,və ifratyüksək kabellərində izolyasiya məqsədi ilə kabel texnikasında PE kompozitin tikilməsinin 3 üsulu realizasiya olunur.

1. Makromolekullar arasında kimyəvi reaksiya polimer molekulları ilə termiki dayanıqsız üzvi peroksidlərin parçalanması nəticəsində yaranan məhsulların qarşılıqlı təsiri hesabına meydana gəlir (peroksidli tikilmə)

2. Polimer molekullarına yeridilmiş tərkibində silan üzvi funksional qruplar arasında kimyəvi reaksiya (silanlı tikilmə)

3. İonlaşdırıcı şüaların təsirindən polimerdə yaranan makropadikalların rekombinasiyası (radiasiya modifikasiyası)

Bir biri ilə müqayisədə hər bir üsulun müsbət və çatışmayan cəhətləri vardır və texnoloji əməliyyatın seçiminə görə təyin olunur.

Vulkanlaşma prosesində, həm polietilen kompozitin həcmində, həm də cərəyankeçirən hissə ilə yarımkeçirici ekran qatı arasında ionlaşma mərkəzlərinin (boşluqların) yaranmasının fiziki xüsusiyyətləri və mikroboşalmaların plazma kanalından yüklərin polimerə daxil olma hadisəsi haqda məlumat tam şəkildə öyrənilməmişdir. Bu da boşluq polimer sərhəddində baş verən elektrofiziki proseslərin mahiyyəti haqda dolğun məlumat almağa imkan vermir. Tikilmə prosesində yüksəkmolekulyar halda olan polimerdə, ehtimal olunan ilkin boşluqların inkişafının nəzəri əsasları kifayət qədər öyrənilməmişdir ki, bu isə boşluqların ölçülərindən asılı olaraq, qismi boşalmaların intensivliyinin təyin olunması baxımından çox əhəmiyyətlidir.

İkinci fəsildə dissertasiya işinin məqsəd və məzmununa uyğun olaraq, tədqiqat obyektləri təyin edilmişdir ki, bunlar orta, yüksək və ifratyüksək gərginlikli kabellər və kabellərin ən həssas, faktorlardan ən çox təsirlənən elementi hesab edilən TPE izolyasiya kompozitləridir. Burada seçilmiş tədqiqat obyektləri üzərində aparılmış bir-neçə istiqamətli tədqiqat metodları izah olunmuşdur. Tədqiqatın həyata keçirilməsi üçün qurulmuş modellər, modellər üzrərində elektrofiziki proseslərin tədqiqi arxaplanda çalışan alqoritmlər və onların sərhəd şərtləri qeyd olunmuşdur.

İlkin mərhələdə nümunələrin alınma prosesi təsvir edilmiş, isti presləmə üsulu alınmış nümunələrin ölçüləri və formaları göstərilmişdir. Sonrakı mərhələlərdə nümunələr üzərində aparılmış

tədqiqatların metodikaları izah olunmuşdur ki, onların qısa təsviri aşağıdakı kimidir:

Elektrik möhkəmliyinin təyini sınaqları Yıldız Texniki Universitetinin Elektrik mühəndisliyi fakültəsinin yüksək gərginlik laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir. Sınaq gərginliklərinin yaradılması üçün 500 V/san, 2 kV/san və 3 kV/san gərginlik artım sürətlərində, çıxışında 90 kV-a qədər gərginlik alınabilən 50 Hs-lik dəyişən cərəyan mənbəyindən istifadə edilmişdir. Təcrübələrdə 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 və 1 mm qalınlığa malik tək qatlı nümunələrə 500 V/san və 3000 V/san yüksəlmə sürəti ilə sınaq gərginliyi tətbiq edilmişdir. Daha sonra dəşilmə gərginlikləri qeydə alınmışdır. Sonradan, təkqatlı nümunələrdə əldə edilən nəticələr, 0,2 mm-lik qatlardan yığılmış çoxqatlı nümunələrdə eyni metodologiya ilə ölçülmüşdür.

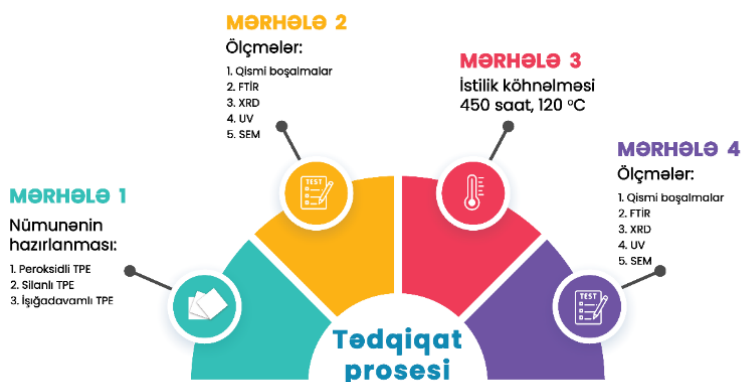
İşin digər hissəsində təqdim olunan izolyasiya materialları, 120 °C-də 6 period, bir period 75 saat olmaqla, cəmi 450 saat istilik köhnəlməsinə məruz qaldıqdan sonra onların dielektrik parametrləri (P_d , $\tan\delta$ və ϵ) ölçülmüşdür. Ölçmənin mərhələlər üzrə ardıcılığı şəkil 1-də göstərildiyi kimi yerinə yetirilir.



Şəkil 1. Tədqiqat prosesi zamanı əməliyyatların mərhələli şəkildə sxematik təsviri

İstilik köhnəlməsi altında izolyasiya materiallarının dielektrik parametrlərinin ölçülməsi Omicron CP100/CPTD1 ölçmə cihazından istifadə edilərək həyata keçirilmişdir. Bununla yanaşı, dielektrik parametrlərinin tədqiqi geniş tezlik və temperatur oblastında aparılaraq, materialların xassələrinin daha dolğun və dəqiq öyrənilməsi mümkün olmuşdur.

İstilik köhnəlməsinin TPE kompozitlərin qismi boşalma səviyyəsinə və morfoloji xüsusiyyətlərinə təsirini ölçmək üçün istilik köhnəlməsindən əvvəl və sonra sınaqlar aparılmışdır. Aparılan tədqiqatın ümumi sxemi şəkil 2-də verilmişdir.



Şəkil 2. Eksperimental prosesin xülasəsi

Qismi boşalmaları təyin etmək üçün Omicron MPD 600 dəstindən istifadə olunmuşdur.

Cari fəsildə həmçinin kabellərin izolyasiya sistemindəki defektlərdə qismi boşalmaların xüsusiyyətlərinin tədqiqi üçün MATLAB/Simulink proqramında tərkibində hava boşluqları olan izolyasiya sisteminin blok sxemi qurulmuşdur. Eyni zamanda, Comsol Multiphysics proqramında müxtəlif ölçülü və formalı su triinqləri, hava boşluqları olan kabellərdə elektrik sahəsinin, potensialın və

cərəyan sıxlığının paylanması üçün qurulmuş modellərin algoritmi və sərhəd şərtləri qeyd olunmuşdur.

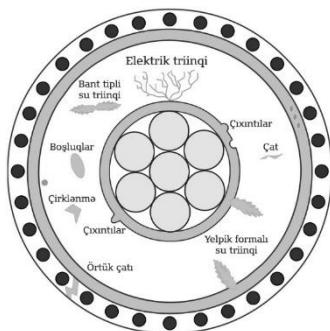
Dissertasiya işinin **üçüncü fəslində**, kabellərin sürətlə köhnəlməsinin başlıca səbəbi kimi izolyasiya sistemində yaranan, müxtəlif təbiətli qeyribircins oblastlar və onlardakı proseslər tədqiq edilmişdir.

Məlumdur ki, bu oblastlarda yaranan böyük qiymətli elektrik sahəsinin təsirindən, izolyasiya sisteminin zəif yerlərində baş verən elektrofiziki proseslər onun elektrik və mexaniki xassələrini korlayır və kabel vaxtından əvvəl dəşilir. Aparılmış elmi tədqiqat işləri nəticəsində TPE izolyasiyalı orta və yüksək gərginlikli kabel sistemlərində imtinaların səviyyəsi on dəfələrlə azaldı. Alınmış uğulu nəticələrə rəğmən, TPE izolyasiyalı kabellərin izolyasiya sistemində yaranan defektlərin (qeyri-bircins oblastların) yaranma mexanizmi və izolyasiyanın köhnəlmə prosesinə aid vahid konsepsiya yoxdur. Bu baxımdan kabellərin köhnəlmə mexanizminin tədqiqi bu gündə davam etdirilir və aktual olaraq qalır.

TPE izolyasiyalı kabellərin 50 ildən artıq istehsal və istismar təcrübəsi göstərdi ki, istismar müddətində, onların keyfiyyət göstəricilərinə və yaşam müddətinə neqativ təsir göstərən çoxsaylı faktorların yaranma mexanizmini kompleks araşdırmadan kabellərin istismar xüsusiyyətləri haqda dəqiq fikir söyləmək mümkünsüzdür. Bu həm də, kabelin qalıq resurslarının təyin olunması baxımından çox vacibdir.

TPE izolyasiyalı kabellərin köhnəlmə prosesinə xarici faktorların təsiri materialşünaslıq və elektrofizikika tədqiqatçılarının daima diqqət mərkəzində olmuşdur və bu gün də aktualdır. Bununla yanaşı, onu da qeyd etmək lazımdır ki, kabellərin istismar təcrübəsi göstərir ki, alınmış müsbət nəticələrlə yanaşı, bir sıra problemlər hələ də qalmaqdadır və onların öyrənilməsi aktuallığı ilə yanaşı, həm də praktik əhəmiyyətlidir.

