

Технічні науки

УДК 538.9:536.6

Фіалко Наталія Михайлівна

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

Fialko Nataliia

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

Дінжос Роман Володимирович

*доктор технічних наук, професор
Кафедра фізики і математики
Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського*

Dinzhos Roman

*Doctor of Technical Sciences, Professor
Department of Physics and Mathematics
V.O. Sukhomlinskiy National University of Mykolaiv*

Шеренковський Юлій Владиславович

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Sherenkovskiy Julii

*Candidate of Technical Sciences (PhD),
Senior Scientific Researcher, Leading Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Меранова Наталія Олегівна

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник*

Інститут технічної теплофізики НАН України

Meranova Nataliia

Candidate of Technical Sciences (PhD),

Senior Scientific Researcher, Leading Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Прокопов Віктор Григорович

доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Prokopov Viktor

Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Навродська Раїса Олександрівна

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,

провідний науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Navrodska Raisa

Candidate of Technical Sciences,

Senior Scientific Researcher, Leading Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Полозенко Ніна Петрівна

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Polozenko Nina

*Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Кутняк Ольга Миколаївна

*науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Kutnyak Olha

*Scientific Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Попружук Ілля Олегович

*молодший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Popruzhuk Iliia

*Junior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Пархоменко Олександр Юрійович

*кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри фізики і математики
Миколаївський національний університет ім. В. О. Сухомлинського*

Parkhomenko Oleksandr

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor of the Department of Physics and Mathematics
V.O. Sukhomlinskiy National University of Mykolaiv*

**ЗАЛЕЖНІСТЬ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ
НАНОКОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ПОЛІПРОПИЛЕНУ ВІД ЧАСУ
ЗМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ**
**DEPENDENCE OF THE THERMAL CONDUCTIVITY COEFFICIENT OF
NANOCOMPOSITES BASED ON POLYPROPYLENE ON THE MIXING
TIME OF THE COMPONENTS**

***Анотація.** Виконано дослідження впливу тривалості процесу змішування компонентів у розплаві полімеру на теплопровідність нанокompозитів. Надано рекомендації щодо вибору енергетично раціональної тривалості процесу змішування.*

***Ключові слова:** нанокompозити, поліпропілен, вуглецеві нанотрубки, теплопровідність, пороги перколяції.*

***Summary.** The influence of the duration of the process of mixing components in a polymer melt on the thermal conductivity of nanocomposites has been studied. Recommendations for choosing an energetically rational duration of the mixing process are given.*

***Key words:** nanocomposites, polypropylene, carbon nanotubes, thermal conductivity, percolation thresholds.*

Вступ. Нанокompозиційні матеріали на основі полімерних сполук мають широкий спектр унікальних фізичних властивостей. У зв'язку з цим актуальному завданню вивчення впливу різних факторів на характеристики нанокompозитів присвячено багато літературних джерел [1-14]. При цьому розглядаються такі фактори, як тип полімерної матриці, матеріал і концентрація наповнювача, метод одержання композитів та ін.

Мета роботи полягає в аналізі особливостей впливу тривалості процесу змішування на теплопровідні властивості полімерних нанокомпозитів, наповнених вуглецевими нанотрубками, в широкому діапазоні зміни масової концентрації останніх.

Результати та дослідження. Розглядаються дані експериментальних досліджень щодо визначення коефіцієнта теплопровідності нанокомпозитних матеріалів на основі поліпропілену. Масова частка наповнювача ω змінювалася в межах від 0,3% до 10%. Тривалість процесу змішування компонентів нанокомпозиту у розплаві полімеру варіювалася від 5 до 50 хвилин.

Характерні результати досліджень впливу часу змішування τ на величину коефіцієнта теплопровідності λ композиту наведено на рис. 1.

