Яковенко Олена Сергіївна, інженер І категорії кафедри загальної фізики фізичного факультету Київського на&shy;ціонального університету імені Тараса Шевченка: &laquo;Вплив зовнішніх чинників на формування фізичних власти&shy;востей полімер-вуглецевих нанокомпозитів&raquo; (01.04.07 - фізика твердого тіла). Спецрада Д 26.001.23 у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Міністерство освіти і науки України

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова

праця на правах рукопису

ЯКОВЕНКО ОЛЕНА СЕРГІЇВНА

УДК 537.312, 537.87, 538.95

ДИСЕРТАЦІЯ

ВПЛИВ ЗОВНІШНІХ ЧИННИКІВ НА ФОРМУВАННЯ ФІЗИЧНИХ

ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕР-ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОКОМПОЗИТІВ

01.04.07 – Фізика твердого тіла

Природничі науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних

наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,

результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ О.С.Яковенко

 (підпис)

Науковий керівник: Мацуй Людмила Юріївна, доктор

фізико-математичних наук,

професор

Київ – 2018

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.............................................................. 18

ВСТУП.............................................................................................................. 19

РОЗДІЛ 1. МЕТОДИ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ

ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ (ОГЛЯД

ЛІТЕРАТУРИ).................................................................................................. 26

1.1. Електропровідні композитні матеріали ................................................... 26

1.1.1. Фактори впливу на формування перколяційного кластера в композиті.27

1.1.1.1. Аспектне співвідношення наповнювача та ступінь його

диспергованості в полімерній матриці.................................................... 27

1.1.1.2. Міжфазна взаємодія на границі полімер-наповнювач..... 29

1.1.2. Моделі електропровідності композитів ............................................ 32

1.2. Методи формування композитів із заданим розподілом наповнювачів 36

1.2.1. Механізм орієнтації вуглецевих частинок під впливом електричного

поля ............................................................................................................... 37

1.2.2. Особливості формування заданого розподілу в композитах з

магнітною компонентою наповнювача....................................................... 42

1.2.3. Інші методи отримання композитів із заданим розподілом

наповнювачів ................................................................................................ 44

1.3. Полімер-вуглецеві композити як матеріал для електромагнітного

екранування ...................................................................................................... 44

1.3.1. Діелектричні властивості полімер-вуглецевих композитів.............. 44

1.3.2. Зміна екрануючих властивостей мультифазних композитів за

рахунок додаткового діелектричного наповнювача................................... 47

1.4. Висновок по розділу.................................................................................. 49

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКИ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗРАЗКІВ.50

2.1. Вихідні речовини....................................................................................... 50

2.2. Методики виготовлення зразків композитних матеріалів ...................... 52

2.2.1. Методика виготовлення композитних зразків із застосуванням УФ

опромінення.................................................................................................. 52

16

2.2.2. Методика виготовлення композитних зразків під впливом

електричного поля........................................................................................ 54

2.2.3. Методика виготовлення композитних зразків під впливом магнітного

поля ............................................................................................................... 57

2.3. Досліджені композитні системи ............................................................... 59

2.4. Методи дослідження фізичних властивостей композитних матеріалів . 60

2.5. Висновки по розділу.................................................................................. 61

РОЗДІЛ 3. КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ, ЩО МІСТЯТЬ ОРІЄНТОВАНИЙ

ЕЛЕКТРИЧНИМ ПОЛЕМ НАНОВУГЛЕЦЕВИЙ НАПОВНЮВАЧ ........... 62

3.1. Динаміка процесу формування заданого розподілу вуглецевого

наповнювача в композитних матеріалах внаслідок дії електричного поля .. 63

3.2. Результати експериментальних досліджень електроопору композитних

матеріалів, що містять орієнтований електричним полем нановуглецевий

наповнювач....................................................................................................... 80

3.3. Діелектричні властивості композитів залежно від розподілу наповнювача

в матриці ........................................................................................................... 85

3.4. Висновок до розділу.................................................................................. 99

РОЗДІЛ 4. БАГАТОКОМПОНЕНТНІ КОМПОЗИТИ З ОРІЄНТОВАНИМ

МАГНІТНИМ ПОЛЕМ РОЗПОДІЛОМ НАПОВНЮВАЧІВ...................... 101

4.1. Особливості структурно-морфологічної будови багатокомпонентних

композитних матеріалів за рахунок впливу магнітного поля в процесі їх

формування..................................................................................................... 101

