

POLİMERLƏRİN ELEKTRİK DAĞILMA KİNETİKASINDA YIĞILMA PROSESLƏRİ

V.H. HƏSƏNOV, İ.K. ƏLİYEV, X.M. ƏLİYEV

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası

Az.1000, Bakı ş, Z.Əliyeva küç., 18.

iradealiyevakerim@gmail.com

Aşağı temperaturda sabit elektrik sahəsində polimerlərindeşilməsinin gözənilmə zamanına (yaşama müddəti τ_E) görə paylanması ölçülmüşdür. Elektrik sahəsinin fasiləsiz və $lg\tau_E$ orta qiymətinə bərabər müddətdədeşilməmiş qalan nümunələrdə, sahənin fasiləli təsirdən alınan təcrübi nəticələr müqayisə edilmişdir. Regenerasiya dərəcəsinə görə,deşilməyə aparan polimerdə yığılmış yüklərin relaksasiya zamanı (τ_r) təyin edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki,deşilməyə aparan yığılan yüklərin sorulma prosesi istilikflukuasiya xarakterlidir bu prosesin aktivasiya enerjisi, əks qütblü elektrik sahə intensivliyinin qiymətindən asılıdır.

Açar sözləri: polimer, elektrik dağılma kinetikası, elektrik yaşama müddəti, yığılma prosesləri.

UOT: 541.64:539.3:537

GİRİŞ

Polimer dielektriklərin elektrikdeşilməsi qanunauyğunluğunun tədqiqatı göstərdi ki, polimerlərin dağılması yalnızdeşilmə gərginliyinin müəyyən qiymətinə çatanda baş verən kritik akt deyildir, bu həmçinin, nisbətən az gərginliklərdə belə zamanla keçən vədeşilmə ilə nəticələnən prosesdir [1-3]. Regenerasiya effektivindən alınən nəticə, polimerlərin elektrik dağılmasını injeksiya nəticəsində elektroddan elektronların onlara daxil olması və zaman keçdikcə həcmi yüklərin yığılması ilə əlaqədar olduğunu göstərdi [4-6]. Müəyyən edilmişdir ki, bu yüklərin miqdarı kritik qiymətə çatanda polimer nümunəsinin dağılması baş verir [1-7]. Ona görə də, polimerlərin elektrik dağılma mexanizminin öyrənilməsinə, bu aspektəən yanaşmaq daha məqsəduyğundur.

MƏQSƏD

İşdə məqsəd polimerlərin aşağı temperaturda elektrik dağılmasına hazırlığın yığılma xarakterli olmasının əsaslandırılması və bu yığılma prosesinin ətraflı araşdırılmasıdır.

Bununla əlaqədar olaraq, sabit elektrik sahəsinin fasiləsiz və fasiləli təsiri hallarında polimer nümunələrin elektrik yaşama müddətinin ölçülməsi aparılmışdır. Fasilə müddətində nümunələr müxtəlif temperaturlarda saxlanılmış və əks qütblü elektrik sahə intensivliyinin (əks sahə E_{as}) müxtəlif qiymətlərinin təsirinə məruz qalmış, həmçinin, fasilə müddəti də dəyişdirilmişdir.

OBJEKT VƏ TƏDQIQATIN METODİKASI

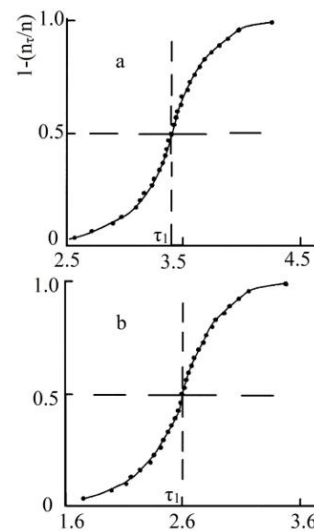
Tədqiqat obyektini olaraq polietilen (PE) və politetraforetilen (PTFE) plyonkalarından istifadə edilmişdir. Plyonkaların qalınlığı $d=30-50\mu\text{m}$ olmuşdur.

