

## NANOĞİL ƏLAVƏLİ POLİPROPİLEN NANOKOMPOZİTLƏRİNİN DİELEKTRİK XASSƏLƏRİNİN TEMPERATUR ASILILIQLARI

A.Ə. HADİYEVA<sup>1</sup>, V.İ. EMİNOVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, AZ1010, prospekt Azadlıq 20

<sup>2</sup>Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində Azərbaycan-Fransız Universiteti (UFAZ), Az1000, Nizami küç.183

e-mail: [aynura.hadiyeva@asoiu.edu.az](mailto:aynura.hadiyeva@asoiu.edu.az)

Bu tədqiqat, polipropilen (PP)+ nanogil (NG) nanokompozitlərinin dielektrik xassələrinin temperatur asılılığını araşdırır. Nəticələr, PP + NG nanokompozitlərinin dielektrik nüfuzluğunun ( $\epsilon'$ ) temperatur artdıqca artdığını göstərir. Məsələn, PP + 10% NG kompozitində  $\epsilon'$  40% artmışdır. Temperatur 393K-dən sonra  $\epsilon'$  müəyyən dərəcədə azalmağa başlayır. Eyni zamanda, dielektrik itkisinin ( $tg\delta$ ) temperaturla artdığı müşahidə edilir və yüksək temperaturlarda əhəmiyyətli dərəcədə artır. Bu nəticələr, PP + NG nanokompozitlərinin dielektrik xüsusiyyətlərinin temperatur artdıqca dəyişdiyini və bu materialların müxtəlif temperatur şəraitində izolyasiya materialları kimi tətbiqləri üçün faydalı ola biləcəyini göstərir.

**Açar sözlər:** dielektrik nüfuzluğu, dielektrik itkisi, nanokompozitlər, nanogil, polipropilen  
DOI:10.70784/azip.2.2025418

### GİRİŞ

Kabel sənayesində istifadə olunan izolyasiya materiallarının yalnız elektrik möhkəmliyi və keçiriciliyi ilə məhdud şəkildə qiymətləndirilməsi kifayət etmir. Bu materialların dielektrik xassələrinin öyrənilməsi onların tətbiq sahələrinin genişləndirilməsi baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir [1, 2]. Polimer əsaslı materialların üstünlüyü ondadır ki, onlar həm emal texnologiyasına uyğun gəlir, həm də uzunmüddətli istismar şəraitində sabit xüsusiyyətlər nümayiş etdirirlər [3].

Xüsusilə, polipropilen (PP) matrisli nanokompozitlər bu sahədə geniş tədqiq olunan materiallardan biridir. Əlavə olunmuş nanohissəciklər kompozitlərin mikro- və makrostrukturunu dəyişməklə onların dielektrik xüsusiyyətlərinə təsir göstərir. Araşdırmalar göstərir ki, nanogil əlavəli PP nanokompozitlərinin elektrik möhkəmliyi saf PP-yə nisbətən müəyyən qədər azalır, lakin onların üstünlüyü yüksək funksionallığa və daha yaxşı elektrik stabilliyinə malik olmaları ilə bağlıdır [1-3]. Kompozit quruluşda yüklərin əmələ gəlməsi və hərəkəti materialın dielektrik davranışını müəyyənləşdirən əsas amillərdəndir.

Bununla yanaşı, nanokompozitlərin xassələri yalnız daxili quruluşla deyil, həm də müxtəlif xarici amillərin təsiri ilə formalaşır. Temperatur, xarici elektrik sahəsinin tezliyi, eləcə də müxtəlif növ şüalanmalar materialın dielektrik göstəricilərinə ciddi təsir göstərir [4-6]. Buna görə də tədqiqatçılar üçün əsas məqsədlərdən biri müxtəlif komponentlərin məqsədyönlü seçilməsi ilə əvvəlcədən tələb olunan parametrlərə malik dielektrik materialların hazırlanmasıdır.