4.2. Вплив просторового розподілу наповнювачів внаслідок дії магнітного

поля на електропровідність багатокомпонентних композитів .................... 106

4.3. Анізотропія магнітних властивостей багатокомпонентних композитів

залежно від просторового розподілу наповнювачів .................................... 111

4.3.1. Двокомпонентний композит BaFe12O19/ЕС з випадковим розподілом

наповнювачів .............................................................................................. 111

4.3.2. Двокомпонентний композит BaFe12O19/ЕС з впорядкованим

розподілом наповнювачів .......................................................................... 116

17

4.3.3. Багатокомпонентний композит з випадковим розподілом

наповнювачів .............................................................................................. 117

4.3.4. Багатокомпонентні композити з впорядкованим розподілом

наповнювачів .............................................................................................. 119

4.4. Електродинамічні властивості багатокомпонентних композитних

матеріалів залежно від просторового розподілу наповнювачів .................. 124

4.5. Дослідження характеристик екранування електромагнітного

випромінювання епоксидними композитами з різними типами вуглецевих

наповнювачів.................................................................................................. 129

4.6. Висновок до розділу................................................................................ 136

РОЗДІЛ 5. МІЖФАЗНА ВЗАЄМОДІЯ ЯК ЧИННИК ЕЛЕКТРИЧНИХ

ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕР/ВУГЛЕЦЕВИХ КОМПОЗИТІВ ................. 139

5.1. Вплив типу рідинного середовища при ультразвуковому диспергуванні

ТРГ на структурно-морфологічний стан ГНП.............................................. 139

5.2. Вплив диспергуючого середовища та обробки ультрафіолетом на

функціональний склад поверхні графітових нанопластинок....................... 144

5.3. Морфологія композитних матеріалів ГНП/епоксидна смола ............... 148

5.4. Електричні властивості композитних матеріалів ГНП/епоксидна смола в

залежності від середовища УЗ диспергування та часу УФ опромінення

вихідних ГНП ................................................................................................. 149

5.5. Температурна залежність електроопору композитів ГНП/ЕС з

модифікованою міжфазною взаємодією....................................................... 156

5.6. Діелектричні властивості композитів ГНП/ЕС з модифікованою

міжфазною взаємодією .................................................................................. 160

5.7. Теплові властивості композитів ГНП/ЕС з модифікованою міжфазною

взаємодією ...................................................................................................... 168

5.8. Висновки по розділу................................................................................ 169

ВИСНОВКИ ................................................................................................... 172

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ....................................................... 175

ДОДАТКИ ...................................................................................................... 195

18

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

BaFe12O19 – гексаферит барію;

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

БВНТ – багатостінні вуглецеві нанотрубки;

ВНТ – вуглецеві нанотрубки;

ГНП – графітові нанопластинки;

ЕМВ – електромагнітне випромінювання;

ЕРС – електрорушійна сила;

ЕС – епоксидна смола;

ІЧ – інфрачервоний;

КМ – композитний матеріал;

ПК – персональний комп’ютер;

ТРГ – терморозширений графіт;

УЗ – ультразвуковий;

УЗД – ультразвукове диспергування;

УФ – ультрафіолет, ультрафіолетовий;

ФГ – функціональні групи;

ε – діелектрична проникність;

р – аспектне співвідношення;

σ – електропровідність композиту;

σс – електропровідність в точці критичної концентрації;

σ(φ), σ(с) – концентраційна залежність електропровідності;

φс – значення перколяційного порогу.

19

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні технології для свого розвитку потребують

матеріалів із новими, модифікованими та покращеними властивостями. Тому

в останні роки значний інтерес до себе привертають полімерні композити з

вуглецевими наповнювачами, що поєднують в собі унікальні електричні,

електродинамічні, механічні, оптичні, сорбційні властивості вуглецевих

наноструктур та полімерів. Композитні матеріали (КМ) на основі вуглецю

відіграють, зокрема, важливу роль в отриманні покриттів для поглинання і

екранування електромагнітного випромінювання (ЕМВ) завдяки їх низькій

масі та відповідним електронним властивостям. Заданий розподіл вуглецевого наповнювача в полімерній матриці дозволяє підсилити ці властивості в

одному напрямку і ослабити в іншому, в результаті чого структурно

організовані вуглецеві нанокомпозити характеризуються покращеними

фізико-механічними властивостями, являючи собою матеріали, необхідні для

застосування в різноманітних областях техніки, приладобудування, екології.

