

UOT 678.017.620.17

**POLIETİLEN+NANOĞİL ƏLAVƏLİ NANOKOMPOZİTLƏRİN
ELEKTRİK VƏ MEXANİKİ YAŞAMA MÜDDƏTİNƏ ELEKTRİK
BOŞALMASI VƏ MEXANİKİ YÜKÜN EYNI ANDA TƏSİRİNİN TƏDQIQI****SADIQOVA A. R.**

*AMEA Fizika İnstitutu,
AZ1143, Bakı, Azərbaycan, prospect H. Cavid 33
e-mail: arzu-sadigova@mail.ru*

Yüksək sıxlıqlı polietilenin (YSPE) və onun əsasında hazırlanan nanogil (NG) əlavəli nanokompozitlərin elektrik yaşama müddətinə (τ_E) mexaniki yükün və mexaniki yaşama müddətinə (τ_M) elektrik boşalmasının eyni anda təsiri tədqiq edilmişdir. Quruluşda baş verən dəyişikliklərlə fiziki xassələr qarşılaşdırılaraq göstərilmişdir ki, xarici amillərin eyni anda təsiri ilə makromolekulların qırılması zamanı karbonil qruplar yaranır. Nanokompozitdə elektrik boşalmasının və mexaniki yükün eyni anda təsiri zamanı parçalanma sürəti YSPE-yə nisbətən azdır.

Açar sözlər: nanogil, nanokompozit, elektrik boşalması, elektrik möhkəmliyi.

Polimerdən alınan məmulatlar real şəraitdə istifadə olunduğu zaman mexaniki yükün, güclü elektrik sahəsi və boşalmasının, temperaturun, radiasiya şüalarının və s. eyni anda kompleks təsirinə məruz qalırlar, praktikada istifadəsi zamanı tez sıradan çıxırlar (parçalanırlar). Bu məhsulların yaşama müddətini artırmaq və parçalanmanın qarşısını almaq üçün sənayedə polimerlər əsasında alınan müxtəlif əlavəli kompozit materiallardan istifadə olunur. Kompozit materiallar kimyəvi tərkibcə və quruluşca müxtəlif olan iki və daha çox fazanın əmələ gətirdiyi sistemdir [1, 2, 3].

Ümumiyyətlə, polimerlər əsasında kompozitlər keçən əsrin 40-cı illərində alınmağa başlamışdır. Matrisa kimi istifadə olunan ilk polimerlər elastomerlər və epoksit qətranı (şüşə plastiklər) olmuşdur. Bundan sonra termoplastik polimerlər, eyni zamanda polioefinlər də matrisa kimi istifadə olunmağa başladı. Hal-hazırda polimer matrisaları üçün müxtəlif cür əlavələr mövcuddur [4, 5]. Əlavələr kimi istifadə olunan maddələr iki əsas sinfə bölünürlər. Birinci növ – bərk əlavələr (təbaşir, talk, alimium hidrokسيد, qrafit və s.) materialın möhkəmliyini, sərtliyini, istiliyə davamlılığını artırmaq, qazkeçirgənliyini azaltmaq məqsədilə daxil edilir. İkinci növ əlavələr isə üzvi xammala qənaət etmək və məhsulun maya dəyərini aşağı salmaq üçün daxil edilir.

Aparılmış tədqiqatlardan [7, 8-10] polimerlər əsasında hazırlanan üzvi və qeyri-üzvi əlavələr daxil edilmiş kompozit materialların dinamik-mexaniki, elektrik, deformasiya və optik xassələrinin dəyişməsi müşahidə edilmiş və bu dəyişmənin mexanizmi haqqında az da olsa məlumat verilmişdir.