Bu fəslidə qeyd olunan problemlər qruplaşdırılmış və onların təsirinin çoxfaktorlu olması nəzərə alınmaqla, məsələnin həllinə, kompleks şəkildə fərqli prizmadan yanaşılmışdır. Qeyri-bircins oblastlara malik kabel izolyasiyasının təsviri şəkil 3-də verilmişdir:



Şəkil 3. Kabel izolyasiyasında mövcud ola biləcək defektlərin və qeyri-bircins oblastların təsviri

TPE izolyasiyalı orta və yüksək gərginlikli kabellərin izolyasiya sistemində qeyri-bircins oblastların yaranmasını şərti olaraq üç mərhələyə bölmək olar:

1. İstehsal prosesində yaranan biləcək defektlə, bura həm də izolyasiya sistemi üçün ilkin materialların keyfiyyəti və təmizlik dərəcəsinə aid etmək olar.

2. Kabel xətlərinin quraşdırılmasında meydana çıxan defektlər.

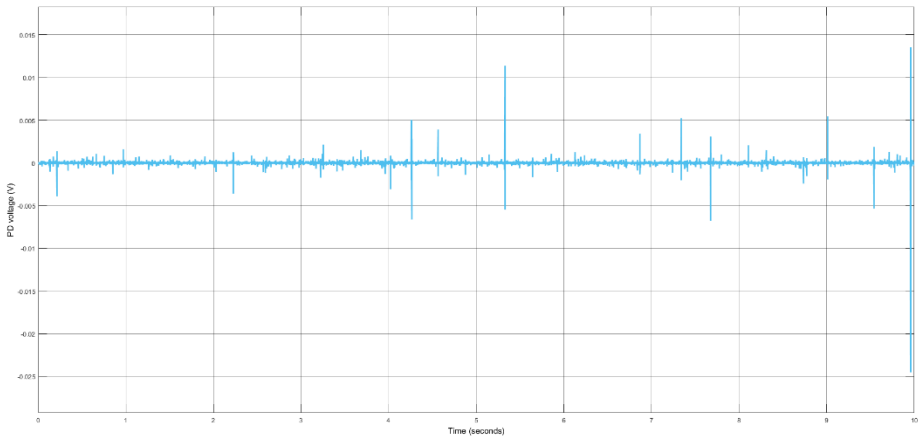
3. İstismar dövründə yaranan biləcək qeyri-bircins oblastlar.

Bütün bu mərhələlərdə yaranan qeyri-bircins oblastların izolyasiya sisteminin etibarlılığına, təhlükəsizliyinə və səmərəliliyinə təsir mexanizmi müxtəlidir. Köhnəlmə prosesinin dərin öyrənilməsi üçün, müxtəlif mərhələlərdə yaranan defektlərin təsirinin əlaqəli, kompleks şəkildə tədqiq edilməsi yolu ilə bu məsələni kifayət qədər dəqiqliklə qiymətləndirməyə nail olunmuşdur.

Polimer izolyasiyalı kabellərin köhnəlməsinin və vaxtından əvvəl sıradan çıxmasının əsas səbəblərindən biri izolyasiyadakı qeyri-bircins oblastlarda, xüsusəndə hava boşluqlarında, baş verən qismi boşalma hadisəsidir. Qismi boşalmalar TPE izolyasiyalı kabellərin izolyasiya sisteminin köhnəlməsində əsas rollardan birini oynadığına görə onun baş vermə və izolyasiyaya təsir mexanizminin bir sıra xarakterin xüsusiyyətləri ətraflı öyrənilmişdir. İstehsal defektlərin, çirklənmə və izolyasiyanın deqradasiyası səbəbindən, izolyasiyanın

daxilində yaranan boşluqlarda və ya izolyasiya təbəqəsilə yarımqeçirici sərhəd çıxıntılarında, müəyyən şərtlər daxilində qismi boşalmaların baş vermə ehtimalı yaranır.

Qismi boşalmalar izolyasiyanın yaşam müddətini qısaldan amillərdən biri olduğunu nəzərə alaraq, MATLAB/Simulink program təminatının yardımı ilə izolyasiya daxilində boşluq olan hal üçün qismi boşalmaların simulyasiyası həyata keçirilmişdir. Qurulmuş blok-sxem modeli üzərindən alınmış qrafiklərdən biri şəkil 4-də göstərilmişdir. Bu fəsildə üç fərqli defektdə QB-ların tədqiqi zamanı məlum olmuşdur ki, izolyasiya materialının içərisindəki qüsurun ölçüsünün artması ilə qismi boşalmaların amplitudu azalır və əksinə, daha kiçik ölçülərdə qismi boşalmalarda daha böyük qiymətlər alır.



Şəkil 4. “d” indeksli hava boşluğu üçün QB modelləşdirmənin nəticələri

Qeyd olunduğu kimi, TPE izolyasiyada ən çox müşahidə olunan qeyri-bircins oblast qaz boşluqları və nəmlikdir. Bu tip oblastlar izolyasiyada həm istilik emalına qədər, həm də istilikemalında yarana bilər.

Qaz boşluqlarının ölçüləri, sayı və xarakteri kabel izolyasiyasının elektrik möhkəmliyinə bilavasitə təsir göstərir.

Polimer izolyasiyada texnoloji rejim zamanı həll olmuş komponentlərin yaranma səbəblərini üç qrupa bölmək olar:

- birinci qrupa termikiemala qədər materialda həllolan maddələr - nəmlik, hava, həlledicilər və s. aiddir.

- ikinci qrupa istilikemalı zamanı materialda ayrılan maddələr – tikilmə reaksiyasının yan məhsulları, üzvi peroksidlərin parçalanma məhsulları, polimerin destruksiyası nəticəsində yaranan məhsullar daxildir.

- üçüncü qrupa texnoloji istilikemalı yüksək təzyiqdə aparılan zaman qaz mühitindən polimer diffuz edən qazlar aiddir.

Polietilenin tikilmə prosesində peroksidli tikilmə üsulundan istifadə olunduqda məlumdur ki, metan və asetofenon qazlarının ayrılması xarakterikdir. Texnoloji termiki emal yüksək təzyiqdə azot mühitində aparılır, bu halda emal olunan polietilenə əlavə azot qazının daxil olması baş verir.

Yüksək temperaturda bu qazvari məhsullar polietilendə qaz qabarcıqlarının yaranmasına səbəb olur, onlar izolyasiyada bir sıra müəyyən fəsadlar yaradır, ionlaşmalar – qismi boşalmalar baş verir və son olaraq izolyasiya dəşilir. Nəzərə almaq lazımdır ki, strukturu qeyri-bircins olduğundan, polimerdə r radiuslu ionlaşma mərkəzləri mövcuddur. Əvvəlcədən polimerdə mövcud olan r radiuslu hava boşluğunun böyüməsi mexanizminə baxaq.

Sferanın daxilindəki və səthi gərilmə təzyiqlərini nəzərə almaqla yüksək elastik halda olan polimerin daxilindəki qaz boşluğunun inkişaf şərtini yaza bilərik:

$$\frac{P-P_0}{G} = \frac{5}{2} - 2 \left(1 - \frac{\alpha_g}{2r_0G} \right) \lambda^{-1} - \frac{\lambda^{-4}}{2} \quad (1)$$

Kabel zavodlarında hazır TPE izolyasiyalı kabel nümunələrində aparılan ölçmələr göstərdi ki, izolyasiyada diametri (10^{-4} - 10^{-5}) m olan qabarcıqların olması mümkündür. Buna görə də, $\alpha_g/2G \cdot r_0 \ll 1$ şərti həmişə ödənilir. Bu halda (1) tənliyindən aşağıdakı təxmini ifadəni yazarıq.

$$\frac{P-P_0}{G} = \frac{5}{2} - 2\lambda^{-1} - \frac{\lambda^{-4}}{2} \quad (2)$$

Bu halda səthi gərilməni nəzərə almamaq olar. Bu zaman $P - P_0 > 5G$ şərti qəbul olunmazdır, çünki bu halda qabarcıqların böyüməsi daha intensiv olur.

Tikilmə prosesində qabarcıqların böyüməməsi yəni $\lambda=1$ olması üçün proses yüksək təzyiqdə aparılır. $\lambda=1$ olan hal üçün (2) -dən alırıq.

$$P - P_0 \leq 0 \quad \text{və ya} \quad P \leq P_0$$

Beləliklə vacib bir nəticə alınır: termiki emal zamanı qabarcığın böyüməməsi üçün xarici təzyiq polimerdə həll olmuş qazların toplam təzyiqindən böyük olmalıdır.

Radiusu r_0 olan ilkin qaz qabarcığının böyüməsi aşağıdakı ehtimalla şərtlənir.

$$W = \exp\left(-\frac{Q}{kT}\right) \quad (3)$$

burada, k -Boltsman sabiti; Q -qabarcığın böyüməsi üçün lazım olan enerji; T -temperaturdur. Emal temperaturu qabarcıqların böyüməsində həlledici rol oynayır: bir tərəfdə T yüksəldikcə səthi gərilmə modulu analiz digər tərəfdən, ayrılan qazların konsentrasiyası artır.