Наразі вченим вдається досягати структурної орієнтації наповнювача в

КМ різними методами: шляхом впливу електричного та магнітного полів,

механічними навантаженнями, зміною ступеня взаємодії наповнювача та

полімерної матриці. Кожен з цих методів дозволяє структурно організувати

наночастинки наповнювача за певним критерієм, формуючи таким чином

нанокомпозити із заданим набором макроскопічних властивостей.

Незважаючи на певні успіхи в області регулювання електрофізичних та

електродинамічних властивостей полімерних КМ, що містять в своєму складі

вуглецеві наповнювачі, цілий ряд питань, пов’язаних з розробкою методів

диспергування нановуглецевого наповнювача, його розподілом в полімерній

матриці, виявленням і теоретичним осмисленням закономірностей зміни

електричних, магнітних, теплових і електродинамічних властивостей в

матеріалах при зміні типу компонентів, структурної організації

наповнювачів, а, отже, і ступеня взаємодії компонентів КМ, температури,

частоти ЕМВ потребує подальших досліджень.

20

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційне дослідження є частиною наукової роботи, що проводиться на

кафедрі загальної фізики фізичного факультету КНУ ім. Тараса Шевченка в

лабораторії «Фізичне матеріалознавство твердого тіла». Роботу було

виконано в рамках таких держбюджетних тем: №11БФ051-01

«Фундаментальні дослідження в галузі фізики конденсованого стану і

елементарних частинок, астрономії і матеріалознавства для створення основ

новітніх технологій» (№ держ. реєстрації 0106U006392, 2011-2014 рр.),

№15БФ051-02 «Розробка нових нанокомпозитів вуглець-полімер із заданим

розподілом наповнювача для захисту від ЕМВ» (№ держ. реєстрації

0115U000264, 2015р.), теми «Полімерні композити з орієнтованим

розподілом наповнювача як елементи захисту від ЕМВ», яка виконувалась

згідно Розпорядження Президента України №638/2015, а також в рамках

проекту за програмою «НАТО за мир» «Novel nanocomposite materials based

on low dimensional carbon systems for electromagnetic shielding»

SfP(NUKR.SFPP 984243).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи було встановлення

впливу міжфазної взаємодії та особливостей розподілу компонентів

наповнювача в полімер-вуглецевих композитних матеріалах на їх електричні,

електродинамічні, теплові, магнітні властивості, що є основою розробки

композитних матеріалів із регульованим набором фізичних властивостей.

У відповідності до мети роботи були поставлені такі завдання

дослідження:

• Розробити методику виготовлення композитів з заданим розподілом

вуглецевого наповнювача та рівнем міжфазної взаємодії компонент

наповнювача.

• Одержати нанокомпозити з різними типами вуглецевих наповнювачів,

різним характером розподілу та рівнем міжфазної взаємодії наповнювача в

епоксидній матриці і встановити взаємозв’язок між параметрами

виготовлення та структурно морфологічним станом КМ.

21

•Дослідити вплив типу та концентрації нановуглецевого наповнювача,

характеру його розподілу в полімерній матриці, рівня міжфазної взаємодії на

особливості формування перколяційного кластера в епоксидній матриці, на

електричні та електродинамічні властивості отриманих композитів.

Об’єкт дослідження – структура і електричні, електродинамічні,

теплові, магнітні властивості полімер-вуглецевих композитних матеріалів з

різними типами наповнювачів та різним характером їх розподілу в

полімерній матриці.

Предмет дослідження – особливості формування перколяційного

кластера компонентів наповнювача під впливом зовнішніх полів та

опромінення ультрафіолетом, та закономірності формування електричних і

електродинамічних властивостей полімер-вуглецевих композитних

матеріалів на основі вуглецевих нанотрубок та графітових нанопластинок під

впливом зовнішніх чинників.