Bütün ölçmələr sabit elektrik sahəsində aparılmışdır. Polimer nümunələrə təsir edən elektrik sahə intensivliyi $E=U/d$ şəklində təyin edilmişdir. U – tətbiq olunan gərginlikdir. Müştəvi – müştəvi şəklində sıxılan

elektrodlar sistemindən istifadə edilmişdir. Polimerlərin elektrik yaşama müddətinin (τ_E) öyrənilməsində xətlər böyük olduğu üçün bu işdə τ_E ölçülməsi 30 nümunə seriyasında aparılmış və nümunələrin τ_E görə paylanma funksiyaları analiz edilmişdir.

TƏCRÜBİ NƏTİCƏLƏR.

Şəkil 1a və b-də PE və PTFE nümunələrinin, uyğun olaraq sabit elektrik sahə intensivliyinin $E=0.58\text{QV/m}$ və $E=0.46\text{QV/m}$ qiymətlərində $lg\tau_E$ görə inteqral funksiya paylanması göstərilmişdir. Ordinat oxunda $1-n_r/n$ funksiyası qeyd olunmuşdur, n -seriyadakı nümunələrin tam sayıdır; n_r -isə τ müddətində elektrik sahəsində saxlanılmadan sonradeşilməmiş qalan nümunələrin sayıdır. Göründüyü kimi, bu funksiyanın qrafiki paylanmanın effektiv eni $\Delta lg\tau \approx 1$ olan S-şəkili formasındadır. Paylanmanın eni, nümunələrin quruluşu və ondakı defektlərdən, həmçinin müxtəlif qalınlığa malik olması və s. ilə əlaqədardır.



Şəkil 1. Sabit elektrik sahəsində nümunələrin elektrik yaşama müddətinə görə inteqral paylanması:
a – PE, 30 nümunə, $T=120\text{K}$, $E=0.58\text{QV/m}$;
b – PTFE, 30 nümunə, $T=100\text{K}$, $E=0.46\text{QV/m}$.

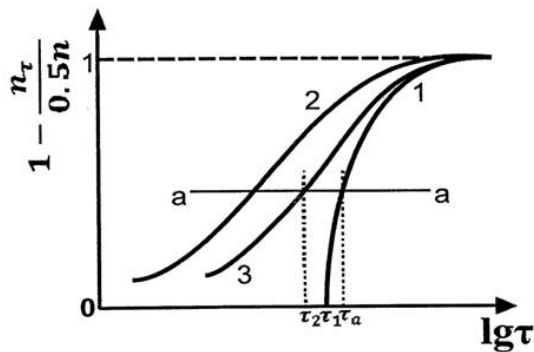
Şəkil 1-dən deşilmiş nümunələrin ümumi sayının yarısına bərabər olan τ_1 qiyməti təyin edilmişdir. Bundan sonra həmin nümunələrdən yeni seriya nümunələr götürülmüş və həmin gərginlikdə, τ_1 müddətdə saxlanılmışdır. Nəticədə, nümunələrin yarısı deşilməmiş qalmışdır və bu nümunələr üzərində sonrakı əməliyyatlar aparılmışdır.

NƏTİCƏLƏRİN ANALİZİ VƏ MÜZAKİRƏSİ

Aparılacaq əməliyyatın ideya və analizi şəkil 2-də sxematik olaraq izah edilir. Burada 1-əyrisi şəkil 1-də göstərilmiş inteqral paylanmasının yuxarı hissəsinə uyğundur, yəni şəkil 1-də 0.5-dən sonra və deşilməmiş qalan nümunələrin tam sayına (ordinatla $1-n_r/0.5n$) uyğunlaşdırılmışdır.

Əgər qəbul etsək ki, gərginlik altında τ_1 müddətində saxlanılmış nümunələrdə heç bir dəyişiklik (məsələn, "köhnəlmə") baş verməyib və ya gərginliyi söndürüldükdən sonra yığılmış yüklər ani olaraq sorulublar (tam regenerasiya), onda ikinci dəfə həmin qütb və qiymətdə gərginliyi qoşduqda, bu nümunələrin ikinci yaşama müddətinə görə paylanması şəkil 2-dəki 1 əyrisinə uyğun gələcəkdir. Əgər τ_1 müddətində sahə ilə təsirdən sonra gərginliyi söndürülsə və bu halda yığılan yüklər tam saxlanarsa, onda nümunələrin ikinci yaşama müddətinə görə paylanması 1 əyrisindəki $lg\tau$ -nın qiymətlərindən $lg(\tau - \tau_1)$ qiymətlərinə keçərək şəkil 2-dəki 2 əyrisinə uyğun gələcək, yəni yaşama müddətinin kiçik qiymətlərinə tərəf (xüsusilə də paylanmanın aşağı hissəsində) sürüşəcəkdir.

