

Технічні науки

УДК 538.9:536.6

**Фіалко Наталія Михайлівна**

*доктор технічних наук, професор,  
член-кореспондент НАН України, завідувач відділу  
Інститут технічної теплофізики  
Національної академії наук України*

**Фиалко Наталья Михайловна**

*доктор технических наук, профессор,  
член-корреспондент НАН Украины, заведующая отделом  
Института технической теплофизики  
Национальной академии наук Украины*

**Fialko Nataliia**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Head of Department  
Institute of Technical Thermophysics of the  
National Academy of Sciences of Ukraine*

**Дінжос Роман Володимирович**

*доктор технічних наук, доцент, старший науковий співробітник  
Миколаївський національний університет імені В. О. Сухомлинського*

**Динжос Роман Владимирович**

*доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник  
Николаевский национальный университет имени В. А. Сухомлинского*

**Dinzhos Roman**

*Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Senior Researcher  
Mykolayiv National University named after V. Sukhomlinsky*

**Кліщ Андрій Володимирович**

*молодший науковий співробітник  
Інститут технічної теплофізики  
Національної академії наук України*

**Клищ Андрей Владимирович**

*младший научный сотрудник  
Институт технической теплофизики  
Национальной академии наук Украины*

**Klishch Andriy**

*Junior Research  
Institute of Technical Thermophysics of the  
National Academy of Sciences of Ukraine*

**Хміль Дмитро Петрович**

*молодший науковий співробітник  
Інститут технічної теплофізики  
Національної академії наук України*

**Хмил Дмитрий Петрович**

*младший научный сотрудник  
Институт технической теплофизики  
Национальной академии наук Украины*

**Khmil Dmytro**

*Junior Research  
Institute of Technical Thermophysics of the  
National Academy of Sciences of Ukraine*

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ  
ПОЛІМЕРНИХ МІКРО- І НАНОКОМПОЗИТІВ ВІД МЕТОДУ ЇХ  
СИНТЕЗУ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ПОЛИМЕРНЫХ МИКРО- И НАНОКОМПОЗИТОВ ОТ МЕТОДА ИХ  
СИНТЕЗА**

**STUDY OF THE DEPENDENCE OF THE THERMOPHYSICAL  
PROPERTIES OF POLYMER MICRO- AND NANOCOMPOSITES ON  
THE METHOD OF THEIR SYNTHESIS**

***Анотація.** Наводяться результати аналізу теплофізичних характеристик полімерних мікро- і наноконпозиційних матеріалів на основі поліетилену з різними наповнювачами – вуглецевими нанотрубками і частинками алюмінію. Досліджується вплив на концентраційні залежності коефіцієнта теплопровідності методів синтезу розглянутих композитів при зміні масової частки наповнювачів в широкому діапазоні значень.*

***Ключові слова:** теплофізичні властивості, методи отримання полімерних мікро- і наноконпозицій, вуглецеві нанотрубки, мікрочастинки алюмінію, перколяційні пороги.*

***Аннотація.** Приводятся результаты анализа теплофизических характеристик полимерных микро- и наноконпозиционных материалов на основе полиэтилена с различными наполнителями - углеродными нанотрубками и частицами алюминия. Исследуется влияние на концентрационные зависимости коэффициента теплопроводности методов синтеза рассматриваемых композитов при изменении массовой доли наполнителей в широком диапазоне значений.*

**Ключевые слова:** *теплофизические свойства, методы получения полимерных микро- и нанокомпозитов, углеродные нанотрубки, микрочастицы алюминия, перколяционные пороги.*

**Summary.** *The results of the thermophysical characteristics analysis of polymeric micro- and nanocomposite materials based on polyethylene with various fillers — carbon nanotubes and aluminum particles — are presented. The influence of the synthesis methods of the considered composites on the concentration dependences of the heat conductivity coefficient is studied upon a change in the mass fraction of fillers in a wide range of values.*

**Key words:** *thermophysical properties, methods for producing polymer micro- and nanocomposites, carbon nanotubes, aluminum microparticles, percolation thresholds.*

Підвищення вимог до експлуатаційних характеристик теплоенергетичного обладнання зумовлює необхідність використання для його виготовлення нових матеріалів, зокрема, полімерних мікро- і нанокомпозитів. Застосування в конструкціях різного устаткування матеріалів даного класу пов'язано з тим, що вони мають цілу низку унікальних технологічних і фізико-механічних характеристик [1-5]. Серед таких характеристик особливо виділяється широкий спектр теплопровідних властивостей полімерних композитів – від їх низькотеплопровідних до високотеплопровідних модифікацій.

На теплопровідні властивості полімерних мікро- і нанокомпозитів, як відомо, можуть істотно впливати методи їх синтезу [1, 2]. З огляду на це встановлення залежності даних властивостей від методу отримання композиційного матеріалу є актуальним завданням.

Робота присвячена дослідженню коефіцієнтів теплопровідності полімерних композиційних матеріалів при різних типах наповнювачів, різних величинах їх масових часток і методах їх отримання.

