

## POLİMER KOMPOZİSİYANIN ELEKTRİK DAĞILMA PROSESİNİN ELEMENTAR AKTLARI

E.R. ƏLİYEVA

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası

Az.1000, Azərbaycan, Bakı ş., Z.Əliyeva küç., 18.

e-mail: [elx2006@mail.ru](mailto:elx2006@mail.ru)

Polipropilen – aşağı sıxlığı polietilen (PP - ASPE) polimer kompozisiyanın (PK) sabit elektrik sahəsində və 200-300K temperatur arasında elektrik dağılma kinetikasının müxtəlif təcrübi şəraitlərdə tədqiqatından alınan nəticələrə baxılmışdır. PK nümunələrin qalınlığı, elektrodların forması və elektrik sahəsinin təsir rejimləri dəyişdirilmişdir. Göstərilmişdir ki, bütün hallarda elektrik dağılma prosesinin elementar aktının potensial çəpərinin qiyməti eyni olub ~1.3–1.4 eV-dur və təcrübi şəraitdən asılı deyildir.

**Açar sözləri:** polimer kompozisiya, elektrik dağılma kinetikasi, elektrik yaşama müddəti, elementar aktlar.

**UOT:** 541(64+127):537.3

### GİRİŞ

Bərk dielektriklərin elektrik dağılması dedikdə, keçirici elektrodlar arasında yerləşən dielektrik nümunəyə gərginlik verildikdə, onlarda deşilmənin əmələ gəlməsi başa düşülür. Müəyyən edilmişdir ki, deşilmə elektrik sahə intensivliyinin ( $E$ ) bəzi son qiymətlərinə çatanda baş verən kritik akt deyildir, başqa sözlə, bu hadisə, kinetik təbiətə malikdir. Elektrik dağılmasının kinetik təbiəti özünü onda göstərir ki, eyni bir dielektrik nümunənin deşilməsi  $E$ -nin müxtəlif qiymətlərində, ancaq müxtəlif zaman ( $\tau$ ) ərzində baş verir. Daha doğrusu,  $E$  nə qədər az olarsa,  $\tau$  bir o qədər çox olur [1, 2]. Beləliklə, elektrik dağılması fizikasına “elektrik yaşama müddəti -  $\tau$ ” anlayışı daxil olmuşdur – elektrik sahəsinin verildiyi andan deşilməyə qədər olan an.  $T$ -nin olması onu göstərir ki, sahənin təsiri ilə dielektrik daxilində nümunəni deşilməyə hazırlayan proseslər baş verir. Bu proseslər nəticəsində yaranan elementar aktlar isə, dielektrik daxilində lokal dəyişikliklər əmələ gətirir ki, bunları da şərti olaraq “dağılma elementləri” adlandırmaq.

Onda dielektrikləri deşilməyə hazırlayan bu elementar aktların tədqiqi, elektrik dağılması fizikasının əsas məsələsi sayıla bilər. Müxtəlif kimyəvi tərkibə və quruluşa malik dielektriklərin, o cümlədən polimer-polimer əsasında olan kompozisiyanın təcrübi tədqiqi və elektrik dağılması kinetikasının analizi bir sıra işlərdə aparılmışdır [2-5]. Polimer və polimer kompozisiya (PK) üçün, deşilməyə hazırlıqda iştirak edən bir sıra elektrik prosesləri haqda fikir söylənilmişdir. Bura elektrodlardan deşik və elektronların daxil olması, müxtəlif işarələri həcmi yüklərin əmələ gəlməsi və artıb-azalması, elektron “tutacaqların” dinamikası, polimer molekullarının ionlaşması və s. aid edilir [2-6]. Polimer və PK-nın deşilməyə hazırlıq hallarında iştirak edən bu proseslərin kinetik xarakteristikası, yəqin ki, müxtəlifdir. Odur ki, elementar aktları ilə birlikdə bu hazırlıq proseslərinin aşkar edilməsi PK-nın elektrik dağılması fizikasının vacib məsələlərindən biri hesab edilir.

PK-nın elektrik dağılması kinetikasının təcrübi tədqiqinə bir çox faktorlar təsir edə bilər. Məsələn:

elektrodların növü (sıxılmış, səpilmiş), elektrodların forması (müstəvi, sfera), nümunələrin qalınlığı və elektrik dağılma kinetikasının tədqiqat üsulları və s. Odur ki, qeyd edilən faktorlar, elektrik gərginliyi altında olan PK nümunələrini deşilməyə hazırlayan proseslərin kinetikasi, bu müxtəlif şəraitlər üçün müxtəlif ola bilər.