Nəhayət, gərginliyi söndürüb yenidən təkrar qoşduqda, fasilə arasında nümunələrdə yığılan yüklər qismən regenerasiya olunurlarsa, onda nümunələrin ikinci yaşama müddətinə görə paylanması 1 və 2 əyrləri arasından keçəcək və 3 əyrisinə uyğun olacaqdır. Bu halda, relaksasiya müddətini (τ_r), yəni yığılan yüklərin sorulmasının effektiv müddətinin qiymətləndirilməsi mümkün olmuşdur.



Şəkil 2. Nümunələrin elektrik yaşama müddətinə görə paylanma sxemi:
1-zamanın τ_1 müddətindən sonra sahənin təsirdən deşilməmiş qalanlar;
2-həmin paylanma $lg(\tau - \tau_1)$ görə - ikinci yaşama müddətinə görə;
3-qismən regenerasiya olunmuş həmin nümunələrin, ikinci yaşama müddətinə görə paylanması.

Bu qiymətləndirmə üçün düstur almaq məqsədilə şəkil 2-də ixtiyari a-a xətti ayaraq. Bu xətti qrafikin

aşağı hissəsində (1 və 2 əyrlərinin bir-birindən aralanması nisbətən çox olan hissədə) götürmək daha məqsədəuyğundur. Qəbul edək ki, nümunənin deşilməsi üçün müəyyən sayda yüklərin (N_d) yığılması tələb olunur. Onda ayrılan xətdə onların yığılmasının orta sürəti

$$\dot{N}_y = \frac{N_d}{\tau_a}, \quad (1)$$

$\tau_a - (a-a)$ səviyyəsinə uyğun yaşama müddətidir.

Gərginliyin birinci təsiri zamanı τ_1 müddətində yığılan yüklər

$$\Delta N_1 = \dot{N}_y \cdot \tau_1 = \frac{N_d}{\tau_a} \cdot \tau_1. \quad (2)$$

Gərginlik söndürüldükdən sonra yığılan yüklərin orta relaksasiya sürəti

$$\dot{N}_r = \frac{\Delta N_1}{\tau_r} = N_d \cdot \frac{\tau_1}{\tau_a \cdot \tau_r}. \quad (3)$$

Fasilə zamanı (τ_f), yəni gərginlik söndürüldüyü andan təkrar verilən ana qədər regenerasiya olunan yüklər

$$\Delta N_r = \dot{N}_r \cdot \tau_f = N_d \cdot \frac{\tau_1 \cdot \tau_f}{\tau_a \cdot \tau_r}. \quad (4)$$

Onda təkrar (ikinci dəfə) sahə verildikdə elektrik deşilməsi üçün tələb olunan yüklərin yığılması τ_2 müddətində baş verəcəkdir (τ_2 -ikinci yaşama müddətidir)

$$\Delta N_2 = N_d - N_d \cdot \frac{\tau_1}{\tau_a} + N_d \cdot \frac{\tau_1 \cdot \tau_f}{\tau_a \cdot \tau_r},$$

İkinci yaşama müddəti aşağıdakı kimi təyin edilir

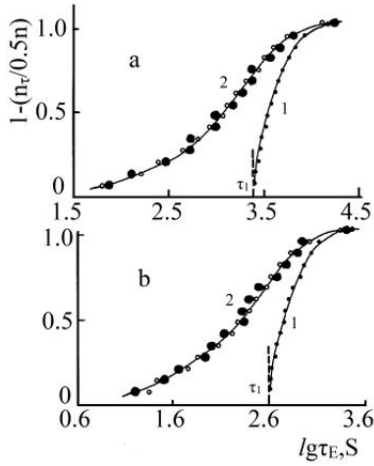
$$\tau_2 = \frac{\Delta N_2}{\dot{N}_r} = \tau_a - \tau_1 + \frac{\tau_1 \cdot \tau_f}{\tau_r}. \quad (6)$$