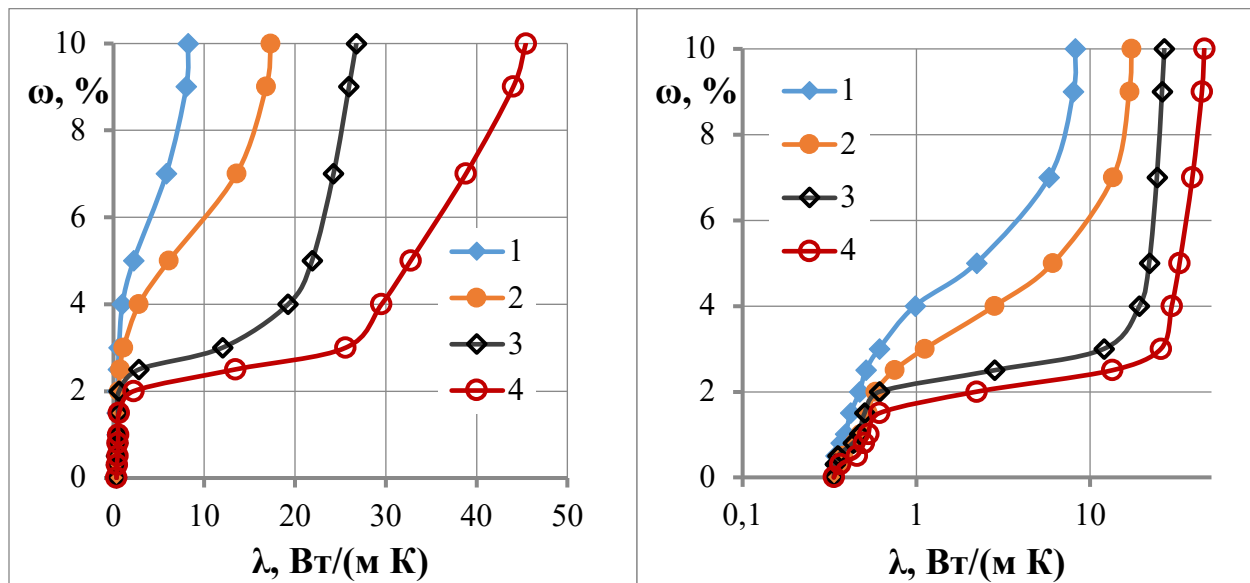
Розгляду підлягали наступні методи синтезу полімерних композитів: по-перше, метод змішування компонентів, що знаходяться в сухому вигляді, з використанням магнітної мішалки і ультразвукового диспергатора і гарячого пресування отриманої суміші (метод А); і по-друге, метод, заснований на змішуванні компонентів в розплаві полімерів дисковим екструдером при подальшому наданні композиту необхідної форми гарячим пресуванням (метод В).

Синтез композитів здійснювався на основі частково-кристалічного поліетилену із застосуванням в якості наповнювачів вуглецевих нанотрубок (ВНТ) або мікрочастинок алюмінію. Вуглецеві нанотрубки, що застосовувалися в ході досліджень, виготовлялися методом CVD (англ. Chemical vapor deposition - хімічне парофазне осадження). Вміст мінеральних домішок в них складав  $\sim 0,1\%$ . Мікрочастинки алюмінію, які використовувалися як наповнювач, були отримані з алюмінієвих тирси за допомогою їх розтирання в кульовому млині до частинок розміром (0,5 ... 1) мкм. Коефіцієнт теплопровідності  $\lambda$  полімерних композитів визначався з використанням приладу ІТ- $\lambda$ -400.

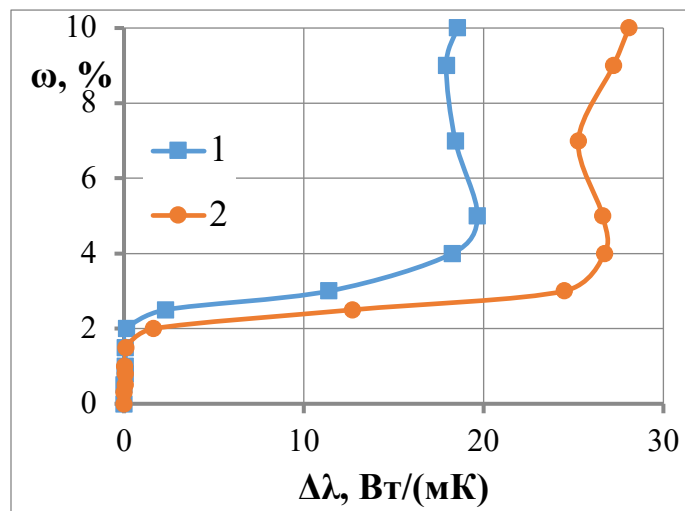
На рис. 1 представлено концентраційні залежності коефіцієнта теплопровідності  $\lambda$  для полімерних мікро- і нанокомпозитів, отриманих із застосуванням вказаних методів А і В. З рисунка видно, що для даних методів мають місце суттєві відмінності значень  $\lambda$  композиційних матеріалів, величин перколяційних порогів та характеру залежності  $\lambda$  від масової частки наповнювача  $\omega$ . Рис. 2 ілюструє відмінності  $\Delta\lambda = \lambda_p - \lambda_c$  в значеннях коефіцієнтів теплопровідності розглянутих композитів при використанні

різних методів їх отримання, де  $\lambda_c$  і  $\lambda_p$  - коефіцієнти теплопровідності, що відповідають методам А і В.