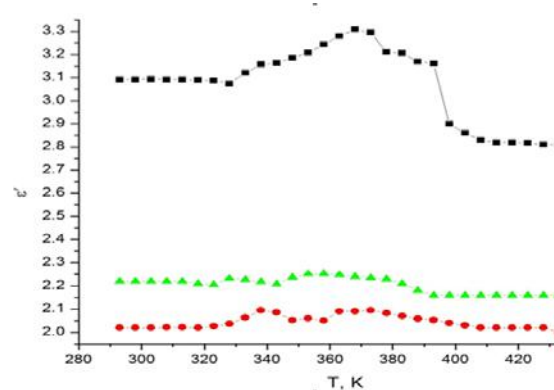
Nanogil əlavəli PP + NG nanokompozitləri bu baxımdan xüsusi maraq doğurur. Belə materiallarda elektrik keçiriciliyi, polyarlaşma və relaksasiya proseslərinin dəyişən cərəyan sahəsində davranışı hələ geniş şəkildə öyrənilməmişdir. Bu istiqamətdə aparılacaq araşdırmalar müxtəlif temperatur intervalında dielektrik xarakteristikaların aşkara çıxarılmasına imkan verəcək və nəticə etibarilə yeni nəsil kabel izolyasiya materiallarının hazırlanmasına şərait yaradacaqdır.

### TƏCRÜBİ NƏTİCƏLƏR VƏ İZAH

PP + NG nanokompozitlərinin dielektrik xassələrinin tədqiqi üçün xüsusi ölçmə qurğusundan istifadə edilmişdir. Dielektrik parametrlərin dəyişən elektrik sahəsində ölçülməsi məqsədilə qalınlığı 140–170mkm, diametri isə 20 mm olan press formalı nümunələr hazırlanmışdır. Nümunələrin hər iki səthinə qalınlığı 7mkm olan alüminium folqa elektrod qismində yapışdırılmışdır.

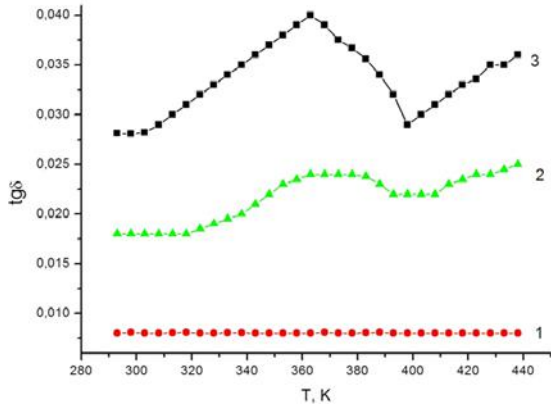
Elektrik tutumunun ( $C$ ) və dielektrik itkilərin tangens bucağının ( $tg\delta$ ) ölçülməsi üçün nümunələr ölçü özüyində sıxılmış yaylara bərkidilmiş, paslanmayan metaldan hazırlanmış elektrodlar arasına yerləşdirilmişdir. Bütün ölçmələr yeni hazırlanmış nümunələr üzərində otaq şəraitində aparılmış, ölçmənin nisbi xətası isə 5%-dən çox olmamışdır [4].

Ölçmələr zamanı nanokompozitlərə tətbiq edilən temperatur intervalı  $T=20-150^{\circ}\text{C}$  arasında dəyişmişdir. Alınmış nəticələr əsasında kompleks dielektrik nüfuzluğun həqiqi və xəyali hissələrinin ( $\epsilon'$  və  $\epsilon''$ ), həmçinin dielektrik itkilərin tangens bucağının ( $tg\delta$ ) temperaturdan asılılığı təyin edilmişdir.



Şəkil 1. PP+ NG nanokompozitlərinin dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin ( $\epsilon'$ )  $\nu=1\text{kHz}$ -dəki temperatur ( $T$ ) asılılıqları: 1- saf PP; 2-P+2,0% NG ; 3-PP+10,0% NG.

Şəkil 1 və 2-də nanokompozitlərin və PP-nin  $\epsilon'$  və  $tg\delta$ -nın 1 kHs-də temperatur asılılığı verilmişdir. Göründüyü kimi, NG-in 10% miqdarında  $\epsilon'$ -in artımı müşahidə olunur. PP+ 10% NG nanokompozitinin  $\epsilon'$ -i ( $\epsilon' = 3,1$ ) saf PP-yə nəzərən ( $\epsilon' = 2,0$ ) 40% artmışdır.