Методи дослідження: атомно-силова, скануюча електронна, оптична

мікроскопія; інфрачервона та КР-спектроскопія; дослідження

електропровідності на постійному струмі та температурних залежностей

електропровідності 2- та 4-зондовими методами; дослідження

електродинамічних властивос-тей (коефіцієнтів відбиття та загасання

електромагнітного випромінювання) за допомогою скалярного аналізатора

Р2-65; вимірювання діелектричної проникності методом короткозамкнутої

лінії та за допомогою векторної панора-ми Agilent Technologies N5227A-200;

дослідження температурних залежнос-тей теплопровідності методом

динамічного λ-калориметра; дослідження магнітних властивостей на

автоматизованому вібраційному магнетометрі.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Розроблено метод варіювання рівня міжфазної взаємодії в полімервуглецевих композитах, заснований на використанні в ролі наповнювача

графітових нанопластинок, опромінених ультрафіолетом та методи

створення полімер-вуглецевих композитних систем з орієнтованим за

22

допомогою магнітного або електричного полів розподілом компонентів

наповнювача в полімерній матриці.

2. Встановлено вплив параметрів зовнішніх силових полів, в’язкості

рідкого полімерного середовища, типу наповнювача (багатостінні вуглецеві

нанотрубки, графітові нанопластинки та нанопорошок гексафериту барію

BaFe12O19.) на особливості формування провідного кластера в композитних

структурах з орієнтованим розподілом наповнювача.

3. Показано, що концентраційна залежність електропровідності

композитних систем з орієнтованим розподілом наповнювача

характеризується наявністю двох порогів перколяції: статичного, який

спостерігається при вищих концернтраціях наповнювача і його значення

залежить від параметрів самого наповнювача (форма, аспектне

співвідношення) та динамічного, який спостерігається при дії зовнішніх

чинників та визначається параметрами зовнішніх електричних або магнітних

полів.

4. Вперше показано, що зміна електричних та діелектричних

характеристик композитів при використанні опроміненого ультрафіолетом

вуглецевого наповнювача відбувається за рахунок зміни характеристик

міжфазного шару «вуглецевий наповнювач-полімер» внаслідок модифікації

хімічного складу поверхні частинок нановуглецю. Встановлено, що

підвищення діелектричної проникності композитів з опроміненими

ультрафіолетом графітовими нанопластинками описується в рамках моделі,

що враховує об’ємну частку міжфазної області.

5. Теоретично та експериментально встановлено вплив характеру

розташування вуглецевих нанотрубок відносно напрямку розповсюдження

електромагнітної хвилі на ступінь анізотропії та закономірності зміни

діелектричної проникності при підвищенні концентрації наповнювача в

полімерних композитних матеріалах з вуглецевими нанотрубками.

6. Вперше досліджено вплив типу вуглецевого наповнювача на

формування анізотропії діелектричних та магнітних властивостей в

23

композитах БВНТ/BaFe12O19/ЕС та ГНП/BaFe12O19/ЕС, отриманих під дією

магнітного поля і виявлено, що упорядкування магнітної компоненти

викликає перегрупування вуглецевої провідної сітки внаслідок переміщення

частинок BaFe12O19 по напрямку силових ліній зовнішніх полів.

Практичне значення одержаних результатів. Встановлений в роботі

взаємозв’язок між типом і структурою вуглецевих наповнювачів, а також їх

розподілом в полімерній матриці та фізичними властивостями

нанокомпозитів дозволить розробити наукове підґрунтя для впровадження

технологічних процесів одержання композитних матеріалів з наперед

заданими електрофізичними характеристиками. Практичне значення

одержаних результатів ви-значається комплексним характером проведених

досліджень нанокомпозит-них систем, що можуть бути застосовані для

створення композитних матеріалів із регульованим набором фізичних

параметрів. Результати даної роботи можуть бути враховані при розробленні

методик з виготовлення композитних матеріалів з анізотропними фізичними

властивостями.