(6) ifadəsindən alınır ki

$$\tau_r = \frac{\tau_1 \cdot \tau_f}{\tau_1 + \tau_2 - \tau_a}. \quad (7)$$

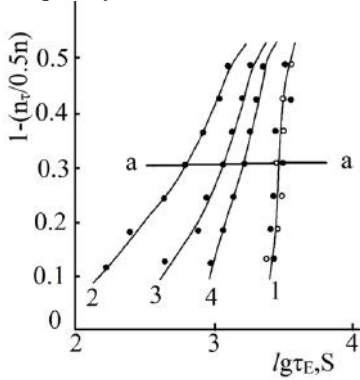
Nəhayət, τ_r təyin etmək üçün düstur alındı. Bu düsturdakı bütün kəmiyyətlər (τ_1 , τ_2 , τ_a , τ_f) ölçülə və verilə bilər. PE və PTFE nümunələrində alınmış təcrübə nəticələrinə nəzər salaq.

Şəkil 3. a və b-də 1 əyrilə gərginliyin fasiləsiz təsir etdiyi və elektrik yaşama müddətinin (τ_E) PE üçün 2520 s-dən, PTFE üçün 400 s-dən çox olan halları, yəni uyğun olaraq, şəkil 1a və b-də verilmiş inteqral paylanmasının yuxarı hissəsi göstərilmişdir. 1 əyrisi nöqtələrinin, $lg(\tau - \tau_1)$ koordinata keçidinin nəticələri qara iri nöqtələrlə 2 əyrisində göstərilmişdir. 2 əyrisində ağ nöqtələrlə isə ikinci yaşama müddəti (τ_2), yəni nümunələrə τ_1 müddəti ərzində gərginlik təsir etdikdən sonra fasilə verilmiş və fasilə vaxtı (həm PE üçün, həm də PTFE üçün 10^3 s) qurtardıqdan sonra təkrar həmin qütblü gərginlik tətbiq olunmuşdur və deşilməyə qədər gözlənilmədən alınan təcrübə nəticələri verilmişdir.



Şəkil 3. Nümunələrin elektrik yaşama müddətinə görə integral paylanması: a-PE, $T=120K$, $E=0.58QV/m$; b-PTFE, $T=100K$, $E=0.46QV/m$. 1- τ_1 müddətində sahənin təsirindən sonra deşilməmiş qalanlar; 2 - qara iri nöqtələr - həmin nümunələrin $lg(\tau-\tau_1)$ görə paylanması; ağ nöqtələr - 120K temperaturda PE, 100K temperaturda PTFE 10^3s müddətində “fasilədən” sonra nümunələrin ikinci yaşama müddətinə görə paylanmasıdır.

2 əyrisində qara və ağ nöqtələrin bir-birinə yaxın olmaları göstərir ki, gərginliyin birinci təsiri zamanı (τ_1) nümunələrdə yüklər yığılır, fasilə vaxtı temperatur dəyişmirsə və ya əks qütblü elektrik sahə intensivliyi ($E_{\partial s}$) tətbiq olunmursa, onda onlar saxlanılır və nəticədə τ_2 azalır. Şəkil 4-dən görünür ki, yığılan bu yükləri praktiki olaraq tam yox etmək olar.