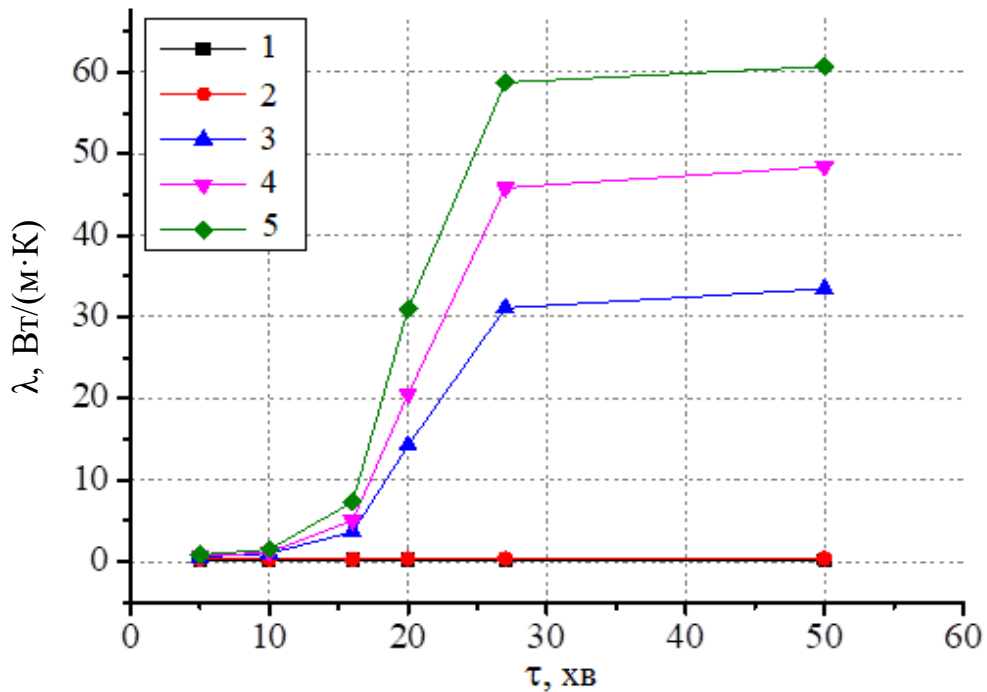


Рис. 1. Залежність теплопровідності λ нанокомпозиту від часу τ змішування компонентів у розплаві полімеру при різних значеннях масової частки наповнювача ω : 1 – 0,3%, 2 – 1%, 3 – 3%, 4 – 5%, 5 – 10%.

Отримані дані свідчать, що ступінь впливу на теплопровідність нанокompозиту якісно залежить від величини масової частки наповнювача ω . Для малих значень ω ($\omega < 1\%$) ця залежність незначна. При більших величинах масової частки ω ($3\% < \omega < 10\%$) вплив тривалості змішування досить суттєвий і залежить як від масової частки наповнювача, так і від тривалості змішування.

Можна відзначити наступну ієрархію впливу вказаних факторів на величину коефіцієнта теплопровідності нанокompозиту. Визначальним фактором є масова частка наповнювача ω : чим більше ω , тим вище потенційна можливість збільшення λ одержуваного композиту. Однак, більші значення ω є необхідною, але недостатньою умовою створення нанокompозиту з високою теплопровідністю. Потрібно ще забезпечити рівномірність розподілу наповнювача по об'єму композиту, що досягається збільшенням часу τ змішування компонент у розплаві.