### MƏQSƏD

Bu işdə məqsəd, təcrübi şəraitləri dəyişdirməklə eyni bir polimer kompozitin elektrik dağılma kinetikasının elementar aktının xarakterik qiymətlərini müqayisə etməkdən ibarətdir.

### OBJEKT VƏ TƏDQIQATIN METODİKASI

Əsas obyekt olaraq polipropilen – aşağı sıxlıqlı polietilen (PP - ASPE) optimal polimer kompozisiyası (PK) götürülmüşdür [3]. Bəzi nəticələri müqayisə etmək üçün, PK-in komponentlərindən biri olan polipropilenə (PP) aid nəticələr də daxil edilmişdir. Bütün ölçmələr PP-ASPE və PP-nin tez soyudulmuş (TS) nümunələrində aparılmışdır.

Elektrik dağılma kinetikasi iki üsulla öyrənilmişdir.

1. Yaşama müddəti ( $\tau$ ) müxtəlif elektrik sahə intensivliyində ( $E$ ) və temperaturda ( $T$ ) bir-bəşə ölçülmüşdür. Hər ayrı – ayrı təcrübədə nümunə deşilənə kimi gərginlik sabit saxlanılmışdır.
2. Elektrik deşilmə intensivliyinin ( $E_d$ ), intensivliyin xətti qalxma sürətindən asılılığı təyin edilmişdir  $v_E = dE/dt$ .

$E_d(v_E)$  asılılığı da,  $\tau(E, T)$  asılılığı kimi  $U_0$  və  $\alpha$  – nin qiymətini təyin etməyə imkan verir. Bu imkan “dağılma elementlərinin” yığılma prinsipindən istifadə etməyə əsaslanmış və hissə - hissə yaşama müddətlərinin cəmlənməsi Beyli inteqralı ilə təyin edilmişdir [7]

$$\int_0^{t_d} \frac{dt}{\tau(v_E, T)} = 1, \quad (1)$$

burada  $t_d$  – deşilmənin baş verdiyi zamandır,  $E_d = v_E \cdot t_d$ .  $\tau(v_E, T)$  funksiyasının qiymətlərini (1)-də yerinə yazdıqda, inteqralın həlli  $E_d$ -nin  $v_E$ -dən asılılığına gəlir.

### TƏCRÜBİ NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

Elementar akt haqda məlumat, elektrik yaşama müddətinin ( $\tau$ ) sabit elektrik sahə intensivliyindən ( $E$ ) və temperaturdan ( $T$ ) asılılığının təhlilindən alınır. Polimer və polimer-polimer əsasında olan kompozisiyalar üçün bu asılılıq aşağıdakı düsturdan tapılır [1 – 4]

$$\tau(E, T) = \tau_0 \cdot \exp \left[ \frac{U(E)}{kT} \right], \quad (2)$$

bu halda  $U(E)$  xətti asılılığa yaxın olur

$$U(E) = U_0 - \alpha E. \quad (3)$$

Beləliklə, elektrik dağılma kinetikasının xarakterini,  $E_d(v_E, T)$  asılılığının müəyyən formasında özünü göstərir. (4)-dən məlum olur ki, sabit temperaturda  $E_d(\ln v_E)$  asılılığı xətti olmalıdır və onun mailliyi  $\alpha$ -nın qiymətini tapmağa şərait yaradır.  $E_d(\ln v_E)$ -nin  $E_d=0$  görə xətti ekstropolyasiyası isə  $U_0$  qiymətini tapmağa imkan verir:

$$U_0 = -kT \left[ \ln \left( \frac{\alpha \tau_0}{kT} \right) + \ln v_E \right]. \quad (5)$$