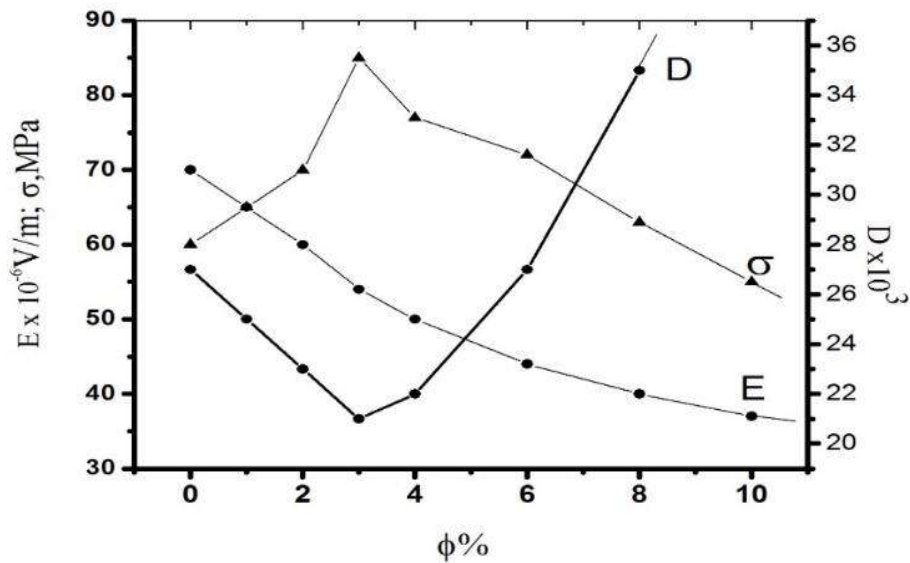
Təcrübələr göstərir ki, bir neçə xarici amilin eyni anda təsiri ilə baş verən parçalanma prosesində parçalanma sürəti (rabitələrin qırılma sayı) hər bir amilin yaratdığı dəyişikliklərdən asılıdır [6]. Bu şərtlərdə polimerlərin mexaniki və elektrik yaşama müddətlərini müəyyən etməklə köhnəlməyə qarşı daha dayanıqlı materiallar seçilir və polimer materiallar əsasında müxtəlif əlavələr daxil edilmiş kompozitlərin tədqiqi elmi və praktiki cəhətdən maraqlıdır.

Bunları nəzərə alaraq baxdığımız tədqiqat işində saf yüksək sıxlıqlı polietilen (YSPE) və YSPE əsasında 3,0% nanogil əlavə edilmiş nanokompozitin elektrik boşalmasının eyni anda təsiri ilə mexaniki yaşama müddəti (τ_M) və mexaniki yükün eyni anda təsiri ilə elektrik yaşama müddəti (τ_E) ölçülmüşdür.

Nümunələrin alınması və ölçmə metodları: Nanogil (NG) müxtəlif faizlərdə (1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0%) toz şəklində polietilenlə mexaniki qarışdırıldıqdan sonra qaynar presləmə üsulu ilə (425 K, 150 MPa, 10 dəq.) nazik (70-100 mkm) nümunələr əldə edilmişdir. Hər ikisi toz şəklində və sıxlıqları bir-birinə yaxın olduğundan bircinsli qarışıq alınır. NG olaraq istifadə olunan əlavə montmorillonitli (MMT) təbəqəli silikatlardır və bu təbəqələrin ölçüləri təxmini olaraq: uzunluğu 200 nm, eni isə 1 mm-dir [11, 12]. Mərkəzdə Al, Mg və Fe atomları yerləşir və onlar silisium-oksidi təbəqəsi ilə əhatə olunmuşdur. Belə quruluşa malik gilin daxilində elektrostastik tarazlığın pozulması artır və təbəqənin xaricində mənfi yüklü zərrəciklər yaranır. Na^+ , Ca^+ kationlarının absorpsiyası ilə mənfi yüklər neytrallaşdırılır. Na^+ MMT hissəciklərinin belə müstəvi şəklində olması təbəqələrin bir-biri üzərinə düzülərək polimer matrisası ilə lay-lay təbəqəli quruluş yaratmasına gətirir. Polimer daxilində gilin bərabər paylanması nanokompozitin (NK) mükəmməl quruluşda olduğunun göstəricisidir.

