

Технические науки

УДК 538.9:536.6

**Фиалко Наталия Михайловна**

*доктор технических наук, профессор,  
член-корреспондент НАН Украины, заведующая отделом  
Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Fialko Nataliia**

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

**Динжос Роман Владимирович**

*доктор технических наук, профессор  
Кафедра физики и математики  
Николаевский национальный университет имени В.А. Сухомлинского*

**Dinzhos Roman**

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

**Прокопов Виктор Григорьевич**

*доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник  
Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Prokopov Viktor**

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher  
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Шеренковский Юлий Владиславович**

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,  
ведущий научный сотрудник*

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Sherenkovskiy Julii**

*Candidate of Technical Sciences, Senior Scientific Researcher,  
Leading Researcher*

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Меранова Наталия Олеговна**

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,  
ведущий научный сотрудник*

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Meranova Nataliia**

*Candidate of Technical Sciences, Senior Scientific Researcher,  
Leading Researcher*

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Попружук Илья Олегович**

*младший научный сотрудник*

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Popruzhuk Iliia**

*Junior Researcher*

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Клищ Андрей Владимирович**

*младший научный сотрудник*

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Klishch Andriy**

*Junior Researcher*

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ НА ПЛОТНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ  
НАНОКОМПОЗИТОВ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ИХ  
ПОЛУЧЕНИЯ**

**REGULARITIES OF THE INFLUENCE OF THE TEMPERATURE  
REGIME OF POLYMER NANOCOMPOSITES PREPARATION ON  
THEIR DENSITY**

***Аннотация.** Представлены экспериментальные данные по изучению зависимости плотности нанокompозитов с матрицей из полипропилена, наполнителем которых служат углеродные нанотрубки, от величины перегрева расплава полимера относительно температуры его плавления. Результаты выполнены для нанокompозитов, полученных с использованием метода, базирующегося на смешении компонентов в расплаве полимера с применением специального дискового экструдера. Уровень перегрева расплава изменялся в диапазоне от 5К до 75 К для разных значений массовой доли наполнителя от 0,3 до 10,0 %.*

*Определены зависимости плотности изучаемых композитов от уровня перегрева расплава полимера. Установлено наличие корреляции данной зависимости и характера соответствующего изменения теплопроводности композитов.*

***Ключевые слова:** плотность полимерных нанокompозитов, температурный режим, углеродные нанотрубки, полипропилен.*

**Summary.** *Experimental data on the study of the dependence of the density of nanocomposites with a polypropylene matrix filled with carbon nanotubes on the overheating of the polymer melt relative to its melting temperature are presented. The results are performed for nanocomposites obtained using a method based on mixing components in a polymer melt using a special disk extruder. The level of overheating of the melt varied in the range from 5K to 75 K for different values of the mass fraction of the filler from 0.3 to 10.0%.*

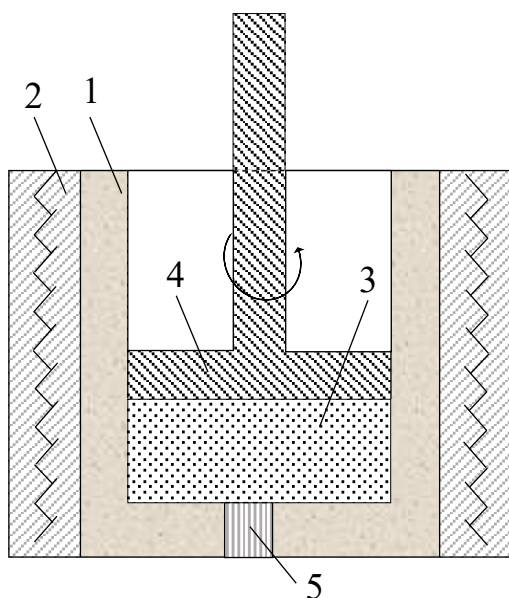
*The dependences of the density of the studied composites on the level of overheating of the polymer melt have been determined. The presence of a correlation between this dependence and the nature of the corresponding change in the thermal conductivity of composites has been established.*