Qabarcığın şişmə dərəcəsinin λ onun daxilindəki tarazlıq təzyiqindən P , böyümə oblastındakı (xarici təzyiq) təzyiqdən P_0 , materialın elastiklik modulundan G və səthi gərilmədən α_g asılı olduğunu nəzərə almaqla, şişmə dərəcəsinin kritik qiyməti λ_{kr} üçün yazmaq olar:

$$\lambda_{kr} = \frac{2(1 - \frac{\alpha_g}{2Gr_0})}{(\frac{5}{2} - \frac{P - P_0}{G})} \quad (4)$$

Tikilmə prosesinin əvvəlində yüksək temperaturda ($300-360^\circ$) C polimer ərimiş hala keçir və G -in qiyməti çox kiçik olur. Bu halda sferanın şişmə dərəcəsinin kritik qiymətini qızmış mayelərdə qabarcıqların yaranma və inkişafına analoji olaraq hesablamaq olar, yəni

$$\lambda_{kr} = \frac{2\alpha_g}{r_0(P - P_0)} \quad (5)$$

uyğun olaraq, kritik radius $r_{kr} = \lambda_{kr} \cdot r_0$

$$r_{kr} = \frac{2\alpha_g}{(P-P_0)} \quad (6)$$

Qaz qabarcığının böyüməsi üçün $(P-P_0)$ tarazlıq təzyiqinin qalıq qiyməti $2\alpha_g/r_0$ -ın qiymətinə yaxın olmalıdır.

Yüksək elastik halda polimerlər üçün $\alpha_g = 3 \cdot 10^{-2}$ N/m qəbul etsək, radiusu r_0 olan ilkin qabarcığın böyüməsi üçün tarazlıq təzyiqi $P-P_0 = 10^5$ Pa olmalıdır.

(5)-dən göründüyü kimi, qabarcığın kritik radiusu materialın xassələrindən və xarici şərtlərdən asılıdır.

Termiki emal prosesindən (tikilmə prosesi) sonra qaz qabarcıqlarının böyüməməsi üçün soyuma prosesi də yüksək təzyiqdə aparılmalıdır. Temperatur aşağı düşdükcə tazarlıq təzyiqi P azalır.

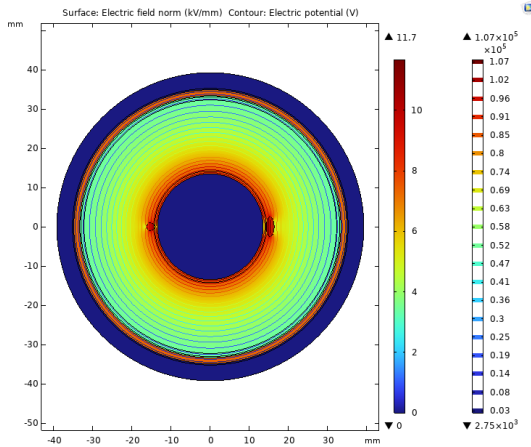
İzolyasiya materialında və ya onun interfeysində daxili boşalma hadisələri adətən, boşluqlar, qabarcıqlar və ya qüsurlar nəticəsində yaranan güclü və qeyri-bərabər elektrik sahələrindən qaynaqlanır. Triinq boşalması da daxili boşalma ilə əlaqələndirilir və triinqlər keçirici hissəciklərdən və ya izolyasiya daxilində mövcud olan boşluqlardan inkişaf etməyə başlayır. Burada müxtəlif ölçülü və formalı boşluqlara eləcə də, triinqlərə malik, TPE izolyasiyalı kabelin izolyasiyası daxilindəki elektrik sahə gərginliyinin və potensialının paylanması baxılmışdır. Müxtəlif defektlərə malik olan TPE izolyasiyalı yeraltı kabelinin tədqiqi, sonlu elementlər metoduna əsaslanan, COMSOL Multiphysics proqram təminatı istifadə edilməklə simulyasiya edilmiş və proqramda TPE izolyasiyalı kabelin ikiölçülü modeli hazırlanmışdır. Müvafiq ssenarlərdən bir-neçəsini nəzərdən keçirək:

Müxtəlif formalı boşluqlar olan hal.

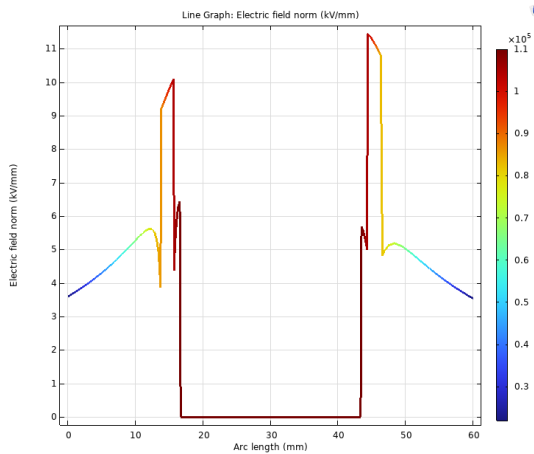
Şəkil 5-də izolyasiya daxilində ellipsvari boşluğun modeli verilmişdir. Ellips formasında boşluqda lokal elektrik sahə intensivliyinin qiymətinin dairəvi boşluğa oxşar olaraq izolyasiyanın digər nöqtələrindən daha yüksək olduğu müşahidə olunur. Dairə və ellipsvari formalı boşluq modellərinin müqayisə qrafik və təsvirləri isə şəkil 6-da verilmişdir.

Radiusları 1 mm olan iki boşluq modellərlə müqayisə göstərdi ki, ellipsvari boşluqda sahənin qiyməti 11,5 kV/mm, dairəvi formalı

boşluqda isə 10,1 kV/mm olmuşdur. Bu isə onu deməyə əsas verir ki, boşluğun formasının sahənin qiymətinə birbaşa təsiri vardır.



Şəkil 5. Müxtəlif formalı boşluqlar olan halda elektrik sahəsinin paylanması



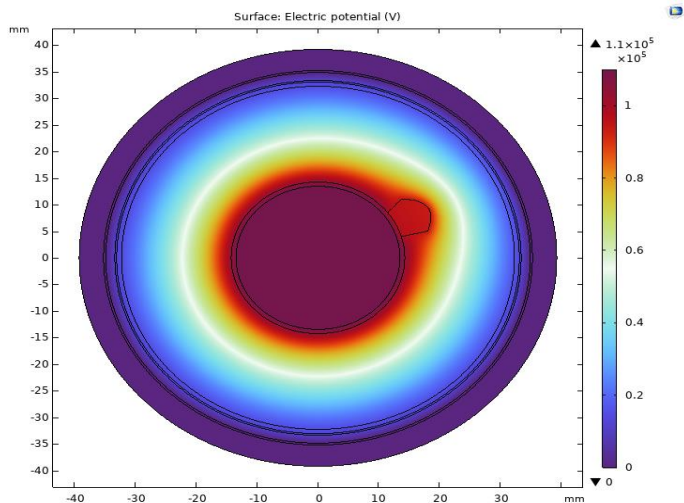
Şəkil 6. Müxtəlif formalı boşluqlar olan halda elektrik sahəsinin paylanma qrafiki

Analoji olaraq, müxtəlif başqa variantlar araşdırılmışdır, məsələn, radiusları uyğun olaraq, 1 və 2 mm, olan izolyasiya daxilində cərəyankeçirən damardan eyni məsafədə yerləşmiş boşluqların modeli qurulmuş və sahənin paylanması göstərilmişdir. Sahənin qiyməti radiusdan asılıdır, beləki daxilində, sahəsinin qiyməti kiçik radiuslu boşluqlarda daha yüksək qiymət alır. Bu isə boşluq daxilində ionlaşmanın baş verməsinin lazım olan elektrik sahə gərginliyinin qiymətinin, kiçik radiuslu boşluqlarda, daha yüksək olması ilə əlaqələndirilir. Belə ki, hər biq qaz üçün təzyiq və temperaturun verilmiş qiymətlərində ionlaşma sahə intensivliyinin müəyyən olunmuş bir qiymətində başlayır. Sahə intensivliyinin bu qiyməti başlanğıc sahə intensivliyi, buna uyğun gələn gərginlik isə başlanğıc gərginlik adlanır. Qazlar üçün $U_{\lambda}=E \cdot \lambda$ (burada: U_{λ} – sərbəst qaçış yolunun uzunluğunda (yüklü hissəciyin hərəkətə başladığı andan neytral molekulla toqquşduğu ana qədər keçdiyi yolun uzunluğu) potensiallar fərqi; E – sahənin intensivliyi; λ – yüklü hissəciyin toqquşma olmadan keçdiyi yolun orta uzunluğudur) ifadəsindən göründüyü kimi yüklü hissəciyin toqquşma olmadan keçdiyi yolun uzunluğu artan halda uyğun olaraq, ionlaşmanın baş verməsi üçün lazım olan sahənin qiyməti azalmağa başlayır. Alınan nəticələrə görə, radiusu 1 mm olan boşluqda sahə intensivliyinin maksimum qiyməti 10,1 kV/mm, 2 mm radiuslu boşluqda isə 9,5 kV/mm olmuşdur. Eyni ssenarilər başqa forma ölçülü və müxtəlif lokasiyalarda yerləşmiş boşluqlar üzərində də aparılmışdır.