NG-in müxtəlif faizlərində alınmış NK-in mexaniki və elektrik yaşama müddətləri müxtəlif temperaturlarda ölçülə bilər. Bu ölçmələrdə müxtəlif mexaniki gərginliklərdə və elektrik sahəsində nümunənin yükləndiyi vaxtdan qırıldığı ana qədər keçən zaman (yaşama müddəti) tapılmışdır. τ_M -ni ölçən qurğu iki əsas tələbə cavab verməlidir: hər bir sınaq zamanı tətbiq olunan gərginlik və temperatur dəyişməməlidir. Təcrübə zamanı tətbiq olunan yükün yaratdığı mexaniki gərginliyin artmasını kompensasiya etmək üçün nümunənin uzunluğu artan zaman sabit yükün yaratdığı qüvvənin avtomatik olaraq azalması fiqurlu manivelanın vasitəsilə həyata keçirilir [7]. Mexaniki möhkəmliyin qüvvə asılılığını tədqiq etmək üçün nümunələrdən eni 1,5 mm, işlək hissəsinin uzunluğu 10 mm olan ikiqat kürək formalı xüsusi bıçağın köməyiylə kəsilir. Quruluş dəyişmələrini tədqiq etmək üçün $400-2500 \text{ sm}^{-1}$ tezlik aralığında infraqırmızı (İQ) udulma spektroskopiyaya metoduna istifadə olunaraq nanokompozitlərin 1720 sm^{-1} dalğa tezliyinə uyğun gələn C=O (karbonil) qrupun optik sıxlığı (D) hesablanmış və möhkəmlik xassələri ilə qarşılaşdırılmışdır.

Təcrübə nəticələrinin izahı: NG-in YSPE-nin mexaniki və elektrik yaşama müddətinə təsiri əvvəlki araşdırmalarımızda öyrənilmişdir [13]. NG-in miqdarından asılı olaraq mexaniki möhkəmlik (σ) 3,0%-ə qədər artır və sonra əlavənin miqdarı artdıqca azalmağa başlayır. Elektrik möhkəmliyi (E) isə əlavənin miqdarı artdıqca NK-lərdə azala-azala gedir (şəkil 1).

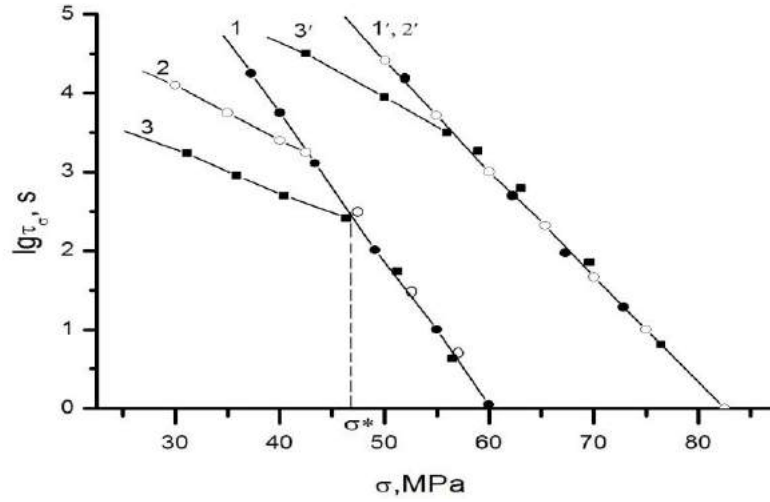


Şəkil 1. Mexaniki, elektrik yaşama müddətlərinin və optik sıxlığın NG-in miqdarından asılılığı.

Əvvəlcədən elektrik boşalmasına məruz qalan nümunələrin (köhnəlmiş) τ_M -sı tədqiq edildiyi kimi [14], praktikada tez-tez qarşılaşdığımız hadisə τ_σ -yə elektrik boşalmasının eyni anda təsiri maraqlı olduğu üçün bu iş ələ alınmışdır. NK-lərin hamısı üçün ölçmələri aparmaq yerinə biri üçün (σ -sı ən yüksək olan YSPE+3,0%NG) aparılıb saf nümunələrlə qarşılaşdırmaqla mexaniki parçalanma prosesində NG-in rolunu müəyyən edə bilərik.