Şəkil 2. PP+NG nanokompozitlərinin dielektrik itkisinin tangens bucağının ( $tg \delta$ )  $\nu=1$ kHs-dəki temperatur (T) asılılıqları: 1- saf PP; 2-PP+2,0% NG; 3-PP+10,0% NG

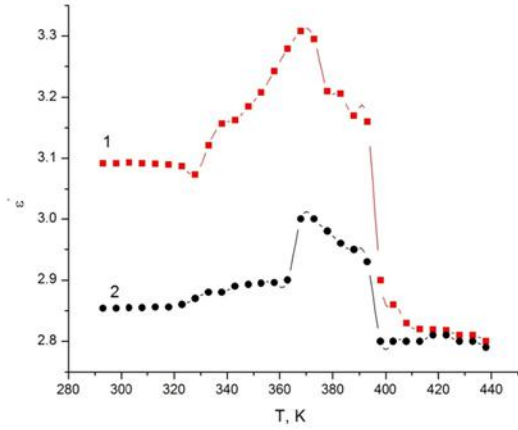
Qeyd edək ki, gil süxurlarının dielektrik nüfuzluğunun qiyməti qiyməti bir neçə vahiddən (quru çöküntü süxurlarında) 80-ə (suda) qədərdir və əsasən suyun həcmi miqdarından və süxur mineralının tərkibindən asılıdır. Vulkan süxurlarında  $\epsilon=5-12$ , çöküntü süxurlarında 2-3 vahiddən (quru süxur) 16-40 vahidə (tam su ilə doymuş süxur) qiymətlər alır. Əlavə kimi istifadə etdiyimiz NG-in  $\epsilon$ -u  $\epsilon=2,0-8,0$ , matrisada isə  $\epsilon=2,0$  vahiddir [7]. Nanokompozitdə  $\epsilon'$ -in T-dən asılı olaraq belə dəyişməsi Maksvell-Vaqner polyarlaşması ilə əlaqədardır, matrisanın və əlavənin səthi enerjisi, sistemin keçiriciliyi və dielektrik xassələrinin başqa parametrləri əlavənin konsentrasiyasının sərhəd qiymətlərində dəyişməyə başlayır (perekolyasiya sərhədi). NG-in kiçik konsentrasiyalarında kompozitin  $\epsilon'$ -i saf PP-yə nəzərən azalmışdır [8]. 2,0% həcmi miqdarından sonra quruluş komponentlərinin səth enerjisində yaranan fərqlə görə nanokompozitin fazalararası quruluşunda nizamsızlıq yaranır və nanogil hissəcikləri klasterlər əmələ gətirirlər. Bu klasterlərin səthi onları əmələ gətirən hissəciklərin ümumi səthindən azdır. NG-in həcmi miqdarı artdıqca klasterlərin də sayı artır, hissəciklər arasında dielektrik təbəqə azalır və bu da elektrik tutumunun artmasına (deməli,  $\epsilon'$ -in artmasına) səbəb olur. Şəkil 1-dən də göründüyü kimi, 2,0% həcmi miqdarında nanogil daxil edilmiş kompozitlər üçün temperaturun artması ilə 290-340 K -ə qədər  $\epsilon'$  dəyişir. NG-in sonrakı artımında 10% həcmi miqdarında  $\epsilon' = f(T)$  asılılığının xarakteri dəyişir. Əvvəlcə bu nanokompozitin dielektrik nüfuzluğu temperatur artdıqca artmağa başlayır, kristallitlərin ərimə temperaturuna yaxın temperaturda ( $\sim 393$ K) isə  $\epsilon'$ -in azalma dərəcəsi xeyli artır və sonra temperaturun artması ilə  $\epsilon'$  dəyişir. Saf PP və PP+2,0 % NG kompozitləri ilə müqayisədə PP+10,0% NG kompozitində  $\epsilon'$ -in azalma temperaturu 15 K aşağı temperaturlar bölgəsinə sürüşür.

$tg\delta$ -nın temperatura görə dəyişməsinə baxdıqda görürük ki, NG-in 10% həcmi miqdarında dielektrik itkisi əhəmiyyətli dərəcədə artır. 293 K-də  $tg\delta$  saf PP üçün  $0,007 \pm 0,0001$  isə, PP+10% NG kompoziti üçün  $0,028 \pm 0,0001$ -dir. Dielektrik itkisinin böyük qiymət alması elektrik keçiriciliyinin artması ilə bağlıdır .