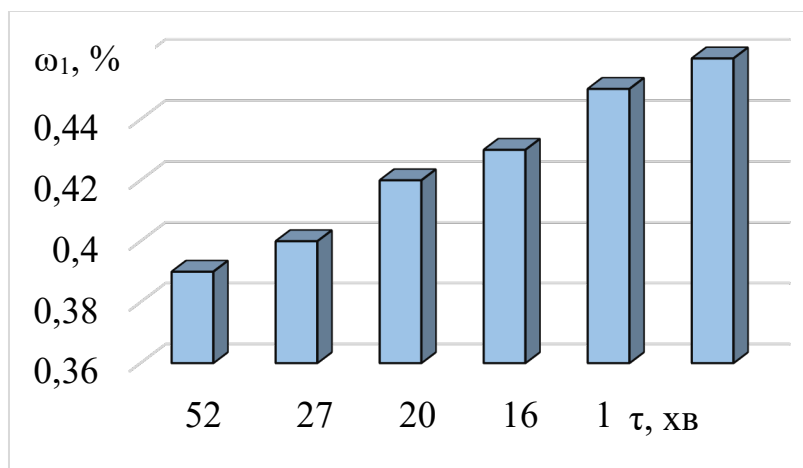
У досліджуваному діапазоні зміни часу змішування можна виділити три характерні інтервали: перший – від 5 до 16 хв, другий – від 16 до 27 хв, третій – від 27 до 50 хв. У першому інтервалі збільшення τ призводить до поступового зростання коефіцієнта теплопровідності – тим більшому, чим вище значення ω . Так, при $\omega = 1\%$ це зростання становить 0,03 Вт/(м·К), при $\omega = 3\%$ – 3,1 Вт/(м·К), при $\omega = 10\%$ – 6,5 Вт/(м·К). Другий часовий інтервал характеризується максимальним темпом зростання коефіцієнта теплопровідності. Наприклад, при $\omega = 3\%$, якщо на першому інтервалі за кожну хвилину змішування λ збільшується в середньому на 0,28 Вт/(м·К), то на другому інтервалі на 2,5 Вт/(м·К). Загалом, у дослідженому діапазоні зміни масової частки наповнювача ω темп зростання λ на другому інтервалі у 8-9 разів вищий, ніж на першому. Для третього з часових інтервалів, що розглядаються, ситуація кардинально інша. Збільшення часу змішування τ призводить до незначного зростання λ , при цьому темп його зміни

зменшується порівняно з другим інтервалом у десятки разів (для $\omega = 3\%$ та 10% відповідно у 24 та 54 рази).

Отримані дані свідчать, що для підвищення енергетичної ефективності технології отримання нанокompозитів, що розглядається, недоцільно збільшення тривалості змішування компонентів вище 27 хв.

На рис. 2 наведені дані, що ілюструють вплив тривалості змішування компонентів на величину порогів перколяції.

Низькі значення порогів перколяції відповідають умовам, що сприяють утворенню більш розгалужених перколяційних структур з наночастинок наповнювача та підвищенню теплопровідності композитів. Як свідчать отримані дані, збільшення тривалості змішування компонентів у розплаві полімеру призводить до зниження як першого, так і другого порогів перколяції, що служить одним з факторів, що призводять до зростання коефіцієнта теплопровідності нанокompозиту.



a)

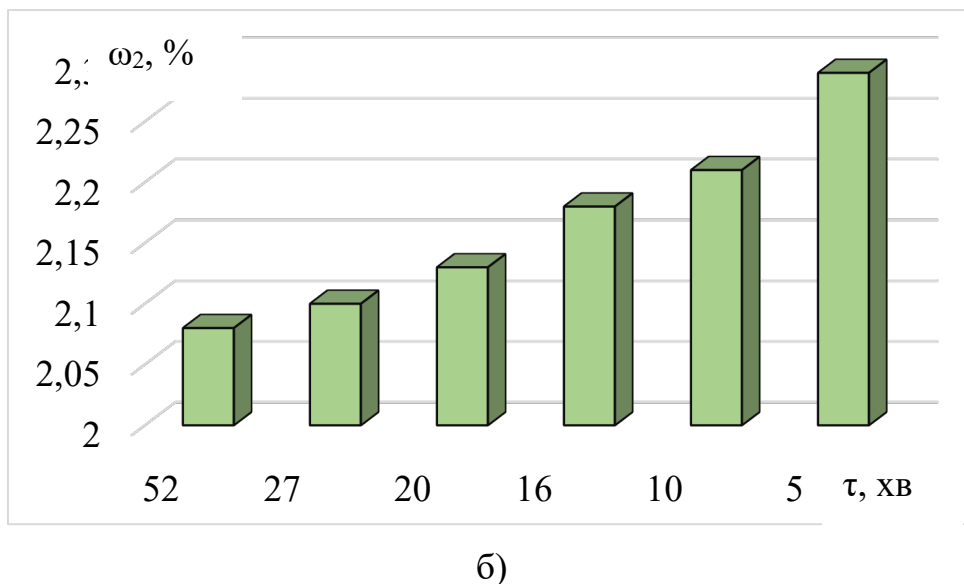


Рис. 2. Залежність величини першого (а) та другого (б) порогів перколяції від тривалості змішування компонентів у розплаві полімеру

Висновки. Проведені дослідження показали, що збільшення тривалості процесу змішування компонентів у розплаві полімеру призводить до зростання коефіцієнта теплопровідності нанокompозиту, тим більше, чим більша масова частка наповнювача. Однак збільшення часу змішування вище певної величини (для умов, що розглядаються – вище 27 хвилин) енергетично недоцільно, так як призводить до додаткових витрат при незначному збільшенні теплопровідності композиту.