Şəkil 2-də YSPE və YSPE+3,0 NG NK-in mexaniki yaşama müddətinin loqarifmasının ($\lg\tau_M$) elektrik boşalmasının eyni anda təsiri zamanı σ -dan asılılığı verilmişdir. Elektrik boşalma gərginliyi $U=7 \cdot 10^3 V$ və $9 \cdot 10^3 V$ götürülmüşdür.

Şəkil 2-dən (1, 2, 3 ayrıləri) göründüyü kimi, NG-siz nümunədə elektrik boşalmasının təsiri şəraitində mexaniki yük altında $\lg\tau_M$ asılılığı iki xətti hissədən ibarətdir. Onlardan biri ($\sigma > \sigma^*$) elektrik boşalması təsir etmədiyi $\lg\tau_M$ (σ) asılılığı ilə üst-üstə düşür (1 ayrısı), o biri isə ($\sigma < \sigma^*$) meylinə görə 1 ayrısından fərqlənir (2, 3 ayrıləri). σ^* - düzxəttin qırılma gərginliyidir.



Şək. 2. YSPE (1-3) və YSPE+3,0% NG (1'-3') nanokompozitin elektrik boşalmasının eyni anda təsiri zamanı yaşama müddətinin qüvvət asılılığı
 $1,1' \sim U=0$; $2,2' \sim U = 7 \cdot 10^3 V/m$; $3,3' \sim U = 9 \cdot 10^3 V/m$.

Mexaniki gərginliyin $\sigma < \sigma^*$ qiymətlərində yaşama müddəti boşalmanın eyni anda təsir etmədiyi haldakı yaşama müddətindəkinə görə azalır (3 ayrısı). Onda yaşama müddəti üçün aşağıdakı ifadələr alınır:

$$\tau_{M,U} = A_U \exp(-\alpha_U \sigma), \quad \sigma < \sigma^* \text{ olduqda} \quad (1)$$

$$\tau_{M,U} = \tau_M = A \exp(-\alpha_U \sigma), \quad \sigma > \sigma^* \text{ olduqda} \quad (2)$$

Müşahidə olunan asılılığı aşağıdakı kimi izah etmək olar: mexaniki yükün təsiri ilə termoflüktuasiya parçalanma prosesinə boşalmanın təsiri ilə əmələ gələn başqa bir parçalanma prosesi əlavə olunur. Əgər $\sigma > \sigma^*$ olarsa, yük altında olan nümunənin yaşama müddəti əsasən istilik flüktuasiyasının təsiri ilə təyin edilirsə də, ancaq gərginliyin $\sigma < \sigma^*$

aralığında istilik fluktasiyası ilə qırılan rabitələri eyni anda təsir edən elektrik boşalması sürətləndirir. Boşalma gərginliyinin artması ilə $\lg\tau_M$ (σ) asılılığında qırılma nöqtəsi σ -nın yüksək və τ_M -in kiçik qiymətlərinə doğru sürüşür.