293K temperaturda və  $v_E \sim (5 - 7) \cdot 10^8$  V/m·s aralıq qiymətlərində PP–ASPE nümunələri üçün  $E_d(v_E, T)$  asılılığı ölçülmüşdür.  $T$  və  $E_d$  ölçülən qiymətlərinin xətası çox olduğuna görə, orta qiymətin tapılması üçün hər bir fiziki kəmiyyətə görə 20 nümunədə ölçmə aparılmışdır və bu göstərilən qrafiklərdə öz əksini tapmışdır. PP – ASPE və PP nümunələri üçün  $\tau$ -nin  $E$  və  $T$ -dan asılılığı şəkil 1-də verilmiş, nümunələrin xarakteristikaları və ölçmənin şərtləri isə cədvəldə göstərilmişdir. Şəkil 1-də göstərilən nöqtələrin (yəni  $\lg \tau$ -nin hər biri) qiyməti üçün (2) asılılığının ödənildiyini aydınlaşdırmaq məqsədilə (2)-yə uyğun olaraq  $U(E) = kT(\ln \tau - \ln \tau_0)$  qiymətləri hesablanmışdır  $\tau_0 = 10^{-13}$ s. Hesablamaların nəticələri şəkil 2-də göstərilmişdir. Göründüyü kimi, müxtəlif  $E$  və  $T$ -yə uyğun nöqtələr, kiçik xətalarda da olsa, düz xətt boyunca kifayət qədər sıx cəmləşmişlər. Belə cəmləşmə (2) asılılığının, onun  $U(E) = U_0 - \alpha E$  xətti funksiyası ilə kifayət qədər yaxşı uyğunlaşdığını göstərir. Onda, şəkil 2-dən PP – ASPE üçün  $U_0 \approx 1.4$ eV,  $\alpha \approx 1.4 \cdot 10^{-28}$  Kl·m; PP üçün  $U_0 \approx 1.1$ eV,  $\alpha \approx 1.2 \cdot 10^{-28}$  Kl·m qiymətlərini alır.

Cədvəldə PP–ASPE kompozisiyası üçün  $U_0$  və  $\alpha$ -nın qiymətləri verilmişdir. Həmçinin,  $U_0$  və  $\alpha$ -nın  $\tau$ -nin bir başa ölçüldüyü digər elektrodlar sistemindən və ölçmə şəraitindən alınmış qiymətləri də verilmişdir. Həmçinin, PP–ASPE-nin müxtəlif nümunələri və müxtəlif ölçmə şəraitləri üçün ölçülmüş  $E_d(\lg v_E)$  asılı-

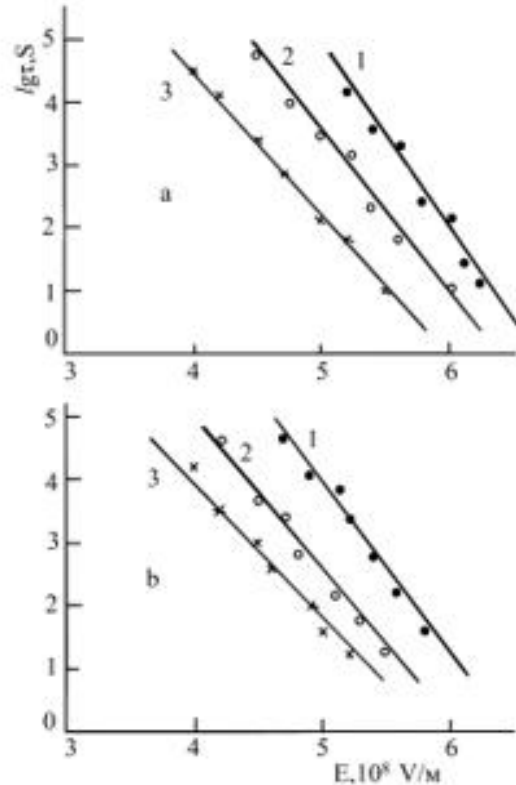
(2) düsturunda  $\tau_0 = 10^{-12} - 10^{-14}$ s olub, bərk cisimlərdə atomların hərəkətinin perioduna yaxın qiymət alır.  $k = 8.6 \times 10^{-5}$  eV/K olub, Bolsman sabitidir.  $\tau$ -nin temperatur asılılığı Bolsman faktoru şəklindədir, bu isə dağılma prosesinin istilik fluktuasiya xarakterli olmasını göstərir. Əgər proses elementar aktlardan təşkil olunursa, onda  $\tau$  loqarifmik olaraq  $U(E)$  potensial çəpərini keçməyə kifayət edən enerjinin gözlənilməsi fluktuasiyanın orta zamanına yaxın olur [1, 8]. Ona görə də, elektrik yaşama müddətinin temperatur-güc asılılığının  $\tau(E, T)$  təhlili polimer və kompozisiyanın dağılma kinetikasının elementar aktının vacib xarakterik qiymətini, yəni potensial çəpərin başlanğıc qiymətini ( $U_0$ ) təyin etməyə imkan verir. Bu halda, həmçinin,  $U_0$  azaldan və (3)-də  $\alpha \cdot E$  ilə ifadə olunan elektrik sahəsinin təsir xarakteri də təyin edilir.