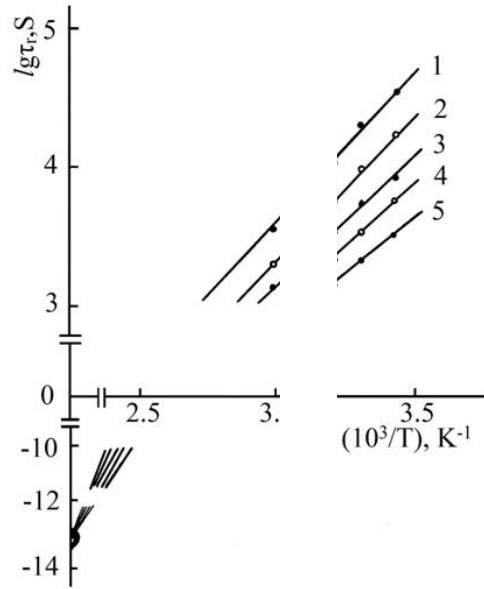


Şəkil 4. PE Nümunəsinin elektrik yaşama müddətinə görə integral paylanmasının fraqmenti, $T=120K$, $E=0.58QV/m$. 1-qara nöqtələr- $\tau_1=2520s$ sonra deşilməmiş qalanlar, ağ nöqtələr-əks sahənin təsiri ilə regenerasiya olunmuşlar. $0.58QV/m$, 10^3 , $333K$ (əks sahə ilə tam regenerasiya); 2-“fasilə” zamanı regenerasiyaya məruz qalmayanlar; 3-qızdırılmaqla regenerasiya ($323K$, 10^3s , qızdırmaqla qismən regenerasiya); 4-əks sahə ilə regenerasiya ($0.38QV/m$, $323K$, 10^3s , əks sahə ilə qismən regenerasiya).

Əgər fasilədə PE nümunələri 10^3s müddətində $333K$ temperaturda intensivliyi $0.58 QV/m$ olan əks qütblü sahədə saxlasaq, onda ikinci yaşama müddətinin paylanması (şəkil 4, ağ nöqtələr 1 əyrisi) 3.a şəkilindəki 1 əyrisinə yaxın olur, yəni yüklərin tam regenerasiya olunması praktiki olaraq mümkündür.

Yüklərin relaksasiya zamanının (τ_r) qiymətini hesablamaq üçün regenerasiyanı tam deyil, qismən etmək tələb olunur. Bu məqsədlə müxtəlif seriyalı nümunələr: PE üçün $120K$ temperaturda intensivliyi $0.58 QV/m$ və PTFE üçün $100K$ temperaturda intensivliyi $0.46 QV/m$ olan sahə təsirində τ_1 zaman müddətində ($2520s$ PE üçün, $400s$ PTFE üçün) saxlanılmışdır. Sonra temperatur, fasilə vaxtı və əks qütblü sabit sahənin qiymətləri dəyişdirilmişdir. PE nümunələri üçün dəyişmələr: əks sahə intensivliyi $0-0.58QV/m$, temperatur $293K-333K$, vaxt 10^2s-10^4s intervallarında olmuşdur.

PE üçün belə təcrübələrdən alınan nəticələr şəkil 4-də (3 və 4 əyriyə) verilmişdir. Göründüyü kimi 3 və 4 əyriyə, şəkil 3.a-da 2 əyrisi-regenerasiya olunmamış əyri ilə 1 əyrisi-ağ nöqtələr (şəkil 4) tam regenerasiya olunmuş əyriyə arasında keçir.



Şəkil 5. Əks sahənin ($E_{\partial s}$) müxtəlif qiymətlərində PE üçün yığılmış yüklərin arrenius koordinatında relaksasiya zamanının temperatur asılılığı: $E_{\partial s}$, QV/m : 1-0; 2-0.28; 3-0.38; 4-0.48; 5-0.58.

Beləliklə, yığılan yüklərin relaksasiya zamanının (τ_r) qiymətini (7) düsturundan istifadə etməklə şəkil 2-dəki sxemə əsasən hesablamaq olar. τ_a və τ_2 -nin qiymətlərini 0.30 səviyyəsinə uyğun seçmək lazımdır (şəkil 4, a – a xətti). Təcrübədən alınmış nəticələrə əsasən, temperaturun və əks sahə intensivliyinin müxtəlif qiymətləri üçün $lg\tau_r$ qiymətləri hesablanmışdır. PE üçün $E_{\partial s}$ -nin bir sıra qiymətlərində $lg\tau_r(1/T)$ asılılığı şəkil 5-də göstərilmişdir. Göründüyü kimi, $E_{\partial s}$ -nin artması ilə $lg\tau_r$ azalır və bu azalma xətti olmaqla bərabər, ekstrapolyasiya edildikdə $lg\tau_r(1/T)$ asılılığı $1/T$ görə 10^{-12} - $10^{-14}s$ qiymətini alır, başqa sözlə $lg\tau_0 \approx -13$ (şəkil 5).