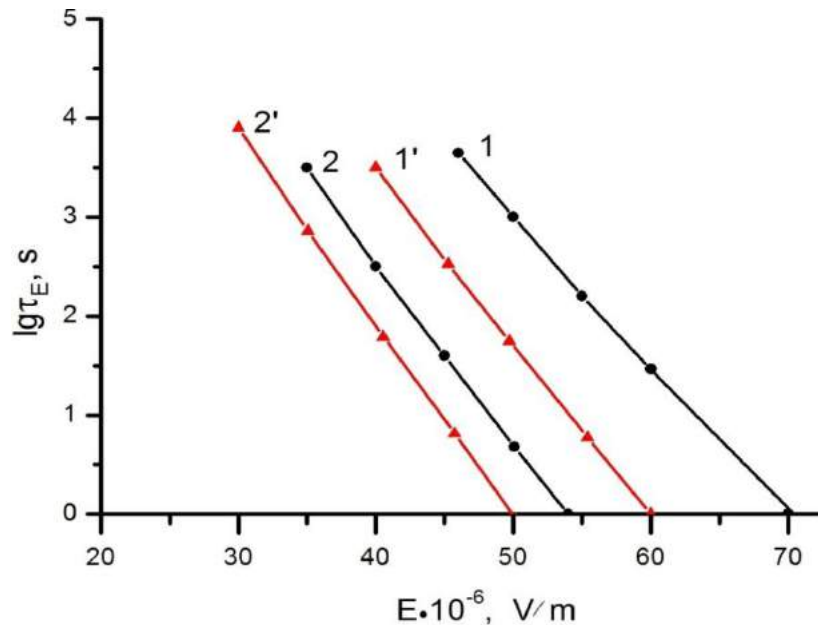
Məlumdur ki, radikal reaksiyalarında oksigenin iştirakı ilə makromolekulda müxtəlif oksigen tərkibli son qruplar yaranır [6]. Ona görə həm σ -nın, həm də U -nun təsiri polietilenin oksidləşməsini daha intensiv hala gətirir.

YSPE+3,0% NG nanokompozitdə NG antioksidləşdirici rol oynayır[14] bir tərəfdən σ və τ_M -ni artırır(şəki 2-dəki 1'əyrisi), digər tərəfdən eyni anda elektrik boşalması $\lg\tau_M$ (σ) asılılığında τ_M -ni dəyişmir ($U = 7 \cdot 10^3 V$, 2'əyrisi), yada az dəyişdirir ($U = 9 \cdot 10^3 V$, 3'əyrisi).

Nümunələr hazırlanarkən xarici amillərin (temperaturun, təzyiğin) təsirinə məruz qalırlar. NG-in quruluşda hansı dəyişiklik yaratdığını öyrənmək üçün $400\div 2500 \text{ sm}^{-1}$ tezlik aralığında İQ udulma spektroskopiyaya metodu ilə YSPE və NK-lərin 1720 sm^{-1} dalğa tezliyinə uyğun gələn C=O qrupunun optik sıxlığı hesablanmışdır. Şəkil 1-də NG-in miqdarından asılı olaraq D_{1720} NG-in 3,0% miqdarına qədər azalır, sonra isə artır. Nümunələrin hazırlanması prosesində temperatur və təzyiğin təsiri ilə C=O karbonil qruplar yaranır, oksidləşir. NG müəyyən faizə qədər oksidləşmənin qarşısını alır və buna uyğun olaraq mexaniki möhkəmlilik artır.

Elektrik boşalmasının eyni anda təsiri zamanı müşahidə olunan $\lg\tau_M$ (σ) asılılığı polimer makromolekullarında parçalanmanın (həm termoflukuasiya, həm də elektrik boşalması ilə) əsasını kimyəvi rabitələrin qırılmalarının elementar aktı təşkil edir. Hər iki təsir hesabına qırılan rabitələrin toplanması hesabına parçalanma sürəti artır, yaşama müddəti azalır.

Beləliklə, 3,0% NG əlavə edilən polietilen NK-in elektrik boşalmasının ($U=7 \cdot 10^3 V$) eyni anda təsirindən sonra τ_M -nin dəyişməməsi (2'əyrisi) və az dəyişməsi (3'əyrisi) göstərir ki, bu şərtlərdə NG antioksidləşdirici rolu oynayır, necə ki, əvvəlcədən elektrik sahəsinin təsiri ilə köhnəlmə halında olduğu kimi, [14] NG-in bu xassəsi əlavənin müəyyən bir miqdarında polietilenin mexaniki möhkəmliyinin və elektrik boşalmasının təsirinə qarşı dayanıqlığının artmasına səbəb olur.



Şəkil 3. YSPE(1,1') və YSPE+3,0% NG (2,2') nanokompozitin mexaniki yükün ($\sigma = 5 \text{ MPa}$) eyni anda təsiri zamanı yaşama müddətinin E -dən asılılığı, 1', 2' - mexaniki yüklənmiş nümunələr.