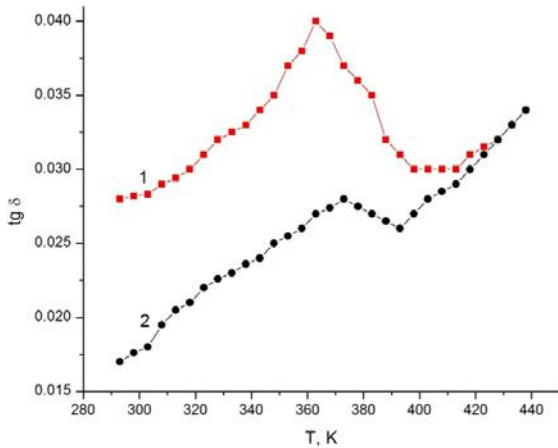
Tədqiq olunan nanokompozitlərin 1kHs-də elektrik keçiriciliyinin əlavənin miqdarından asılılığı göstərdi ki, saf PP-yə nisbətən PP+10,0% NG nanokompozitinin keçiriciliyi artır [1]. Şəkil 2-dən görünür ki, saf PP və nanokompozitlərin dielektrik itkisinin temperatur asılılıqları fərqlənirlər. Saf PP üçün nəzərə cəripacaq dəyişiklik yoxdur. Nanokompozitlər üçün  $tg\delta = f(T)$  asılılığının xarakteri dəyişir, temperatur artdıqca  $tg\delta$  da artır. Matrisanın yumşalma temperaturunda özünün maksimum qiymətini alır, sonra azalaraq kristallitlərin ərimə temperaturuna yaxın bölgədə minimumdan keçir. Temperaturun sonrakı artımı  $tg\delta$ -nın yenidən artmasına səbəb olur. Qeyd etmək lazımdır ki, matrisada NG -in konsentrasiyası artdıqca aşağı və yuxarı temperaturalarda  $tg\delta$ -nın artma (həmçinin azalma) dərəcəsi böyüyür, eyni zamanda  $tg\delta$ -nın azaldığı temperatur 10-15K aşağı temperatur bölgəsinə doğru sürüşür. PP+ NG nanokompozitlərində dielektrik itkisinin belə dəyişməsi həmin nümunələrin dəyişən elektrik sahəsində elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı ilə tam korrelyasiya olunur. Ədəbiyyatda bəzi müəlliflərin fikrincə, [8-11], bəzi temperatur bölgələrində elektrik keçiriciliyinin xarakteri və bununla əlaqədar olaraq asılılıqlar dielektrik itkisi, dielektrik relaksasiya zamanı və polyarlaşma proseslərinin aktivləşmə enerjisi eyni ola bilər. Polimer kompozit maddələrin dielektrik xassələrinin bu cür dəyişməsi matrisanın molekulyar hərəkətiliyinin istilik təbiətli olduğunu göstərir və nanokompozitlərin dielektrik xüsusiyyətləri ilə əlaqədardır.

Qeyd edildiyi kimi, PP+ NG nanokompozit quruluşunda matrisanın ayrı-ayrı yerlərində NG hissəciklərinin bir yerə toplanması baş verə bilər. Bu yığılmış hissəciklər – klasterlər PP matrisasında nizamsız paylanırlar. NG-in həcmi miqdarı artdıqca klasterlərin də sayı artır. Alınan nümunələrin eni boyunca qapalı şəkildə düzülmiş klasterlərə aktiv müqavimət kimi baxmaq olar. Baxmayaraq ki, PP-yə nəzərən NG-in keçiriciliyi çox-çox yüksəkdir, hesab etmək olar ki, nanokompozitin müqaviməti NG hissəciklərinin öz aralarında bir-birinə toxunması ilə hesablanıla bilər. Klasterlərin sərhədlərində (bu klasterlər  $\epsilon$ -u az olan incə PP təbəqələri ilə əhatə olunmuşdur) dəyişən elektrik sahəsində sərbəst elektrik yüklərinin toplanması və yenidən paylanması - Maksvell-Vaqner həcmi polyarlaşması baş verir. Məlumdur ki, [9] daxili elektrik sahəsi aşağı tezliklərdə keçiriciliyə uyğun, yüksək tezliklərdə isə dielektrik nüfuzluğuna görə paylanırlar. Deməli, sahənin tezliyinin artması ilə  $\epsilon'$ -in azalması nanogil klasterlərində qiüvvətli daxili sahənin yaranması ilə izah oluna bilər.

Şəkil 3 və 4-də PP+10,0% NG nanokompozitinin  $\epsilon'$  və  $tg\delta$ -nın temperaturdan asılı olaraq qızma və soyuma əyriləri verilmişdir ( $\nu=1$  kHs).