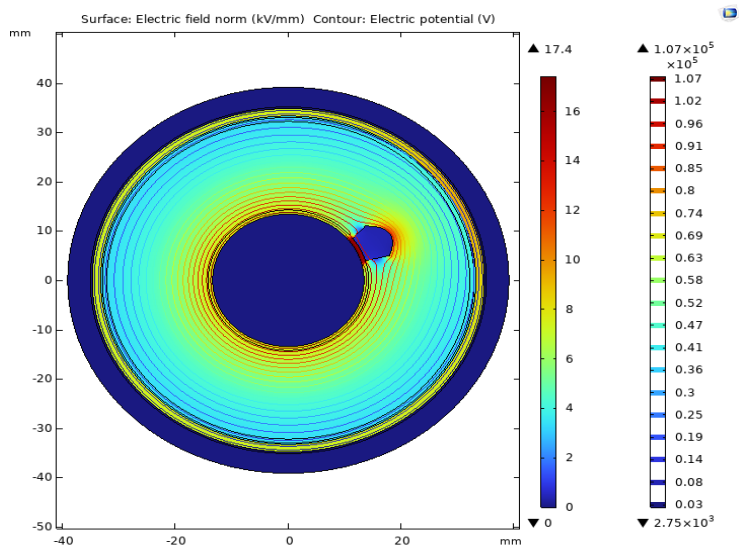
Orta, yüksək və ifratyüksək gərginlikli kabellərin yaşam müddətinin qısalmasının başlıca səbəblərində biri də izolyasiyada, istismar zamanı, qeyribircins oblast hesab edilən müxtəlif təbiətli triinqlərdir. Gərginlik altında olan kabellərdə, elektrik sahəsinin təsirindən triinqlərdə baş verən elektrofiziki proseslərin öyrənilməsi elmi və praktiki əhəmiyyət kəsb edir və bu gün də aktual problem olaraq qalır. Çox saylı tədqiqat işlərinə baxmayaraq, triinqlərin izolyasiya təsir mexanizmi və qiymətləndirilməsi haqda vahid mexanizm yoxdur. Bunun üçün triinqlərdə, xüsusilə su triinqlərində baş verən elektrofiziki proseslərin dərin öyrənilməsi tələb olunur.

Bunları nəzərə alaraq, triinqlərin təsir mexanizminin qiymətləndirilməsinə xüsusi diqqət ayrılmışdır.

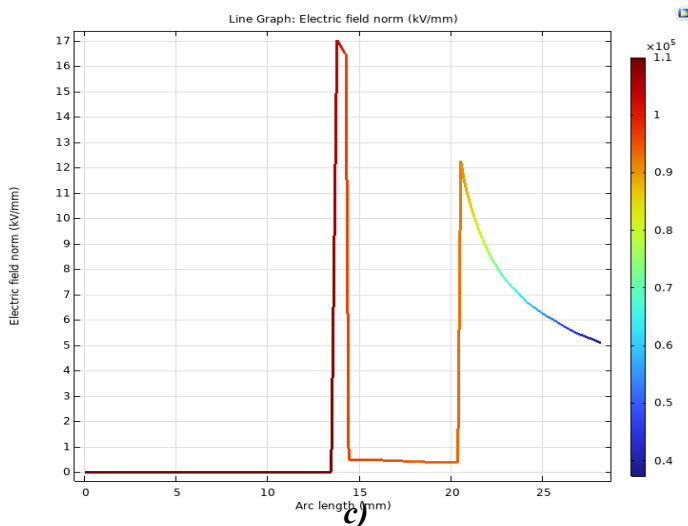
Öncə yelpik və bant formalı su triinqlərinin real halın triinqinə oxşar ekiz modeli hazırlanmış və həmin model üzərindən elektrostatik sahənin simulyasiyası həyata keçirilmişdir. Hazırlanmış modelin dielektrik nüfuzluğu 80 qəbul edilir (su üçün $\epsilon=80$). İki müxtəlif ölçülü yelpik su triinqlərində elektrik sahə intensivliyinin paylanması və onun qrafikləri təsvir olumuş şəkil 7- də göstərilmişdir. Su triinqi daxilində yerləşən nəmlik oblastında yüksək keçirici mühit olduğundan burada elektrik sahə intensivliyi sıfıra yaxın qiymət alır. Lakin onun ətrafında elektrik sahəsinin qiyməti kəskin böyüyür. İki müxtəlif ölçülü yelpik formasında olan su triinqlərinin yaratdıqları sahə təhrifləri bir-birinə bənzəyir. Bunu alınmış təsvirlərdən də müşahidə etmək olar. Elektrik sahəsinin qiymətlərinin isə su triinqinin ölçüləri böyüdükcə artmağa başladığı müşahidə olunmuşdur. Daha böyük formalı triinqin ətrafında (damara yaxın hissədə) lokal sahə intensivliyi kəskin artır və təxminən 22 kV/mm qiymət alır, daha kiçik formalı su triinqində isə bu qiymət 17 kV/mm olmuşdur. Su triinqlərinin inkişafının zamanla mütəsib olaraq artdığını nəzərə alsaq, buradan belə bir nəticəyə gəlmək olar ki, su triinqlərinin davamlı inkişafı kabel izolyasiyasında geridönməyən deşilmə prosesinin baş vermə ehtimalını təsdiqləyir. O cümlədən, su triinqlərinin böyüməsi iki elektrod arasında qapanma prosesinin daha erkən baş verməsinə və su triinqlərinin preferiyalarının elektrodlara yaxınlaşması ilə, elektrik təbiətli triinqlərin bu qapanmada ehtimal olunan rolunu əhəmiyyətli dərəcədə artırır.



a)



b)



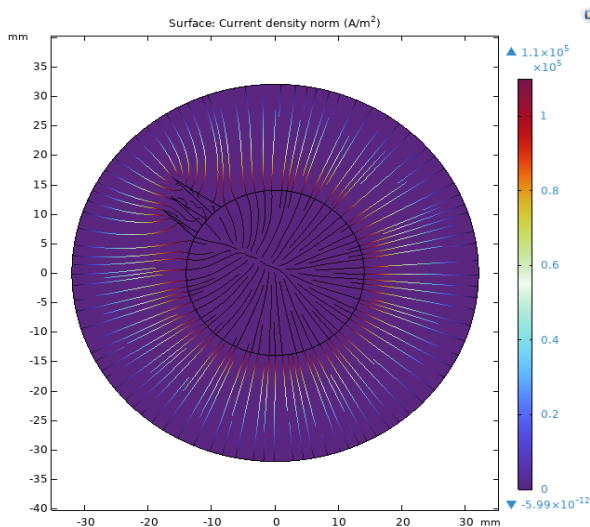
Şəkil 7. Yelplik formalı su triinqində elektrik sahəsinin paylanması və onun grafiki ayrılari: a) elektrik sahəsinin; b) potensialın; c) triinqdə elektrik sahəsi və potensialın paylanma ayrılari

Bant formalı su triinqinin modeli və elektrik sahəsinin forması da dissertasiya işində verilmişdir.

Çox vaxt su triinqlərinin formalaşması ən böyük elektrik sahəsi olan bölgədə baş verir, çünki polyar su molekulları elektromexaniki (dielektroforetik) qüvvələrin təsiri altında belə bölgələrə dartılır. Bu, kabelin cərəyankeçirən damarının yaxınlığında su triinqlərinin aşkar edilməsi ilə təsdiqlənir.

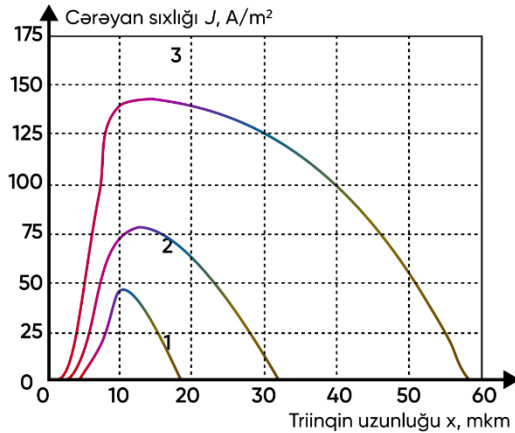
İzolyasiyada da cərəyan sıxlığının təyini üçün hesablanmış izolyasiya bölgəsi damarın yaxınlığında, yəni kabel damarının ətrafındakı yarımkeçirici təbəqə ilə həmsərhəd seçilmişdir. Xarakterik ölçülərdə - onlarla və yüzlərlə mikrometrə qədər olan ağaclar nəzərə alınmışdır. Hesablamanı optimallaşdırmaq üçün, üç fərqli ölçüdə su triinqinin budağına bənzər modellər təsvir edilmişdir.

İzolyasiya, potensial maneələr arasında yük daşıyıcılarının hərəkəti modelinə uyğun olaraq, güclü elektrik sahəsində görünən qeyri-xətti xüsusiyyətlərlə, yəni σ TPE-nin xüsusi elektrik keçiriciliyinin E elektrik sahəsinin intensivliyindən asılılığını nəzərə alaraq birincinsli qəbul edilmişdir. Şəkil 8- də triinq budaqların cərəyan sıxlığının, paylanması göstərilmişdir.



Şəkil 8. Su triinq budaqlarında cərəyan sıxlığının paylanma təsviri

Triinqin uzunluğunun və qalınlığının təsirini öyrənmək məqsədilə, triinqin digər parametrləri dəyişdirmədən konusvari 2D formasında triinq budaqlarında cərəyan sıxlığı tədqiq edilmişdir. Üç fərqli triinq budaqlarında cərəyan sıxlıqlarının paylanmasının qrafiki 1-də göstərilmişdir.



Qrafik 1. Müxtəlif ölçülü su triinqlərində cərəyan sıxlığının paylanması

Tədqiqat nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, su triinqləri daxilində keçirici mühit hesabına cərəyanın axması baş verir. Triinq budağının dibində, yəni mikroinklüzuya ilə sərhəddə sahə boyunca keçirici defektin ən kəskin sahəsinin dəyişməsi cərəyan sıxlığının funksiyasının sıçrayışla artmasına səbəb olur. Budaqdan isə cərəyan qismən keçir və izolyasiyanının divarları boyunca istiqamətlənir, bu isə J -nin azalmasına gətirib çıxarır. Buna görə də, triinqin başlanğıc hissəsində yəni rezervuaz bölgəsində maksimum cərəyan sıxlığı $J_{\max}$ müşahidə olunur.