Şəkil 3-də mexaniki yükün eyni anda təsiri ilə YSPE və YSPE+3,0% NG nanokompozitin elektrik yaşama müddətinin loqarifmasının sahənin intensivliyindən asılılığı verilmişdir. Göründüyü kimi, sabit temperatur və sabit mexaniki yükün eyni anda təsiri zamanı $\lg\tau_E$ –nin E-dən xətti asılılığı dəyişmir, yəni $\lg\tau_E=f(E)$ asılılığı məlum olan empirik ifadə ilə yazılır:

$$\tau_E = B \exp(-\beta E)$$

Lakin, bərabər şərtlər daxilində mexaniki yükün təsiri τ_E -nin azalmasına səbəb olur. NG-in 3,0% miqdarında polietilənə daxil edilməsi ilə alınan NK-in elektrik möhkəmliyinin azalma dərəcəsi saf polietilənə nəzərən azdır. Elektrik möhkəmliyinin azalma dərəcəsi YSPE-də 15 %, NK-də 10 % təşkil edir.

Elektrik sahəsində polimerin daxilində ionizasiya prosesinin meydana gəlməsi elektrik parçalanmasına (deşilmə) səbəb olur. Ayrı-ayrı tədqiqat işlərində NG daxil edilmiş müxtəlif polimerlər əsasında alınan nanokompozitlərin mexaniki möhkəmliyi əlavənin müəyyən bir miqdarında maksimum olur. NK-lərin elektrik möhkəmliyi NG-in miqdarından asılı olaraq azala-azala gedir. NG-in keçiriciliyi ($\chi=10^{-4} \text{ Om}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$) YSPE-nin keçiriciliyindən ($\chi=10^{-12\pm-14} \text{ Om}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$) çox olduğundan NK-in keçiriciliyi artmış olur [6]. Mexaniki yükün eyni anda təsir etdiyi vaxtda polimer makromolekulları gərilmiş vəziyyətdə olurlar. Mövcud olan qeyri-bircinsliliyi (mikroçatlar, məsamələr və s.) mexaniki yük artırır. Bu da öz növbəsində nümunədə elektrik sahəsinin qeyri bərabər paylanmasına gətirir və yaşama müddətini azaldır. Mexaniki yükün eyni anda təsiri zamanı hər iki nümunənin elektrik möhkəmliyi azalmışdır və YSPE-də azalma sürəti nanokompozitə nisbətən çoxdur, NG destruktiv proseslərdə daha aktiv rol oynayır.

NƏTİCƏ:

YSPE əsasında hazırlanmış NG əlavəli nanokompozit nümunələrin mexaniki möhkəmliyi əlavənin 3,0% miqdarında artaraq 42% olmuşdur və elektrik boşalmasının eyni anda təsirinə qarşı daha davamlıdır. Mexaniki yükün eyni anda təsiri zamanı hər iki nümunədə elektrik möhkəmliyi azalmışdır. YSPE üçün azalma 15%, YSPE+3,0% NG nanokompoziti üçün azalma 10% olmuşdur. Nümunələrin alınması zamanı kimyəvi rabitələrin qırılması ilə əlaqəli olaraq C=O karbonil qruplar meydana gəlir. YSPE-yə daxil edilmiş NG müəyyən faizə qədər karbonil qrupların yaranmasının qarşısını alaraq antioksidant rolu oynayır.

-
1. Волкова Т.С., Бейдер Э.Я. Полимер-силикатные нанокomпозиты на основе полисульфона полученные различными способами// Авиационные материалы и технологии: Науч.-техн.сб.,2010, №2,с.56-57.
 2. Магеррамов А.М. Структурное и радиационное модифицирование электретных, пьезоэлектрических свойств полимерных композитов. Баку: Элм, 2001, 327 с.
 3. Рамазанов М.А., Абасов С.А., Расулова А.А. и др. Прочностные свойства нанокomпозитов на основе полипропилена и наногелев (глин) марки Дк₁ и Дк₂ // Fizika, XV cild, №1, 2009, с.25-27.
 4. Панова Л.Г. Наполнители для полимерных композиционных материалов, Учебное пособие. - Саратов, СГТУ, 2010, 68 с.
 5. Шевченко В.Г. Основы физики полимерных композиционных материалов. Москва, 2010, 97 с.
 6. Регель В.Р., Слуцкер А. И., Томашевский Э.Е., Кинетическая природа прочности твердых тел. Москва, 1984, ст.560.