Şəkil 3. PP+10,0 NG kompozitininin kompleks dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin ( $\epsilon'$ ) temperaturdan ( $T$ ) asılı olaraq 1) qızma və 2) soyuma əyriləri.



Şəkil 4. PP+10,0 NG kompozitininin dielektrik itkisinin tangens bucağının ( $tg\delta$ ) temperaturdan ( $T$ ) asılı olaraq 1) qızma və 2) soyuma əyriləri

Əyrilərdən də görüldüyü kimi, PP+10,0% NG kompozitində faza keçidi bölgəsində temperatur ilgəyi (histerizis) müşahidə olunur. Həm qızma və həm də soyuma zamanı ilgək effektinin müşahidə olunması elektrofiziki parametrlərin PP+10,0 % NG nanokompozitində aşağı faizli kompozitlərə nisbətən daha dinamik və kəskin dəyişməsi ilə əlaqədardır. NG-in kiçik miqdarlarında bu fərqi tapmaq çətinidir. Şəkil 3 və 4-dən görüldüyü kimi, yüksək temperaturlu fazadan  $T=395K$  temperatürə qədər soyuma prosesində  $\epsilon'$  və  $tg\delta$ -nın temperatur asılılıqlarında soyuma ilə qızma əyriləri üst-üstə düşür.  $T<395 K$ -dən başlayaraq ilgək effekti meydana gəlməklə eyni temperaturda soyuma prosesində  $\epsilon'$  və  $tg\delta$ -nın qiyməti qızma prosesindəki qiymətlərindən azdır.  $T=390K$ -dən başlayaraq  $\epsilon'$  və  $tg\delta$  artmağa başlayır.  $T=365K$ -də

$\epsilon'$ ,  $T=370K$ -də isə  $tg\delta$  ən böyük qiymətlərini alırlar və sonra yavaş-yavaş azalırlar. Soyuma və qızma proseslərində dielektrik parametrləri yeni qiymətlər alır. Nanokompozitin özünü bu cür aparması termostimullaşma prosesləri ilə - hissəcik və matrisanın sərhədində yükün yenidən paylanması, bu yüklərin daha dərin tələlərdə toplanması və bunun nəticəsi olaraq, qeyri-bircins mühitin yaranması ilə əlaqədar ola bilər [10]. Otaq temperaturuna qədər soyumadan sonra nanokompozit nümunələr bu halda uzun müddət qala bilərlər. Tədqiqatçıların fikrincə [9-11], kompozit materiallarında bu xüsusiyyət ilgək effekti ilə əlaqədar olub, öz növbəsində elektrik aktiv defektlərin (tələlərin) temperatur həssaslığından yaranan asimmetrik effektlərlə müşahidə olunur. Hətta soyuma sürəti çox da böyük olmadıqda belə makrosistem kvazitarazlıq vəziyyətini ala bilmir (qüsurların başlanğıc halı): defektlərin əvvəlki konsentrasiyaları o saat bərpa oluna bilmir və nümunənin tarazlıq vəziyyətinə qayıtması otaq temperaturunda uzun müddət tələb edir. Soyuma zamanı bu cür kompozitlərdə elektrik aktiv defektlərin yaranması polimer- NG sərhəddində mexaniki gərginliyin təsiri altında polimer matrisanın deformasiyası hesabına ola bilər, çünki polimer- NG sərhəddində komponentlər fərqli termik genişlənmə və istilik tutumuna malik olmaqla bərabər, eyni zamanda fərqli elektrik keçiriciliyinə də malikdirlər. Qızma və soyuma prosesinin bir dövründə dielektrik nüfuzluğunun və dielektrik itkisinin nisbi dəyişməsi uyğun olaraq 8% və 38%-dir.