**Key words:** *density of polymer nanocomposites, temperature conditions, carbon nanotubes, polypropylene.*

**Введение.** Исследованию физических свойств полимерных микро- и нанокомполитов посвящено достаточно большое количество работ [1–16]. Перспективность использования этих материалов обуславливается комплексом их уникальных свойств. В связи с этим они находят широкое применение в различных областях техники – в электронике, теплотехнике и др. В зависимости от метода получения полимерных композитов их теплофизические свойства существенно меняются. В условиях получения полимерных композитов на основе смешения компонентов в расплаве полимера одним из важных параметров является уровень перегрева расплава относительно температуры плавления полимера. В виду этого изучение зависимости изменения физических свойств нанокомполитов от температурного режима их получения является актуальной задачей.

**Цель работы.** Цель данной работы – установление закономерностей влияния на плотность полимерных нанокомпозитов величины перегрева расплава полимера относительно температуры его плавления в процессе получения композитов.

**Методика проведения экспериментальных исследований.** Для получения полимерных нанокомпозитов в данной работе применялся метод, основанный на смешении компонентов в расплаве полимера с применением дискового экструдера [16]. На рисунке 1 представлена принципиальная схема данного экструдера. Смесь композита 3 в порошкообразном виде помещается в пресс-форму 1, нагревается в ней с помощью электронагревателя 2 до температуры, превышающей температуру плавления полимера на величину  $\Delta T$ . Смешение компонентов композита осуществляется с помощью вращающегося металлического поршня 4. В конце процесса смешения полученный композит удаляется из пресс-формы через отверстие 5. Завершается процесс получения полимерных нанокомпозитов осуществляется применением метода горячего прессования в специальной установке. Здесь композит нагревается до температуры, превышающей на 20 °С температуру



**Рис. 1. Принципиальная схема экструдера:**  
1 – пресс-форма; 2 – электронагреватель; 3 – порошкообразный композит; 4 – вращающийся поршень; 5 – отверстие в нижней части пресс-формы

плавления полимера, и выдерживается при данной температуре 15–20 мин. Затем происходит прессование полученных образцов, которым придается требуемая форма.

Характеристики углеродных нанотрубок, используемых в качестве наполнителей, приведены в [1].

**Результаты исследований.** На рисунке 2 представлены результаты экспериментальных исследований закономерностей изменения плотности композитов от температуры данных композитов при разных уровнях перегрева расплава полимера  $\Delta T$ . Приведенные на рис. 2 зависимости  $\rho=f(\Delta T)$  охватывают диапазон температур от температуры окружающей среды до температуры, близкой к температуре плавления полимера.