Kabel xətlərinin hazırkı vəziyyətini və qalıq resurslarını müəyyən etmək üçün fəaliyyətdə olan xətlərdə periodik olaraq, diaqnostika sınaqları aparılır. Sınaqların periodikliyi alınmış nəticələrə görə müəyyən edilir.

Kabel xətlərinin vəziyyəti tgd və qismi boşalmada ölçülən elektrik yüklərinin qiymətlərinə görə qiymətləndirilmişdir. Hər iki parametr kabel izolyasiyasında yaranan defektlərə və struktur dəyişikliklərinə çox həssas parametrlərdir.

Qərb ölkələrinin təcrübəsini nəzərə alaraq, onların kriteriyalar qəbul edilmişdir.

Ölçmələrin nəticələrinin təhlili göstərdi ki, diaqnostika sınağı aparılmış 100 kabel xəttindən, qəbul olunmuş kriteriyalara görə 48- i yararlı, 14- ü qismən yararlı, 38- i yararsızdır.

Yararsız hesab olunan kabel xətləri illər üzrə aşağıdakı kimi bölüşür:

2001-2003 illərdə çəkilən 8 xətdən 8- i (100 %);

2004-2006- da çəkilən 9 xətdən heç biri (0 %);

2007-2009- 24- dən 8- i (33 %);

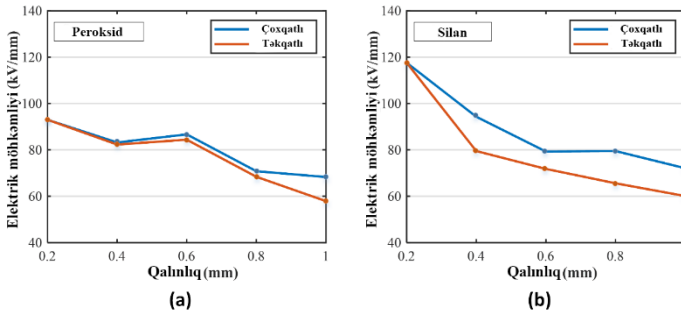
2010-2011- 50- dən 19- u (38 %);

2012-2013- 9- dan 3- ü (33 %).

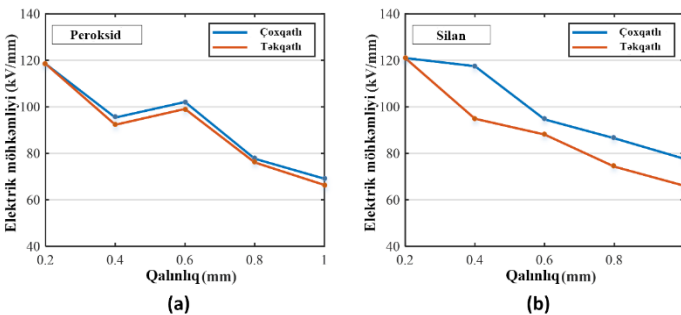
Disseratsiya işinin **dördüncü fəsildə**, TPE izolyasiyasının çoxfaktorlu yanaşmalar ilə xassələrinin tədqiqi aparılmışdır.

Dissertasiya işinin bu hissəsində silanlı və peroksidli tikilmiş polietilen izolyasiya növlərinin elektrik möhkəmliyinin təhlili bir sıra faktorların nəzərə alınması ilə aparılmışdır. Ədəbiyyatlarda müxtəlif izolyasiya növlərinin xüsusiyyətləri tədqiq edilsə də, TPE izolyasiyalı kompozit materialların elektrik möhkəmliyinin öyrənilməsi ilə bağlı kifayət qədər məlumat yoxdur. O cümlədən, qatlı struktura malik TPE izolyasiyanın iki fərqli kompozitinin elektrik möhkəmliyi sınaqları və onun xüsusiyyətlərinin tədqiqi ilə bağlı geniş tədqiqatlar çox məhdud çərçivədədir. Bundan əlavə, əldə edilmiş praktiki nəticələrin hərtərəfli və müqayisəli təhlili, eləcə də, sonlu elementlər metodu vasitəsilə onların ətraflı tədqiqi yoxdur. Təcrübələrin nəticələrin işlənməsində COMSOL proqramından istifadə etmək, alınmış məlumatlar haqda daha dolğun fikir söyləməyə imkan verir. Tədqiqat 500 V/san və 3000 V/san artım sürətləri ilə dəyişən cərəyan gərginliyi altında eyni qalınlıqda olan tək qatlı və çox qatlı nümunələrdən istifadə edilərək qatlı strukturlarda aparılmışdır (Qrafik 2 və 3). Təcrübələrdə nümunələrin elektrik möhkəmliyi IEC 60243-1 standartında göstəriləndiyi kimi dəşilmə gərginliyinin elektrodlar arasındakı məsafəyə (nümunənin qalınlığına) nisbəti kimi hesablanmışdır. Tədqiqatda məqsəd, iki fərqli gərginlik artım sürətinin yaratdığı

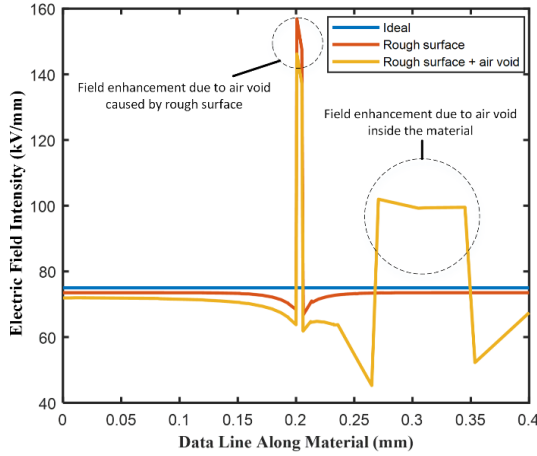
dəyişən yük davranışı altında materialın ölçülərinin, strukturunun və tərkibinin elektrik möhkəmliyinə təsirini araşdırmaq olmuşdur. Bundan əlavə, COMSOL Multiphysics® proqramında həyata keçirilən elektrik sahəsi tədqiqatlarında, izolyasiya materiallarının dielektrik xassələrinə təsir edən struktur amilləri təhlil edilmiş və sahə tədqiqatı ilə simulyasiya tədqiqatının uzlaşdırılması aparılmışdır (Qrafik 4.).



Qrafik 2. 500 V/s altında elektrik möhkəmliyinin izolyasiyanın qalınlığından və qatların sayından asılılığı: (a) peroksid (b) silan



Qrafik 3. 3000 V/s altında elektrik möhkəmliyinin izolyasiyanın qalınlığından və qatların sayından asılılığı: (a) peroksid (b) silan

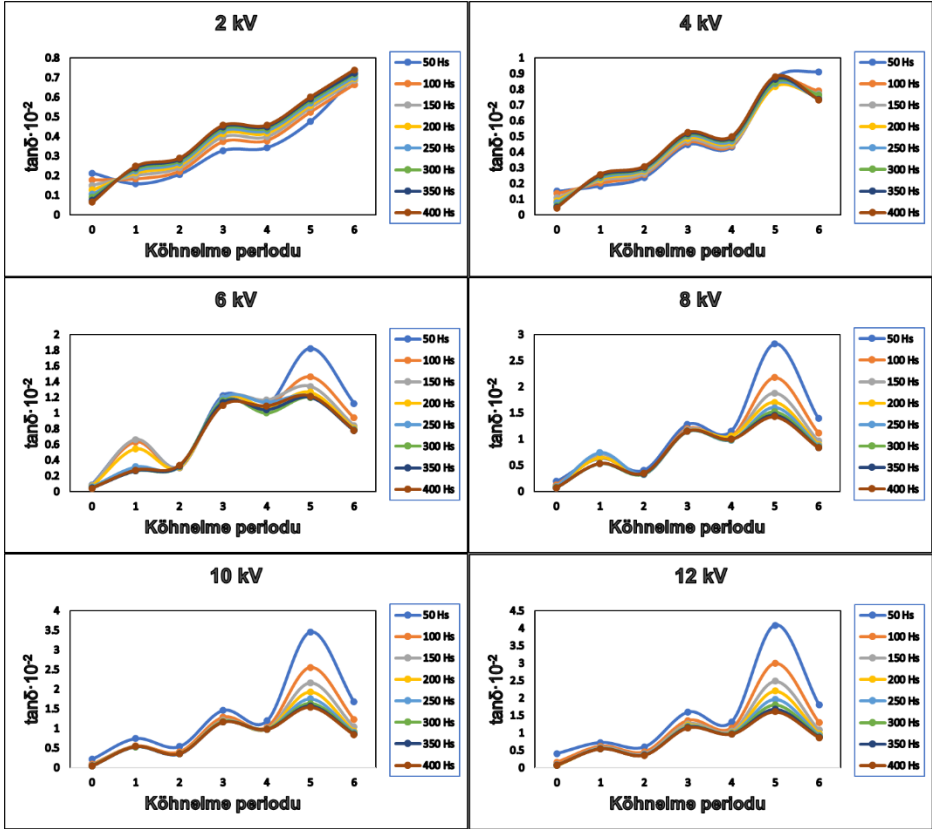


Qrafik 4. İdeal, nahamar səth və boşluq olan hallar üçün elektrik sahə intensivliyinin dəyişmə əyrisi

Alınmış nəticələrdə materialların strukturunun elektrik möhkəmliyə bilavasitə təsir göstərdiyi və çoxqatlı strukturlarda bu dielektrik xassəsinin artdığı müşahidə edildi. Eyni zamanda sınaqlar təkqatlı və çoxqatlı nümələrdə müxtəlif gərginlik artımlarının müqayisəli təhlili əsasında da aparılmışdır. Comsol proqramının nəticələri də alınmış sahə tədqiqat nəticələri ilə üst-üstə düşmüşdür.