Особистий внесок здобувача. Дисертант брала активну участь у всіх

етапах наукового дослідження. Автор роботи самостійно провела аналіз

літературних джерел по темі дисертації. Постановка мети та завдань

дослідження, вибір об’єктів і методів дослідження було здійснено в

результаті спільної роботи з науковим керівником Мацуй Л. Ю. Авторці

належить провідна роль щодо розробки схеми виготовлення композитних

матеріалів та безпосереднього їх отримання. Здобувач особисто проводила

експериментальні вимірювання електроопору і теплопровідності композитів

та дослідження мето-дом оптичної мікроскопії, що наведені в роботі.

Вимірювання спектрів комбінаційного розсіяння було проведено в

університеті М. Коперника (м. Торунь, Польща) за участю П. Шрьодера;

вимірювання польової залежності на-магніченості було проведено у НПЦ

НАН Білорусі по матеріалознавству (м. Мінськ, Білорусія) під керівництвом

О. В. Труханова; вимірювання електродинамічних характеристик композитів

24

було проведено на радіофізичному факультеті КНУ під керівництвом канд.

фіз.-мат. наук В. В. Олійника. Гексаферит барію було отримано за участю

м.н.с. О. А. Брусиловець у лабораторії хімічного факультету КНУ. Авторка

особисто опрацювала результати вимірювань та приймала активну участь в їх

обговоренні та аналізі. Здобувач брала безпосередню участь у написанні та

оформленні публікацій за темою роботи, зокрема, самостійно оформила

статті [1-4, 8, 11, 12] та окремі розділи в [5-7, 9, 10]. Обговорення отриманих

даних та інтерпретація результатів проводились разом із співавторами. В

роботах [3, 5, 8, 12] авторкою проведено аналітичні та чисельні розрахунки за

допомогою програмного забезпечення Nova і Maple 13. Основна частина

результатів, наведених в роботі, представлялася здобувачкою особисто на

шести вітчизняних та міжнародних наукових конференціях.

Апробація матеріалів дисертації. Результати дисертаційного

дослідження доповідались на наукових семінарах кафедри загальної фізики

Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Крім того,

основні результати роботи були представлені на всеукраїнських та

міжнародних наукових конференціях: «E-MRS 2014 Spring Meeting»

(м. Лілль, Франція, 26-30 травня 2014 р); «The 9th Torunian Carbon

Symposium (Carbon Materials in Sci-ence and Technology)» (м. Торунь,

Польща, 14-18 вересня 2014 р); «ХI Международная научная конференция

"Молодежь в науке-2014"» (м. Мінськ, Білорусь, 18-21 листопада 2014 р);

«Всеукраїнська конференція з міжнародною участю «Хімія, фізика та

технологія поверхні»» (м Київ, Україна, 13-15 травня 2015 р); «Fundamental

and Applied NanoElectroMagnetics-2015» (м. Мінськ, Білорусь, 25-27 травня

2015 р); «International research and practice conference: Nanotechnology and

Nanomaterials» (м. Львів, Україна, 26-29 серпня 2015 р.; м. Львів, Україна, 24-

27 серпня 2016 р)); «Ukrainian-German Symposium on Physics and Chemistry of

Nanostrctures and on Nanobiotechnology» (м Київ, Україна, 21-25 вересня

2015 р); «Міжнародна наукова конференція «Фізичні явища в твердих

тілах»» (м Харків, Україна, 1-4 грудня 2015 р); International Conference

25

«Electronic processes in organic and inorganic materials» (ICEPOM-10) (м.

Тернопіль, Україна, 23-27 травня 2016 р).

Публікації. За результатами дисертаційного дослідження опубліковано

27 наукових робіт, з них 12 статей у наукових фахових виданнях та 15 тез

доповідей конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п’яти

розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків.