Література

1. Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Влияние типа полимерной матрицы на теплофизические свойства и структурообразование полимерных нанокompозитов. Технологические системы. 2016. №3(76). С. 49-60.
2. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Навродська Р.О. Теплофізичні властивості і структуроутворення

- полімерних мікро- і нанокомпозиційних матеріалів. Миколаїв: СПД Румянцева Г.В., 2020. 142 с.
3. Долинский А.А., Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Теплофизические характеристики высокотеплопроводных полимерных микро- и нанокомпозитов. Промышленная теплотехника. 2015. №5. С.5-15.
 4. Фіалко Н.М., Навродська Р.О., Дінжос Р.В., Шевчук С.І., Меранова Н.О., Гнедаш Г.О. Ефективність використання полімерних мікро- і нанокомпозиційних матеріалів в теплоутилізаційних технологіях. Миколаїв: СПД Румянцева Г.В., 2020. 128 с.
 5. Долинский А.А., Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Температурные зависимости коэффициентов теплопроводности полимерных микро- и нанокомпозитов для теплообменных аппаратов. Промышленная теплотехника. 2016. №1. С. 5-14.
 6. Дінжос Р.В., Лисенков Е.А., Фіалко Н.М. Вплив технології виготовлення та типу наповнювача на теплофізичні властивості нанокомпозиту на основі поліпропілену. Вопросы химии и химической технологии. 2015. 5. С. 56-61.
 7. Фіалко Н.М., Навродська Р.О., Дінжос Р.В., Меранова Н.О., Шевчук С.І. Ефективність використання полімерних мікро- і нанокомпозитів для теплообмінних апаратів газо-газового типу. Промышленная теплотехника. 2017. №5. С. 12-18.
 8. Дінжос Р.В., Лисенков Е.А., Фіалко Н.М., Клепко В.В. Вплив методу введення наповнювача на теплофізичні властивості систем на основі термопластичних полімерів та вуглецевих нанотрубок. Фізика інженерії поверхні. 2014. Т.12. №4. С. 446-453.
 9. Фиалко Н.М., Динжос Р.В. Теплофизические основы создания полимерных микро- и нанокомпозитов для элементов энергетического оборудования. Промышленная теплотехника, 2015. №7. С. 172-176.

10. Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Полимерные микро- и нанокомпозиты как объекты теплофизических исследований для элементов теплоэнергетического оборудования. *Промышленная теплотехника*, 2017. №2. С. 36-45.
11. Долинский А.А., Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Влияние методов получения полимерных микро- и нанокомпозитов на их теплофизические свойства. *Промышленная теплотехника*. 2015. №4. С. 5-12.
12. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Навродська Р.О., Меранова Н.О., Шеренковський Ю.В. Закономірності кристалізації полімерних мікрокомпозиційних матеріалів при різних методах їх отримання. *Промышленная теплотехника*. 2018. №2. С. 5-11.
13. Fialko N., Dinzhos R., Sherenkovskii Ju., Meranova N., Navrodska R., Izvorska D., Korzhyk V., Lazarenko M., Koseva N. Study of the temperature regime effect of obtaining nanocomposites on their heat-conducting properties. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 4 №5 (112). P. 21–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236915>.
14. Fialko N., Dinzhos R., Sherenkovskii Ju., Meranova N., Alosko S., Izvorska D., Korzhyk V., Lazarenko M., Mankus I., Nedbaievska L. Establishment of regularities of influence on the specific heat capacity and temperature conductivity of polymer nanocomposites of a complex of defining parameters. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. 6 №12 (114). P. 34-39. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245274>.