## NƏTİCƏ

Bu tədqiqatın nəticələri göstərir ki, PP + NG nanokompozitlərinin dielektrik xassələri temperaturdan əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır. NG əlavəsinin miqdarının artması ilə dielektrik nüfuzluq ( $\epsilon'$ ) və dielektrik itkisi ( $tg\delta$ ) temperatur artdıqca artır. Məsələn, PP + 10% NG kompozitində  $\epsilon'$  40% artmışdır, lakin müəyyən bir temperaturdan sonra (təxminən 393K)  $\epsilon'$  azalmağa başlayır. Eyni zamanda, dielektrik itkisinin ( $tg\delta$ ) temperatur artdıqca artdığı müşahidə edilmişdir. Bu dəyişikliklər, PP + NG nanokompozitlərinin yüksək temperatur şəraitində dielektrik xüsusiyyətlərinin sabitliyini və effektivliyini göstərir. Nəticədə, bu nanokompozitlər, xüsusilə kabel izolyasiya materialları kimi yüksək temperatur və tezlikdə işləyən tətbiqlər üçün potensial olaraq uyğun materiallardır. Tədqiqat, PP + NG nanokompozitlərinin dielektrik xüsusiyyətlərinin optimallaşdırılmasının yeni nəsil izolyasiya materiallarının hazırlanmasında mühüm əhəmiyyət kəsb etdiyini göstərir.

[1] A.R. Sadiqova, P.B. Əsilbəyli, A.Ə. Hadiyeva, X.O. Sadiq, İ.M. İsmayilov, V.Ə. Ələkbərov. Polipropilenin elektrofiziki xassələrinə nanogilin təsiri, AJP Fizika, 2023, section C: Conference H.A. Aliyev, p. 63-66.

[2] M.A. Musayev, A.Ə. Hadiyeva, A.N. Cəfərova. Müxtəlif temperaturlarda və polyarlaşma gərginliklərində polipropilen əsaslı nanogil əlavə edilmiş kompozitlərin elektret xassələri, AJP Fizika, v.XXIX, № 4, s.7-11.

- [3] A.R. Sadiqova, A.Ə. Hadiyeva, P.B. Əsilbəyli. Elektrik sahəsinin təsiri ilə polietilen+nanogil nanokompozitlərində baş verən molekulyar proseslər. AJP Fizika, 2021, v.XXVII, № 3, s.17-22.
- [4] M. Kuliev, O. Samedov, R. Ismayilova. The temperature- frequency dispersion of the dielectric characteristics of composite materials based on polyethylene with TIInS<sub>2</sub> inclusions, Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2012, v. 40, № 2, p. 91-96.
- [5] M. Ramazanov, S. Abasov, Z. Mustafaev et al. Dielectric and strength properties of the polymer compositions. Surface engineering and applied electrochemistry, 2006, № 5, p. 61.
- [6] A. Hadiyeva, M. Ramazanov. The influence of nanoclay to the electrophysics properties of polypropylene/1st International scientific conference of young scientists and specialties, Baku: 2014, p. 199-201.
- [7] P. Shepherd, F. Golemba, F. Maine. Clay layers, Adv. Chem.Ser., 1974, v.41, № 6, p. 134.
- [8] A.Б. Турик, М.Ю. Родинин. Диэлектрические потери в материалах с ограниченной областью распределения времени релаксации. Письма в ЖТФ, 2010, т. 36, № 1, с. 37-43.
- [9] М.М. Кулиев, Р.С. Исмаилова. Диэлектрические и электрические свойства композитов с пьезоэлектрическим наполнителем. Пластические массы, 2012, № 4, с. 10-13.
- [10] Д.Н. Войлов и др. Диэлектрические свойства нанокomпозитов на основе полиамида 6 и металлосодержащих соединений. Пластические массы, 2008, № 3, с. 15-18.
- [11] A.E. Hadiyeva, A.R. Sadigova, V.A. Alekperov, H.S. İbragimova. Dielectric properties of PP and PP+D<sub>kl</sub> nanocomposites in different percentage, AJP Physics, № 4, v.22, 2016, p.7-9.

**A. Hadiyeva, V.I. Eminova**

#### **TEMPERATURE DEPENDENCE OF DIELECTRIC PROPERTIES OF POLYPROPYLENE NANOCOMPOSITES WITH NANOCCLAY ADDITIVES**

This study investigates the temperature dependence of the dielectric properties of polypropylene (PP) + nanoclay (NC) nanocomposites. The results show that the dielectric permittivity ( $\epsilon'$ ) of PP + NC nanocomposites increases with rising temperature. For example, the  $\epsilon'$  of the PP + 10% NC composite increased by 40%. However, after reaching 393K,  $\epsilon'$  starts to decrease. At the same time, the dielectric loss tangent ( $tg\delta$ ) increases with temperature, significantly rising at higher temperatures. These findings demonstrate that the dielectric characteristics of PP + NC nanocomposites change with temperature, making these materials potentially useful for insulation applications under various temperature conditions.

*Qəbul olunma tarixi: 24.11.2025*