TPE izolyasiya materiallarının dielektrik xassələrinin istilik köhnəlməsinin təsiri altında, müxtəlif tezlik və gərginlik diapazonlarında öyrənilməsi, onun istismar müddətində baş verə biləcək müxtəlif elektrofiziki proseslərə reaksiyasını müəyyən etmək və normal işinin təmin etmək baxımından çox mühüm məsələlərdən biridir. Dissertasiyada, hər periodu 75 saat olmaqla, 6 periodlu, 450 saatlıq istilik köhnəlməsi şəraitində, müxtəlif gərginlik və tezlik intervallarında üç fərqli TPE izolyasiya kompozit materiallarının dielektrik xassələri təyin edilmişdir. Burada yalnız peroksidli nümunə üzərində alınmış tgδ-nın müxtəlif gərginlik və tezliklərdə köhnəlmə müddətindən asılılıqları verilmişdir. Bununla yanaşı, dielektrik

itkilərinin və dielektrik nüfuzluğunun asılılıqları üç TPE kompozit materialı üçün dissertasiya işində geniş şəkildə verilmişdir. Qrafik 5-də isə yalnız bir material nümunəsi üçün alınmış əyrilər əks olunur.



Qrafik 5. Peroksidli tikilmiş polietilen nümunənin $\tan\delta$ -nın müxtəlif gərginlik və tezliklərdə köhnəlmə müddətindən asılılıqları

Aparılmış tədqiqatda, hər üç material üçün termal köhnəlmə periodu artıqca dielektrik itki bucağının və dielektrik itkilərinin qiymətlərinin artdığı görünür. Hər üç kompozit polietilen əsaslı material olduğundan, yəni, qeyri-polyar molekulaya sahib material

hesab edildiyindən, dielektrik nüfuzluqlarının qiymətlərində ciddi dəyişikliklər müşahidə olunmamışdır. Bütün bunların səbəbləri, baş verən proseslərin mexanizmləri dissertasiya işidə izah edilmişdir.

Köhnəlmənin izolyasiya nümunələrinə təsirinin müxtəlif faktorlar nəzərə alınmaqla tədqiqinin nəticələri ilə yanaşı, dielektrik parametrlərinin izolyasiyanın mühüm göstəriciləri olması nəzərə alınaraq, həmçinin 25 Hs ilə 1MHs tezlik və 20-120 °C temperatur intervalında iki fərqli izolyasiya materialının uyğun olaraq, peroksid və silan əlavə edilmiş TPE izolyasiyalı kompozit materialların dielektrik parametrləri (ϵ' , ϵ'' və $\tan\delta$) tədqiq edilmişdir.

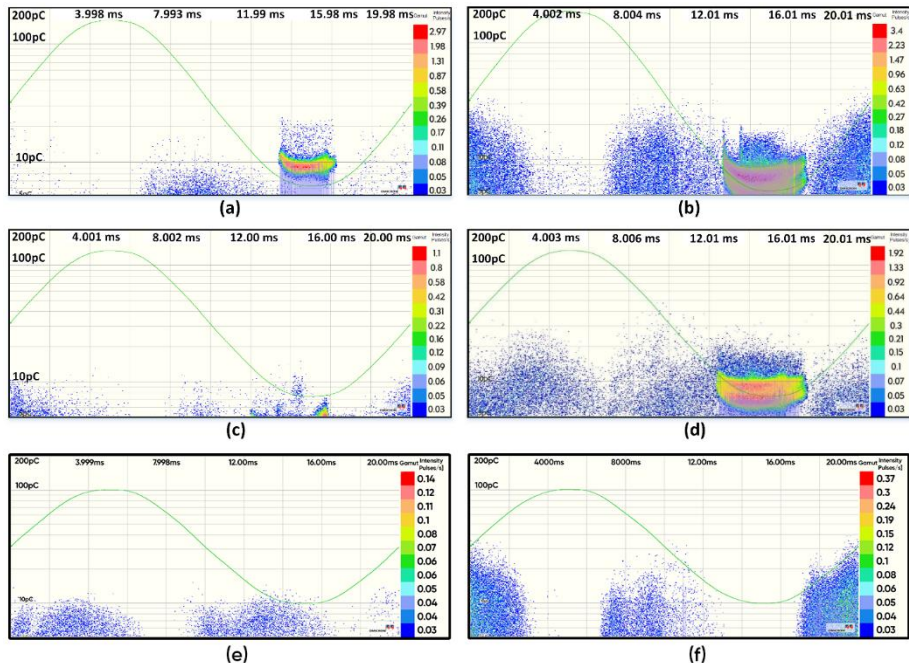
Dielektriklərin, o cümlədən, tikilmiş polietilen əsaslı izolyasiya sisteminin elektrik xassələrinin korlanmasının əsas səbəblərindən biri, xassələri bir -birindən kəskin fərqlənən dielektrik strukturunda baş verən elektrik boşalmaları ilə şərtlənir. Buna görə də, elektrik boşalmalarının təsirindən dielektriklərin xassələrinin dəyişməsinin və dielektrikin özünün elektrofiziki xassələrinin elektrik boşalma prosesinin mexanizminə təsirinin tədqiqi aktual məsələdir. Boşalmaların mikrostrukturu və yaranma mexanizmi haqda məlumatlar, eləcə də, həm qaz oblastında, həm də, dielektrikin səthi ilə mikroboşalmaların toxunduğu yerlərdə fiziki- kimyəvi hadisələrin təbiəti haqda məlumatların olması, elektrik boşalmaları şəraitində işləyən elektrik izolyasiya sistemlərinin dayanıqlığı haqda daha dolğun fikir yürütməyə imkan verir.

Simulyasiya metodundan istifadə edərək izolyasiya sistemində müxtəlif ölçülü boşluqlarda boşalmaların müxtəlif xarakteristikaları (cərəyan impulsları və gərginlik, voltların xarakteristikaları) və optik təsviri alınmışdır.

Buna görə də kablələrdə qismi boşalmaların qeydiyyatı və onun təhlilinə böyük diqqət yetirilir. Qismi boşalma ölçmələri qeyridağıdıcı ölçmələrdən hesab olunur. İzolyasiya materialının vəziyyətinin qiymətləndirilməsi üçün çox faydalı məlumatlar verir. Buna görə də bu ölçmələrin vaxtaşırı aparılması vacibdir.

Dissertasiyada QB-ların üç fərqli materialda təsiri öyrənilmiş və istilik köhnəlməsinin QB səviyyəsinə təsiri araşdırılmışdır (Qrafik 6). Alınan nəticələrdə qismi boşalmaların başlanğıc gərginliyinin və

səviyyəsinin temperaturun təsirindən yüksəlidiyi məlum olmuşdur və peroksidli nümunələrdə bu artım daha yuxarı olmuşdur.



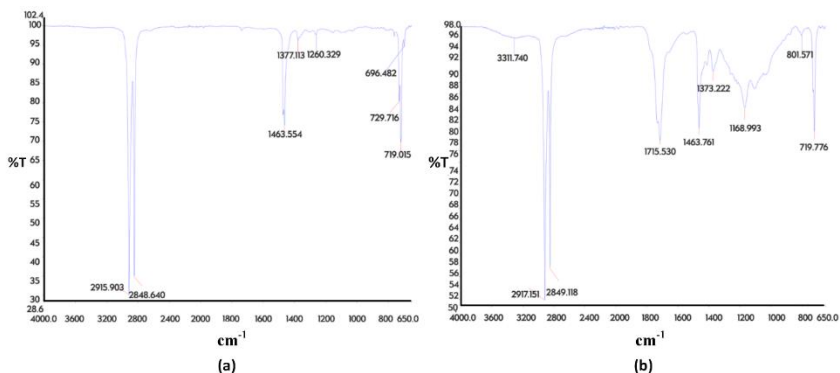
Qrafik 6. QB xüsusiyyətləri peroksidli TPE (a) köhnəlmədən əvvəl (b) köhnəlmədən sonra; silanlı TPE (c) köhnəlmədən əvvəl (d) köhnəlmədən sonra; işığadavamlı TPE (e) köhnəlmədən əvvəl (f) köhnəlmədən sonra

Qeyd olunan kompozit nümunələrin istilik köhnəlməsindən sonra struktur dəyişiklərinin öyrənilməsi məqsədilə müxtəlif müasir texnikalar ilə sınaqlar aparılmışdır.