Buna əsaslanaraq $\tau_r(E_{\partial s}, T)$ asılılığını aşağıdakı ifadə şəklində yazmaq olar

$$\tau_r(E_{\partial s}, T) \approx \tau_0 \cdot \exp \frac{W(E_{\partial s})}{k \cdot T}. \quad (8)$$

(8) ifadəsində $W(E_{\partial s})$ yüklərin sorulma prosesinin aktivasiya enerjisi, k -Bolsman sabitidir.

(8) ifadəsi göstərir ki, deşilməyə avaran yığılan elektrik yüklərinin sorulma prosesi istilikfluktuasiya təbiətlidir və bu prosesin aktivasiya enerjisi $W(E_{\text{эс}})$ əks sahə intensivliyinin qiymətindən asılıdır.

YEKUN

Polimerlərin elektrik möhkəmlik xassəsinin regenerasiya olunması – yaşama müddətinin qızdırılmaqla

və əks qütblü sahə təsiri ilə bərpası öyrənilmişdir. Regenerasiya kinetikasının analizi göstərir ki, regenerasiya həcmi yüklərin sorulması ilə əlaqədardır. Deşilməyə hazırlıq prosesi dönən prosesdir. Belə ki, polimer nümunə qızdırıldıqda, həmçinin ona əks qütblü sahə təbiiq etdikdə deşilməni hazırlayan yığılan yüklər sorulurlar.

-
- [1] *А.И.Слуцкер, Т.М.Велиев, И.К.Алиева, В.А.Алекперов, Ю.И.Поликарпов, Д.Д.Каров.* ФТТ, 2016, т.58, №9, с.1826-1835.
 - [2] *А.И. Слуцкер, Т.М. Велиев, И.К. Алиева, В.А.Алекперов, Ю.И.Поликарпов, Д.Д.Каров.* ФТТ, 2017, т.59, №1, с.183-188.
 - [3] *И.К.Алиева, Т.М. Велиев.* Кинетика механического и электрического разрушения полимеров. Баку, АГМА, 2018, с.192.
 - [4] *А.И. Слуцкер, Т.М. Велиев, И.К. Алиева, В.А. Алекперов, С.А. Абасов.* ФТТ, 1990, т.32, №8, с.2339-2344.
 - [5] *А.И.Слуцкер, Т.М.Велиев, И.К.Алиева, В.А.Алекперов, С.А. Абасов.* Письма в ЖТФ, 1991, т.17, №13, с.67-72.
 - [6] *I.K. Aliyeva and T.M.Veliyev.* Modern Physics Letters B, Vol.35, №36, 2150523(2021). p.2951-2957.
 - [7] *I.K. Aliyeva.* Influence of polarization processes on polymer electric strength. Azerbaijan Journal of Physics, 2021, Yolume XXVII, №1, section En.,p.16-20.

V.G. Gasanov, I.K. Aliyeva, H.M. Aliyeva

**STORAGE PROCESSES IN KINETICS
ELECTRICAL DESTRUCTION OF POLYMERS**

The distribution of the breakdown waiting time (durability τ_E) of polymers in a constant electric field at low temperatures was measured. The results of continuous experiments and experiments with interruption of the field action on samples that remained unpierced after holding for a time equal to the average value of $l g \tau_E$ were compared. The degree of regeneration was used to determine the relaxation time (τ_r) of accumulated charges in polymers leading to breakdown. It has been established that the process of dissipation of charges, the accumulation of which leads to breakdown, is of a thermal fluctuation nature, and the activation energy of this process depends on the strength of the counterfield.

В.Г. Гасанов, И.К. Алиева, Х.М. Алиева

**НАКОПИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В КИНЕТИКЕ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ**

Измерялось распределение по времени ожидания пробоя (долговечности τ_E) полимеров в постоянном электрическом поле при низких температурах. Сравнивались результаты непрерывных опытов и опытов с прерыванием действия поля на образцах, оставшихся непробитыми после выдержки в течение времени, равному среднему значению $l g \tau_E$. По степени регенерации определялось время релаксации (τ_r) накопившихся зарядов в полимерах, ведущих к пробую. Установлено, что процесс рассасывания зарядов, накопление которых ведет к пробую, носит термофлуктуационный характер, причем энергии активации этого процесса зависит от величины напряженности противопололя.