Nəzərə alsaq ki,  $E(t) = v_E t$ ;  $E_d = v_E t_d$ , onda (2) asılılığı və  $\alpha \cdot E_d / kT > 1$  şərtində (1)-dən alır:

$$E_d(v_E, T) \approx \frac{U}{\alpha} + \frac{k \cdot T}{\alpha} \ln \left( \frac{\alpha \tau_0}{kT} \right) + \frac{kT}{\alpha} \ln v_E. \quad (4)$$

lığının nəticələri də cədvəldə verilmiş və şəkil 3-də göstərilmişdir.

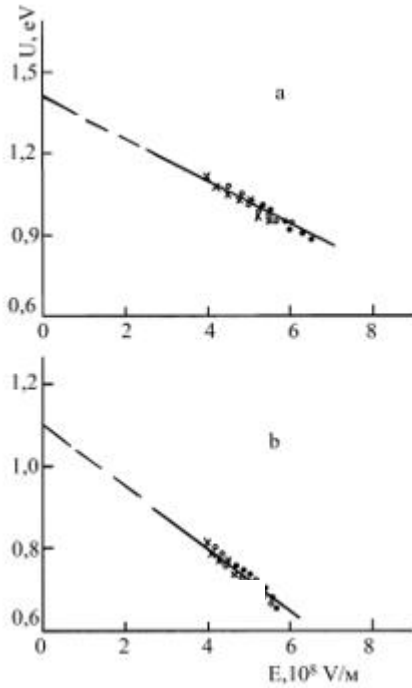
Göründüyü kimi, ölçülmüş  $E_d(\lg v_E)$  asılılığı xətti-dir. Bu onun (4) ifadəsini uyğun olduğunu göstərir. Şəkil 3-dən görünür ki, bu asılılıq  $E_d=0$  şərtində ekstropolyasiyası, bütün hallar üçün  $\lg E_d \approx 1$  qiymətinə uyğun gəlir.



Şəkil 1. Elektrik yaşama müddətinin temperatur – güc asılılığı. Temperatura: 200 (1); 250 (2) və 293K (3). a – PP – ASPE plyonkası, təcrübi şəraiti – cədvəldə bənd 1; b – PP plyonkası, 30мкм. Təcrübə şəraiti – PP – ASPE üçün verilmiş cədvəldəki bənd 1 kimi.

Müxtəlif təcrübi şəraitlərdə PP+ASPE=80+20 kütlə % - li TS nümunələrin elektrik dağılması prosesinin elementar aktının xarakterik qiymətləri

№	Təcrübi şərait	Ölçmənin növü	$U_0, eV$	$\alpha, 10^{-28} KJ/M$	$a/e, nm$
1.	Plyonka 30MKM. Elektrodlar poladdan, sıxılmış, müstəvi – müstəvi.	$\tau(E, T)$	1.4	1.5	0.9
2.	Plyonka 46MKM. Elektrodlar poladdan, sıxılmış, müstəvi – müstəvi.	$E_d(v_E, T)$	1.3	1.2	0.8
3.	Plyonka 46MKM. Elektrodlar poladdan, sıxılmış, sfera – müstəvi.	$\tau(E, T)$	1.4	1.3	0.9
4.	Plyonka 34MKM. Elektrodla poladdan, sıxılmış, sfera – müstəvi.	$E_d(v_E, T)$	1.4	1.4	0.9
5.	Plyonka 22MKM. Elektrodlar poladdan, sıxılmış, sfera – sfera.	$E_d(v_E, T)$	1.3	1.3	0.8

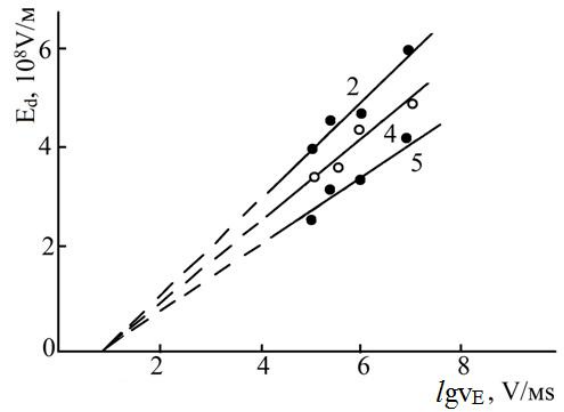


Şəkil 2. Elektrik dağılma prosesinin elementar aktının potensial çəpərinin, şəkil 1-dən alınmış, güc asılılığı. a – PP – ASPE plyonkası; b – PP plyonkası.