- Furiye transformasiyalı infraqırmızı spektroskopiya metodu (FTİQ) (Qrafik 7);
- X-şüalarının difraksiyası (XŞD) (Qrafik 8);
- Ultrabənövşəyi-görünən işıq spektroskopiyası (UB/G) (Qrafik 9);

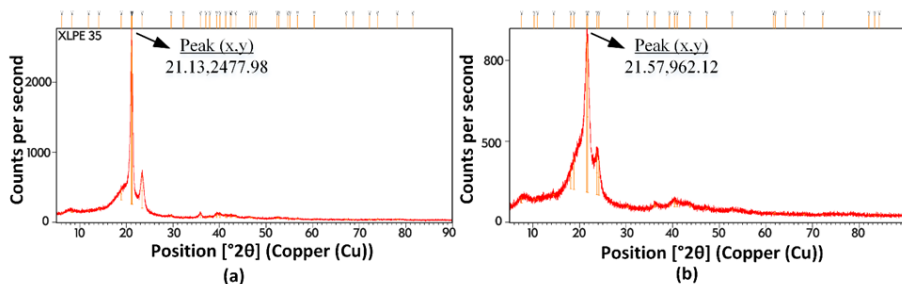
➤ Skanediçi elektron mikroskop (SEM) (Şəkil 9).
Sınaqlardan alınmış nəticələrin təsvirlərinin bəziləri aşağıda qeyd olunur.

FTİQ:



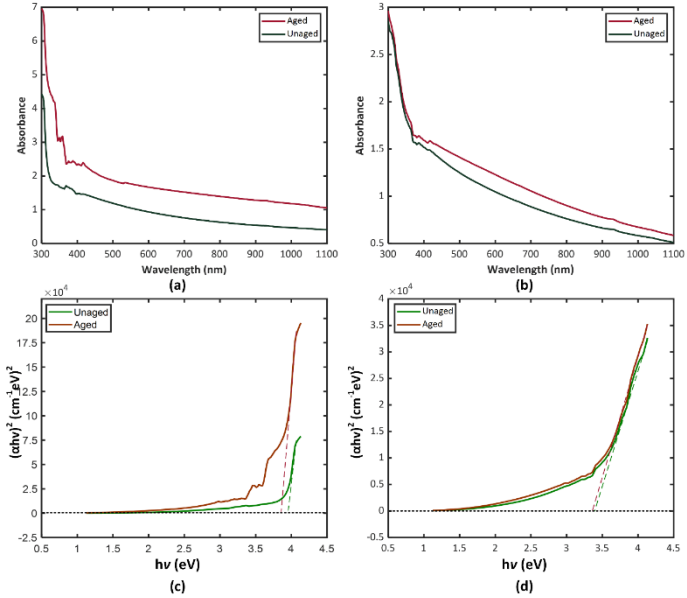
Qrafik 7. Nümunələrin FTİQ spektri (a) peroksidli TPE – köhnəlmədən əvvəl (b) peroksidli TPE - köhnəlmədən sonra;

XŞD:



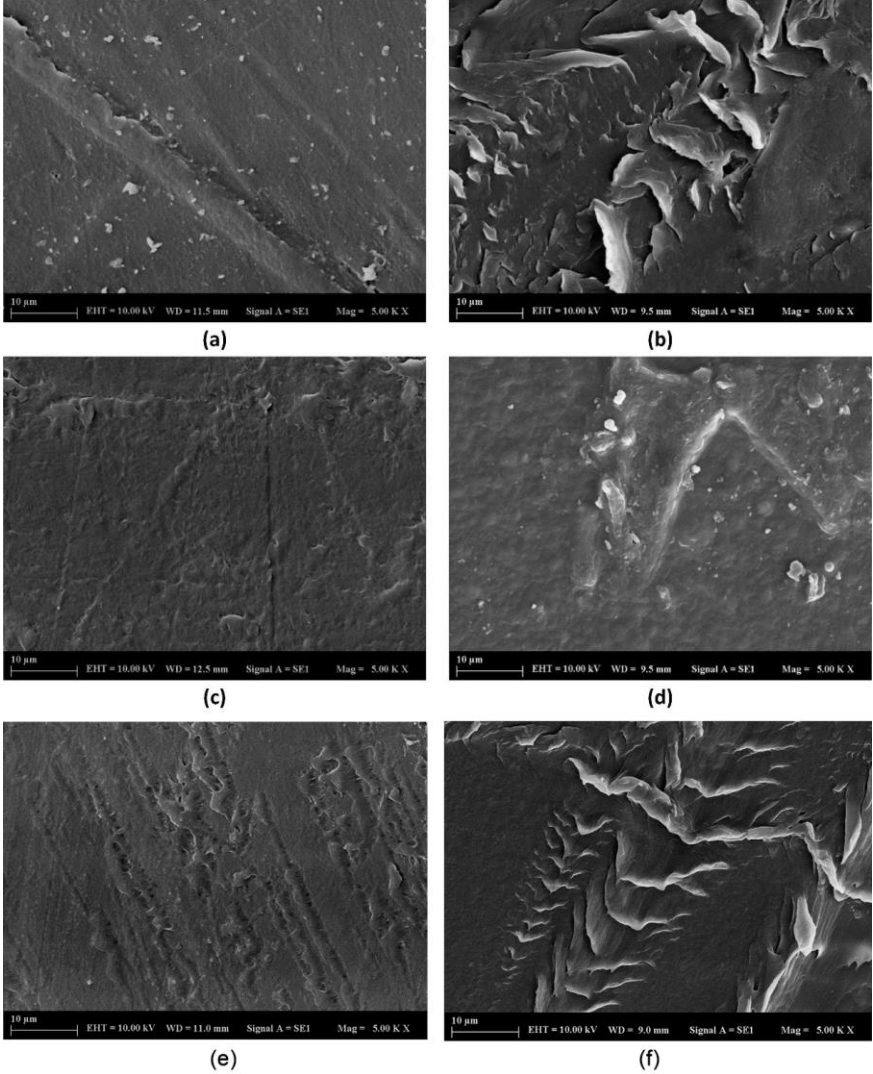
Qrafik 8. XŞD spektri peroksidli TPE (a) köhnəlmədən əvvəl (b) köhnəlmədən sonra

UB/G:



Qrafik 9. UB/G qrafikləri: (a) Peroksid əlavə edilmiş nümunələrin udma spektrləri; (b) Silan əlavə edilmiş nümunələrin udma spektrləri; (c) peroksid əlavə edilmiş nümunələrin zolaq boşluğunun enerjisi; (d) silan əlavə edilmiş nümunələrin zolaq boşluğunun enerjisi

SEM:



Şəkil 9. SEM təsvirləri peroksidli TPE (a) köhnəlmədən əvvəl (b) köhnəlmədən sonra; silanlı TPE (c) köhnəlmədən əvvəl (d) köhnəlmədən sonra; işıqədavamlı TPE (e) köhnəlmədən əvvəl (f) köhnəlmədən sonra

DİSSERTASIYA İŞİNİN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİ

1. Dissertasiyanın ilk fəsilində əldə olunan mühüm nəticələrdən biri ondan ibarətdir ki, TPE izolyasiyalı kabel ən kütləvi istismar olunan kabel ünvanına malik olsada, həmin kabellərin fəaliyyətinə təsir göstərən faktorların təsir dərəcəsinin həddi, kompleks qiymətləndirmə mexanizmləri, vahid konspektiv təhlilləri mövcud deyildir. Bu isə onların yaşam müddətinin proqnozlaşdırılması, baş verə biləcək qəza hallarının qarşısının alınması, cari vəziyyətinin qiymətləndirilməsində profloktik tədbirlərin icrası zamanı ciddi problemlər doğurur.
2. Qeyd olunduğu kimi, ən mühüm məsələ kabel sıradan çıxmasına gətirib çıxaran proseslərin sistemativ şəkildə müəyyənləşdirilməsi və bunun üzərində mövcud həllərin tətbiq edilməsidir. Bunu nəzərə alaraq, kabeldə mərhələli şəkildə, mövcud ola biləcək zədələrin, qeyri-homogen oblastların yaranmasından, kabelin imtinasında oynadığı son mövqeyinə qədər və yaratdığı yan təsirlərinin ümumi sxematik qruplaşdırılması aparılmışdır.
3. TPE izolyasiya kabellərdə defektlərin yaratdığı ən mühüm imtina mexanizmlərindən biri olan qismi boşalmaların təhlili kabelin vəziyyəti haqda dolğun fikir formalaşdırın məsələ olduğundan, tədqiqat işində QB-ların yaranma, inkişaf prosesləri detallı şəkildə tədqiq edilmişdir. Mövcud problemin təsirinin əyani əsaslandırılması baxımından praktik nəticələr ilə simulyativ modellər üzərində mikroboşalmaların təsiri müxtəlif ölçülü defektlərdə araşdırılmışdır və mühüm nəticələr əldə edilmişdir.
4. Zədələrin mövcud olduğu bölgələrdə elektrik sahə intensivliyinin lokal böyüməsi və nəmliyin təsiri ilə bərabər su və elektrik triinqlərinin formalaşması kabelin sıradan çıxaran faktor kimi ələ alınaraq, Comsol Multiphysics programında elektrik sahə intensivliyinin və potensialın paylanma əyriləri qurulmuş və zədələrin müxtəlifliyi əsasında ehtimal bir neçə ssenarilər arasında müqayisələr aparılmışdır. O cümlədən, yaranmış su triinqlərində cərəyan sıxlığının paylanmasının müəyyən edilməsi kabelin qeyd olunan aspektdən dəyərləndirilməsi daha effektiv nəticələrin alınmasına səbəb olmuşdur.

5. Kabelin ən həssas elementi onun izolyasiya sistemi olduğundan istismar zamanı izolyasiyaya müxtəlif faktorların təsiri genişspektrdə öyrənilmişdir.