Згідно наведених даних, досліджувані відмінності можуть бути досить значними. В усьому розглянутому діапазоні зміни масової частки наповнювача  $\omega$  більші величини  $\lambda$  відповідають композиційним матеріалам, отриманим на основі методу В. При цьому відхилення  $\Delta\lambda$  для поліетилену, наповненого ВНТ, є більш суттєвими, ніж при його наповненні АІ. Так, в першому випадку максимальні значення  $\Delta\lambda$  складають 28,1 Вт/(м·К), а в другому - лише 19,7 Вт/(м·К).



**Рис. 1. Залежність від масової частки наповнювача коефіцієнтів теплопровідності полімерних композитів на основі поліетилену, отриманих з використанням методів змішування компонентів в сухому вигляді (1, 2) і в розплаві полімеру (3, 4) при наповненні полімерної матриці мікрочастинками алюмінію (1, 3) і ВНТ (2, 4): а), б) - лінійна і логарифмічна шкала по осі ординат відповідно**



**Рис. 2.** Відмінність коефіцієнтів теплопровідності композиційних матеріалів на основі поліетилену, що відповідають різним методам отримання композитів при наповненні полімерної матриці мікрочастинками алюмінію (1) і вуглецевими нанотрубками (2)

Характер залежності величини  $\Delta\lambda$  від масової частки наповнювача якісно однаковий для поліетилену, наповненого алюмінієм і ВНТ. Розбіжність величин  $\lambda$  композитів, що відповідають різним методам їх отримання, виявляються досить значними практично у всьому діапазоні зміни масової частки наповнювача, виключаючи її низькі значення.

З наведених даних також випливає, що максимальне значення коефіцієнта теплопровідності, яке може бути досягнуто в рамках розглянутого діапазону зміни масової частки наповнювача, для поліетилену, наповненого алюмінієм, при використанні методу В перевищує відповідне значення, яке відповідає методу А, в 3,2 рази. Для поліетилену, наповненого УНТ це перевищення становить 2,6 рази.

Як видно з рис. 1б, залежність  $\lambda = f(\omega)$  характеризується наявністю двох стрибків коефіцієнтів теплопровідності, що відповідають величинам  $\omega$ , які називаються перколяційними порогами. Перший з них відповідає утворенню перколяційних кластерів з частинок наповнювача, другий - формуванню

перколяційної сітки. При цьому значення перколяційних порогів є меншими в разі застосування методу В. Так, при застосуванні як наповнювача мікрочастинок Al перший перколяційний поріг  $\omega_1$  дорівнює 0,59% і 0,55%, а другий поріг  $\omega_2 = 2,96\%$  і 1,98 % для методів А і В відповідно. При використанні як наповнювача ВНТ перший перколяційний поріг відповідає  $\omega_1 = 0,48\%$ , а другий -  $\omega_2 = 2,09\%$  при сухому методі змішування компонентів (метод А), і  $\omega_1 = 0,33\%$  і  $\omega_2 = 1,55\%$  при змішуванні компонентів в розплаві полімеру (метод В).

### **Література**

1. Дінжос Р.В. Вплив методу введення наповнювача на теплофізичні властивості систем на основі термопластичних полімерів та вуглецевих нанотрубок / Р.В. Дінжос, Е.А. Лисенков, Н.М. Фіалко, В.В. Клепко // Фізична інженерія поверхні. 2014. 12, №4. С. 446-453.
2. Долинский А. А. Влияние методов получения полимерных микро- и нанокомпозитов на их теплофизические свойства / А.А. Долинский, Н.М. Фіалко, Р.В. Динжос, Р.А. Навродская // Промышленная теплотехника. 2015. 37, № 4. С. 5-12.
3. Долинский А.А. Теплофизические свойства низкотеплопроводных полимерных нанокомпозитов / А.А. Долинский, Н.М. Фіалко, Р.В. Динжос, Р.А. Навродская // Промышленная теплотехника. 2015. 37, № 5. Р.5-15.
4. Долинский А.А. Температурные зависимости коэффициентов теплопроводности полимерных микро-и нанокомпозитов для теплообменных аппаратов / А.А. Долинский, Н.М. Фіалко, Р.В. Динжос, Р.А. Навродская // Промышленная теплотехника. 2016. 38, № 1. Р. 5-14.



5. Долинский А.А. Структурообразование полимерных микро- и нанокомпозитов на основе поликарбоната в процессах их кристаллизации / А.А. Долинский, Н.М. Фиалко, Р.В. Динжос, Р.А. Навродская // Промышленная теплотехника. 2015. 37, №. 3. С. 5-15.