7. *Özcanlı Y.L., Boydağ F.Ş., Alekperov V.A., Hikmet İ. and Cantürk M.,* Simultaneous Effect of Mechanical Tension on Electrical Lifetime of Some Inorganic Composites, *Modern Physics Letters B*, 21, (2007) 1415-1419.
8. *Мукитаев А.К., Каладжян А.А., Леднев О.Б., Мукитаев М.А.,* Нанокompозитные полимерные материалы на основе органоглин, *Электронный журнал Исследовано в России*, №4, (2004) 912-922.
9. *Deloizer D.M., Orwoll R.A., Cahoon J.F., Smith J.G., Connell J.W.,* Preparation and characterization of polyimide/ organoclay nanocomposites, *Polymer* 43, (2002) 813-822.
10. *Chang J.H., Kim S.J., Joo Y.L., Im S.,* Poly (ethylene terephthalate) nanocomposites by in situ interlayer polymerization: The thermo-mechanical properties and morphology of the hybrid fibers, *Polymer* 45, (2004) 919-926.
11. *Vaia R.A., Ishii H., Giannelis E.P.,* Polymer Layered Silicate Nanocomposites, *Adv. Mater* 8 (1996) 29-35.
12. *Vaia A.R., Jandt K.D., Kramer E.J., Giannelis E.P.,* Kinetics of Polymer Melt Intercalation, *Macromolecules* 28 (1995) 8080-8085.
13. *Ramazanov M.Ə., Sadıqova A.R., Abbasov İ.İ., Əsilbəyli P.B.,* Polietilenin mexaniki və elektrik parçalanma kinetikasında nanogil əlavəsinin rolu, *Energetikanın problemləri*, №1, (2017), 62-68.
14. *Ramazanov M.Ə., Sadıqova A.R., Səfiyev E.S.,* Elektrik boşalması və oriyentasiyanın təsirindən sonra Polietilen+Nanogil nanokompozitlərin elektrik parçalanma proseslərinin tədqiqi. *Energetikanın problemləri*, №1, (2017), 69-75.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОВРЕМЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА И МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА
НАНОКОМПОЗИТЫ С ДОБАВКАМИ ПОЛИЭТИЛЕН+НАНОГЛИНА**

САДЫГОВА А.Р.

Исследовано одновременное воздействие механической нагрузки и электрического разряда на электрическое время жизни (τ_E) и механическую долговечность (τ_M) на полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) и на нанокompозиты на его основе с добавками наноглины (НГ). Сравнивая структурные изменения с физическими свойствами показано, что при одновременном воздействии внешних факторов при разрыве макромолекул образуются карбонильные группы. Скорость разрыва связей при одновременном воздействии механической нагрузки и электрического разряда в нанокompозитах меньше, чем в ПЭВП.

Ключевые слова: наноглина, нанокompозит, электрический разряд, электрическая прочность.

**THE RESEARCH OF THE SIMULTANEOUS EFFECTS
OF ELECTRIC DISCHARGE AND MECHANICAL LOAD ON
NANOCOMPOSITES WITH ADDITIVES POLYETHYLENE+ NANOCLAY**

SADYGOVA A.R.

Were researched the simultaneous effects of mechanical load and electrical discharge on the electrical lifetime (τ_E) and mechanical durability (τ_M) on high density polyethylene (HDPE) and on nanocomposites based on it with the addition of nanoclay (NG). Comparing structural changes with physical properties, it has been shown that with simultaneous exposure to external factors at breakdown of macromolecules carbonyl groups are formed. The rate of breaking bonds with simultaneous exposure to mechanical load and electrical discharge in nanocomposites is less than in HDPE.

Keywords: nanoclay, nanocomposite, electric discharge, electric strength.