6. Qeyd olunduğu kimi, izolyasiya orta, yüksək və ifratyüksək gərginlikli kabellərin ən həssas elementi olduğundan, orada baş verən müxtəlif təbiətli elektrofiziki və elektrotermiki proseslərin analiz edilməsi çox mühüm məsələlərdəndir. Bu məqsədlə, TPE kompozit materiallarından alınmış nümunələrdə çox istiqamətli sınaqlar aparılmış və baş verən proseslərin dərin təhlili nəticəsində məlum olmuşdur ki, izolyasiya materialının bir sıra xüsusiyyətləri bu faktorların təsirindən asılı olaraq dəyişmişdir.

6. İzolyasiya materialının mühüm xassəsi onun tətbiq olunan gərginliyə davam gətirməsidir. Bu məqsədlə tədqiqatda iki fərqli gərginlik artım səviyyələrində, təkqatlı və çoxqatlı, peroksidli və silanlı TPE kompozitlərdən alınmış izolyasiya strukturlarının müqayisəli sınaqları həyata keçirilmişdir. Buradan bir neçə mühüm elmi nəticələr əldə olunmuşdur.

7. İstismar zamanı izolyasiya materiallarının üzləşdiyi ən ciddi problemlərdən birinin temperaturun təsirindən xassələrinin dəyişdiyi olduğunu nəzərə alaraq, izolyasiyanın vəziyyətini qiymətləndirməyə imkan verən ən vacib dielektrik parametrlərinin ölçümü məhz istilik köhnəlməsinin təsiri altında aparılmışdır. Məlum olmuşdur ki, istilik köhnəlməsi kabel izolyasiyasının dielektrik xassələrinin dəyişməsində bilavasitə təsir göstərir. Alınan nəticələrin ən mühüm tərəflərindən biri, müxtəlif TPE kompozitlərin istiliyə dayanıqlıq halının müəyyənləşdirilməsi ilə onun dielektrik parametrlərinin dəyişməsi əlaqələndirilmişdir.

8. İstismar zamanı izolyasiya materiallarının müxtəlif geniş oblastda tezlik və temperatur təsirinə məruz qaldıqları və praktik olaraq, bunun izolyasiyasının yaşam müddətinə təsir etdiyi məlumdur. Bu amili nəzərə alaraq, müxtəlif TPE izolyasiya materiallarının tezlik və temperatur dispersiya tədqiq edilmişdir.

9. İzolyasiya nümunələrində istilik köhnəlməsinin təsiri ilə materialın degradasiyasına səbəb olan qismi boşalmaların intensivliyinin fluktasiyasının təsiri öyrənilmiş və əldə olunan nəticələrdə qismi

boşalamaların termal köhnəlmənin təsirindən yaratdığı imtina mexanizmləri müəyyən edilmişdir. Əldə olunan nəticələr kabel materiallarının istismar göstəricilərinə birbaşa təsir edir və praktik yükü olan məsələlərdəndir.

10. İstilik köhnəlməsin izolyasiya materiallarına təsirinin ən əsas göstəricilərindən biri, materialda struktur dəyişikliklərinə səbəbiyyət verməsidir. İstilik köhnəlməsinin təsiri altında qismi boşalma sınaqlarından alınan nəticələr materialda mövcud struktur dəyişikliklərinin olduğunun təsdiq etmişdir və bu məqsədlə materiallarda baş verən bu modifikasiyaların detallı öyrənilməsi məqsədilə struktur analiz texnikalarından istifadə olunmuşdur. İstilik köhnəlməsinin təsirinin tədqiqi ən müasir ölçü cihazları istifadə edilməklə, FTİQ, XŞD, UB/G və SEM metodikaları tətbiq edilməklə, həyata keçirilmişdir. Əldə olunan nəticələr ilə istilik köhnəlməsi, qismi boşalmalar və morfoloji təhlil arasında mövcud rabitənin elmi-tədqiqi əsaslandırılması aparılmışdır.

Dissertasiya işinin mövzusunə dair dərc olunmuş elmi əsərlərin siyahısı

1. X.C.Алиев, А.О.Оруджев, М. А. Джамалов. Некоторые вопросы старения кабелей с полимерной изоляцией. Збірник наукових праць “Велес” За матеріалами III міжнародної конференції “Зимові наукові читання” 1 частина м.Київ 31 січня 2018 .

2. A.O.Orucov H.S.Əliyev, M.Ə.Camalov. Kabel izolyasiyasının köhnəlmə prosesinə qismi boşalmaların təsirinin təhlili. Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin 100 illik yubileyinə həsr olunmuş” Təhsil – tədqiqat- istehsalat mexanizminin qurulması” mövzusunda keçirilən Respublika Elmi – texniki konfransı. Azərbaycan Texniki Universiteti 4-5 aprel 2018.

3. A.O.Orucov H.S.Əliyev, M.Ə.Camalov. Tikilmiş polietilen izolyasiyalı kabellərin istismar müddətinin proqnozlaşdırılması və

istismar xarakteristikalarının yaxşılaşdırılması üsulları Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin 100 illik yubileyinə həsr olunmuş “Tətbiqi fizika və energetikanın aktual məsələləri” Beynəlxalq elmi konfransı 24-25 may 2018. Sumqayıt Dövlət Universiteti

4. A.M.Həşimov A.O.Orucov M.Ə.Camalov. İstehsal prosesində kabellərin polimer izolyasiyasında yaranan defektlər “Azərbaycan və Türkiyə Universitetləri: təhsil, elm, texnologiya” I Beynəlxalq elmi-praktiki konfrans Azərbaycan Texniki Universiteti 18-20 dekabr 2019.

5 . M.A.Jamalov. Frequency dispersion of dielectric properties of cable polymer insulation composites. Machine-building and Energy: New Concepts and Technologies” International Scientific-practical Conference materials, December 2-3, 2021, AzTU, Baku, Azerbaijan.

6. B.M. Sadıqlı, M.A.Jamalov.Accounting the parameters of the electrostatic corona model to specify the calculation of power transmission lines Machine-building and Energy: New Concepts and Technologies” International Scientific-practical Conference materials, December 2-3, 2021, AzTU, Baku, Azerbaijan.

7. M.Ə.Camalov .Kabel polimer izolyasiya kompozitlərinin dielektrik xassələrinin tezlik və temperatur dispersiyası AzTU Elmi əsərlər – Ученые записки – Scientific works, №1, 2021 ISSN 1815-1779.

8. A.M.Hashimov A.O.Orujov, M.A.Jamalov. Some theoretical issues of formation and development of gas voids in cross-linked polyethylene insulation. AJP FIZIKA 2022 volume XXVIII № 3, section En.

9. A.M. Həşimov, A.O. Orucov, M.Ə. Camalov. Termal köhnəlmənin tikilmiş politilen izolyasiyasıyanın dielektrik xassələrinə təsiri. “Elektroenergetikanın müasir problemləri və inkişaf perspektivləri” Beynəlxalq elmi-texniki konfransının məruzə materialları. (17-18 noyabr 2022, ADDA, Bakı, Azərbaycan)

10. A.M. Həşimov, A.O. Orucov, K.B. Qurbanov, M.Ə. Camalov. Gərginliyin və temperaturun birgə təsirindən polietilen kompozitin dielektrik xassələrinin öyrənilməsi. Energetikanın problemləri № 1, 2023.

11. Mehti Camalov, Allahverdi Orucov, Arif Hashimov, Oktay Arikan, Firat Akin, “Breakdown strength analysis of XLPE insulation types: A comparative study for multi-layer structure and voltage rise rate,” Electric Power Systems Research, Volume 223, 2023, 109703, ISSN 0378-7796, <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109703>.

12. Arif Hashimov, Allahverdi Orujov, Mehti Jamalov. Analysis of structural changes and dielectric properties under thermal aging of cross-linked polyethylene used as power cables insulation. Energy Sustainability: Risks and Decision-Making Vol. 1 No. 2 (2023). <https://doi.org/10.61413/IVLN4952>

13. Camalov Mehti, Elmir Bagirli, and Khikmat Aliyev (2024). Investigation of Dielectric Properties and Structural Changes in XLPE Composite Insulation of Covered Conductor due to Thermal Aging. In Materials Science Forum (Vol. 1119, pp. 13–24). Trans Tech Publications, Ltd. <https://doi.org/10.4028/p-8vtimz>

14. Camalov, M., Akin, F., Hashimov, A. et al. The Degradation Analysis of XLPE Materials Under Thermal Aging: A Comprehensive Study Through Partial Discharge Measurements and Structural Characterization Techniques. Trans. Electr. Electron. Mater. (2024). <https://doi.org/10.1007/s42341-024-00533-4>

15. Camalov M.A., Orucov A.O., Aliyev H.S., Bagirli E.F., Assessing dielectric property variations in XLPE insulated composite materials under different voltage and frequency. VI international scientific and practical conference «Energy- and resource saving technologies: experience and prospects». Kyzylorda – 2024, p. 119-129

Həmmüəlliflərlə birgə işlərdə iddiaçının şəxsi fəaliyyəti

[5, 7]- müəllif tərəfindən müstəqil yerinə yetirilmişdir. [1,2,3,4,6,8,9,10,11,12,13,14,15]– məsələnin qoyuluşu, tədqiqat, təhlil və nəticələrin emalı üzrə aparılan işlərin əsas həmmüəllifi olmuşdur.

Dissertasiyanın müdafiəsi **xx.xx.xxxx**-ci il tarixində saat 15.00-da Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.04 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Bakı şəhəri, Hüseyn Cavid prospekti, 25

Dissertasiya işi ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Avtoreferatın elektron versiyası Azərbaycan Texniki Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat **xx.xx.xxxx**-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: xx.xx.xxxx-cü il
Kağızın formatı: A5
Həcm: xxxxx
Tiraj: 100