(5) ifadəsindən PP–ASPE kompozisiyasının müxtəlif nümunələri üçün, ümumi bir qiymət tapırıq:  $U_0 \approx 1.4 eV$ .  $E_d(lgv_E)$  asılılığının mailliyi müxtəlif nümunələr üçün kəskin fərqlənir. Bu, (4) ifadəsinə uyğun olaraq  $\alpha = kT(\Delta E_d / \Delta lnv_E)^{-1}$  qiymətlərinin müxtəlif olduğunu göstərir.  $U_0$  və  $\alpha$ -nın PP–ASPE kompozisiyasının müxtəlif nümunələri üçün alınmış qiymətləri və  $E_d(lgv_E)$  asılılığının ölçülmə şərtləri də, cədvələ daxil edilmişdir.

Cədvəldə PP–ASPE kompozisiyası üçün göstərilmiş  $U_0$  qiymətlərindən çıxır ki, onun elektrik dağılma prosesinin başlanğıc potensial çəpərinin qiyməti təqribən sabit olub (1.3-1.4) eV-dur və təcrübi şəraitdən asılı deyildir. Onu da qeyd edək ki, PK-nın komponent-

lərindən biri olan PP üçün başlanğıc potensial çəpərinin qiyməti  $U_0 \approx 1.1 eV$  olub, PK üçün təyin olunmuş  $U_0$  qiymətinə yaxındır.



Şəkil 3. PP – ASPE kompozisiyasının deşilmə intensivliyinin, elektrik sahə intensivliyinin qalxma sürətindən asılılığı.  $T=293K$ . Şəkildəki ayrılmanın rəqəmləri, təcrübə şəraitlər göstərilmiş cədvəldəki, bəndlərin nömrəsinə uyğundur.

Tədqiqat göstərir ki, elektrik dağılma prosesi elektronla əlaqədardır. Elektrodla gərginlik verildikdə injeksiya yolu ilə elektron kompozit nümunənin daxilinə düşür və elektron “tutacaqlara” – potensial çuxura düşərək ossilyator əmələ gətirir, burada hərəkət edən elektrondur. Elektrik sahəsinin təsiri ilə elektronlar fluktuasiya nəticəsində çəpərdən çıxaraq sahə istiqamətində “tutacaqdan” “tutacağa” keçirlər. Nəticədə elektronlar sahə istiqamətində “tullanma” hərəkəti edərək anod ətrafında yığılır və lokal həcmi yüklər əmələ gətirirlər. Yüklər kritik qiymətə çatanda deşilmə baş verir. Beləliklə, kompozisiyanı deşilməyə hazırlayan elementar akt, elektronun “tutacaqdan” çıxma aktıdır, yəni ona mane olan potensial çəpərdir. Bu potensial çəpər isə tətbiq olunan  $E$  təsiri ilə azalır.  $E$  nə qədər çox olarsa, çəpərin qiyməti bir o qədər azdır və elektronun çəpərdən orta çıxma vaxtı da az olur. Nəticədə, həcmi yüklərin yığılması tez baş verir və  $\tau$  azalır.

Elektrik sahəsinin təsirlə, elementar aktın potensial çəpərinin azalması (3) ifadəsinə görə  $\alpha E$ -dir.  $qE$  lokal sahədə elektronun  $l$  məsafəsinə hərəkəti zamanı enerjisinin dəyişməsi  $elqE$  olar ( $q$  – sahə intensivliyinin konsentrasiya əmsalındır,  $e$  – elektronun yüküdür). Onda, enerjinin saxlanılması qanununa əsasən  $\alpha = elq$  alırıq. Buradan:  $\alpha/e = l \cdot q$ . Cədvəldən görünür ki,  $\alpha \approx (1.2 - 1.5) \cdot 10^{-28} \text{ Kl} \cdot \text{m}$ , onda  $\alpha/e = l \cdot q \approx 0.8 - 0.9 \text{ nm}$ . Onu da qeyd edək ki, PP üçün də alınmış  $\alpha/e$  qiymətləri buna yaxındır.  $q$  əmsalı ilə xarakterizə olunan sahənin lokal intensivliyi elektrodların səthinin hamarlığı, kompozisiyanın heterogen quruluşu və onun daxilində yüklərin paylanması hesabına əmələ gəlir.  $q$ -nın qiyməti bir neçə vahid ola bilər, onda  $l$  təqribən bir neçə nm olur. Elektronun “tullanma” uzunluğunun belə qiyməti başa düşüləndir. Doğrudanda, polimer və onların əsasında olan kompozisiyada elektron üçün xarakterik “tutacaqlar”, molekula rəbitələri arasındakı məsafədir [3, 9].