Загальний обсяг дисертації становить 213 сторінок, в тому числі 154 сторінки

основного тексту. Дисертація містить 16 таблиць, 70 рисунків, бібліографію,

яка включає 195 посилань на праці вітчизняних і зарубіжних авторів та 6

додатків

ВИСНОВКИ

Експериментальноітеоретичновиявленовпливморфології

нановуглецевогонаповнювачанаособливостіформуванняпровідноїсіткив

композитіпіддієюелектричногополяПоказанощофактордеполяризації

нановуглецевоїчастинкиякийвизначаєтьсяморфологієючастинкитаїї

аспектнимвідношеннямзумовлюєхарактернийчасповоротучастинкипід

дієюелектричногополяієосновнимпараметромщовизначаєособливості

формуванняелектропровідноїсіткивкомпозитіпіддієюелектричногополя

Показанощоконцентраційназалежністьелектропровідностікомпозитів

характеризуєтьсядвомаперколяційнимипереходами

•статистичнимщовідбуваєтьсязгіднозкласичноютеорієюперколяції

придосягненніпевноговмістунаповнювача

•динамічнимщопроявляєтьсяпринижчомувмістувуглецевого

наповнювачавкомпозитітазумовленийдієюзовнішніхчинниківвпроцесі

йогоформуванняелектричнемагнітнеполепопереднійвплив

ультрафіолетунанаповнювачПоказанощоувипадкудинамічної

перколяціїокрімтипучастиноктаїхаспектногоспіввідношенняформа

кривоїσсвизначаєтьсяхарактеристикамиелектричногополяв’язкістю

полімерутаелектричнимитадіелектричнимихарактеристикамияк

наповнювачатакіполімерноїматриці

Впершеекспериментальноотриманоконцентраційнізалежності

діелектричноїпроникностікомпозитіввиготовленихвприсутності

електричногополяівиявленаанізотропіяεвідносноспіввідношенняосі

переважноїорієнтаціїБВНТінапрямкувектораЕЕМВтапоказанощо

поведінкаεсописуєтьсяврамкахмоделіМаксвеллаГарнетапризначеннях

фактораанізотропіїχ

Виявленощоукомпозитахзбінарнимнанонаповнювачем

БВНТЕСіГНПЕСорієнтуваннянепровідної

компонентинаповнювачагексаферитубаріювепоксиднійматриці

зарахунокдіїмагнітногополявпроцесівиготовленняведедододаткового



диспергуваннятаперерозподілупровідноїкомпонентинаповнювачащо

призводитьдопідвищенняелектропровідностітакихкомпозитіввразів

впорівняннізкомпозитнимисистемамизрівномірнимрозподілом

наповнювачаПоказанощовкомпозитахзГНПякіформуютьланцюгову

структурупровідногокластерацейефектбільшвираженийніждля

композитівзБВНТдляякиххарактернавзаємопроникаючакаркасна

структураперколяційногокластера

Впершевиявленоанізотропіюмагнітнихвластивостейвкомпозитах

БВНТЕСтаГНПЕСщобуливиготовленіпіддією

магнітногополявстановленощоанізотропнуповедінкумагнітних

характеристикзумовлюєорієнтуваннянеокремихчастиноквздовж

напрямкумагнітногополяаутвореннянимивпорядкованихланцюгівде

частинкипоєднанівглобулаххаотично

Впершеекспериментальновстановленодлякомпозитів

ГНПБВНТЕСщовпорядкуваннянаповнювачівмагнітнимполем

впроцесівиготовленняпризводитьдовиникненняанізотропіїдіелектричної

проникностікомпозитуВиявленощодлякомпозитівГНПЕС

ефектанізотропіїбільшзначимийніждлякомпозитівБВНТЕС

апідвищенняпоглинанняелектромагнітноговипромінюваннякомпозитамиз

бінарнимнаповнювачемпов’язанозізбільшеннямякдіелектричнихтакі

магнітнихвтратвкомпозитах

Експериментальновстановленовпливтипурідинногосередовища

використаногопридиспергуванніТРГатакожопроміненняГНП

ультрафіолетомрізноїтривалостіекспозиціїнаморфологіютаповерхневу

функціоналізаціюотриманихГНПтапоказанощообробкаГНП

ультрафіолетомприводитьдо

•підвищеннядіелектричноїпроникностікомпозитівГНПЕСщо

пов’язанозізбільшеннямдіелектричноїпроникностіміжфазногошарув

цихкомпозитахякеобумовленозміноюстануповерхніГНП



•підвищенняелектротатеплопровідностівкомпозитахГНПЕСщояк

показаваналізврамкахефективноїмоделіелектроопорупов’язанозі

зменшеннямзначенняконтактногоелектроопорущозумовлено

видаленнямзповерхніГНПізолюючихзабрудненьтапідвищеннярівня

міжфазноївзаємодіїїзарахунокперерозподілувмістуфункціональних

групнаповерхніГНПвбікпідвищеннячасткикарбоксильнихгруп