Belə “tutacaqların” effektiv eni, həmçinin onlar arasındakı məsafə bir neçə on nm təşkil edir. Ona görə də,  $U_0$  qiyməti “tutacaqların” dərinliyinə və ya elektronun bir “tutacaqdan” digərinə elektrik sahəsi istiqamətində keçdiyi çəpərin qiymətinə yaxın hesab edilə bilər.

#### YEKUN

PP – ASPE kompozisiyasının temperatur – güc və dəşilmə intensivliyinin gərginliyin xətti qalxma sürətindən asılılığın müxtəlif təcrübi şəraitlərdə öyrənilməsinə əsasən müəyyən edilmişdir ki, bütün hallarda kompozisiyanı elektrik dağılmasına hazırlayan proseslərin elementar aktının potensial çəpərinin qiyməti təqribən eyni (1.3 – 1.4)eV olub, nümunələrin qalınlığından, elektrodların formasından və elektrik dağılma prosesinin tədqiqat üsullarından asılı deyildir.

- 
- [1] И.К. Алиева., Т.М. Велиев. Кинетика механического и электрического разрушения полимеров. Баку, АГМА, 2018. с.192.
- [2] А.И. Слуцкер, Т.М. Велиев, И.К. Алиева, В.А.Алекперов, Ю.И. Поликарпов, Д.Д. Каров. Особенности кинетики электрического разрушения полимеров. ФТТ, 2016, т.58, №9, с.1826-1835.
- [3] И.К. Алиева, Е.Р. Алиева, Т.М. Велиев, М.Дж. Тагиева, Электрическая прочность полимерных композиций при различных условиях. Известия НАНА, серия физ. – техн. и мат. н., физ. и астрономия, 2022, №2, с.121-128.
- [4] Т.М. Велиев, Е.Р. Алиева, М.Дж. Тагиева. Подготовительные процессы в кинетике электрического разрушения полимеров. Проблемы энергетики, 2021, №1, с.66-72.
- [5] М.С. Дахия, В.А. Закревский, А.И. Слуцкер. Температурная зависимость электрической прочности сегнетокерамики. ФТТ, 1984, т.54, №3, с.629-632.
- [6] В.А. Закревский, Н.Т. Сударь. Электрическое разрушение тонких полимерных пленок. ФТТ, 2005, т.47, №5, с.931-936.
- [7] J. Bailey. Glass industry. 1999, vol.20, №1, p.21-27.
- [8] А.И. Слуцкер, Д.Д.Каров, Ю.И. Поликарпов. Атомно-молекулярная флуктуационная динамика. СПб.: Изд-во Политехн. унта, 2011, с.238.
- [9] В.А. Закревский, В.А. Похотин. Автоионизационный механизм разрыва химических связей в макромолекулах. Высокомолекулярные соед., 1981, т.23(А), №3, с.658-662.

E.R. Alieva

### ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ АКТЫ В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Рассмотрены результаты исследования кинетики электрического разрушения полимерных композиций (ПК) полипропилен – полиэтилен низкой плотности (ПП - ПЭНП) в постоянном электрическом поле при 200 – 300К в различных условиях экспериментов. Варьировались толщина образцов ПК, вид и форма электродов, режим действия и скорости подъема напряженности электрического поля. Показано, что во всех случаях потенциальный барьер элементарных актов процесса, контролирующего кинетику электрического разрушения, имеет практически одинаковую величину  $\sim 1.3 - 1.4 \text{ eV}$  и не зависит от условий экспериментов.

E.R. Alieva

### ELEMENTARY ACTS IN THE ELECTRICAL PROCESS DESTRUCTION OF POLYMER COMPOSITIONS

The results of a study of the kinetics of electrical destruction of polymer compositions (PC) polypropylene - low density polyethylene (PP - LDPE) in a constant electric field at 200 - 300K under various experimental conditions are considered. The thickness of the PC samples, the type and shape of the electrodes, the mode of operation, and the rate of rise in the electric field strength were varied. It is shown that in all cases the potential barrier of elementary acts of the process that controls the kinetics of electrical destruction has almost the same value  $\sim 1.3 - 1.4 \text{ eV}$  and does not depend on the experimental conditions.