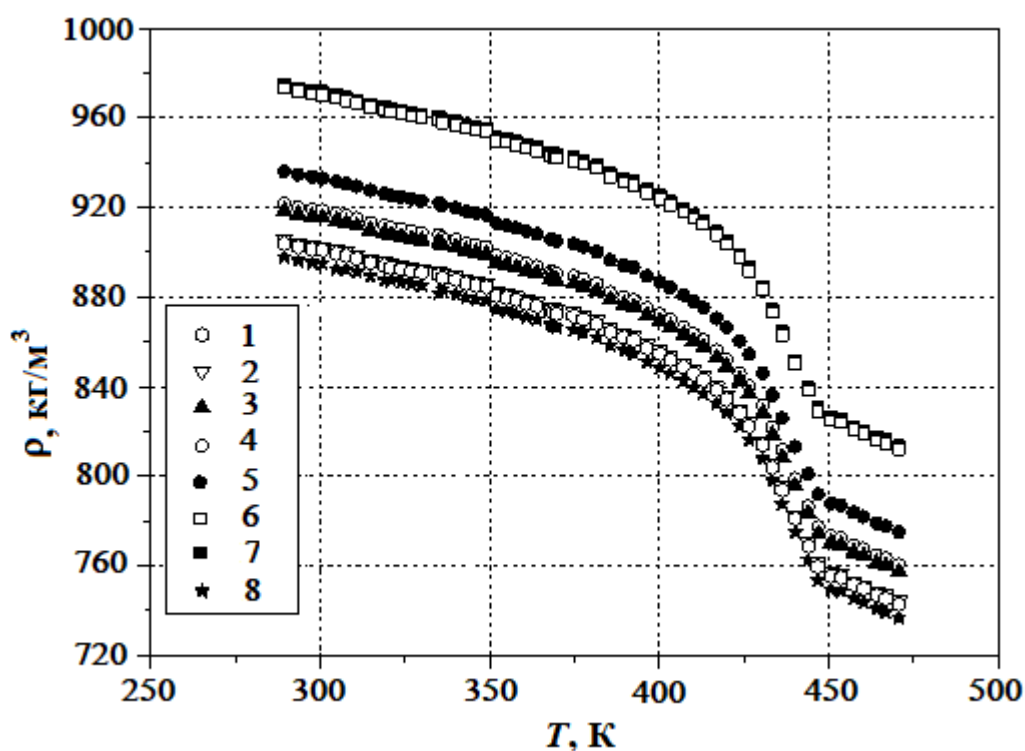


Рис. 2. Зависимость плотности  $\rho$  нанокompозита на основе полипропилена, наполненного углеродными нанотрубками, от температуры композита  $T$  для  $\omega = 3\%$  при различных значениях перегрева расплава полимера  $\Delta T$ : 1 –  $\Delta T = 5$  К; 2 – 10 К; 3 – 20 К; 4 – 30 К; 5 – 40 К; 6 – 50 К; 7 – 75 К; 8 – матрица из полипропилена

Как видно из полученных данных, характер изменения плотности композитов  $\rho$  в зависимости от уровня перегрева расплава полимера  $\Delta T$  коррелируется с соответствующей зависимостью для их коэффициента теплопроводности. Плотность  $\rho$  растет с увеличением перегрева  $\Delta T$  до 50 К во всем рассматриваемом диапазоне изменения температуры композита. При дальнейшем же росте уровня перегрева от 50 К до 75 К изменение плотности композитов  $\rho$  оказывается незначительным.

Следует также отметить, что зависимость плотности композитов  $\rho$  от уровня перегрева расплава полимера  $\Delta T$  является менее существенной, чем данная зависимость для коэффициента теплопроводности. Так, для  $\omega=3,0\%$  при возрастании  $\Delta T$  от 10 до 50 К коэффициент теплопроводности рассматриваемого композита увеличивается в 12,75 раза, а плотность материала при температуре 450 К – лишь в 1,08 раз. При повышении  $\Delta T$  до некоторого определенного уровня (в данной ситуации до 50 К) достигается равномерность распределения наполнителя в расплаве полимера, близкая к предельной в данных условиях.

Увеличение плотности нанокompозитов с ростом уровня перегрева полимера  $\Delta T$  связано с описанным эффектом повышения степени равномерности распределения УНТ в полипропиленовой матрице при росте температуры ее расплава. Данное повышение порождает большую разветвленность перколяционных структур из УНТ. Это в свою очередь обуславливает усиление электромагнитного взаимодействия между УНТ и полипропиленом. Последнее и определяет повышение плотности композиционного материала.

Из рисунка 2 также следует, что плотность полимерных композиционных материалов падает с ростом их температуры при всех

значениях уровня перегрева полимера  $\Delta T$ . При этом имеет место тенденция к увеличению интенсивности данного падения с повышением температуры композита. Так, при  $\Delta T=20$  К с ростом температуры полимерного композиционного материала от 300 до 325 К указанное падение составляет  $9,36 \text{ кг/м}^3$ , а с увеличением температуры от 425 до 450 К –  $72,67 \text{ кг/м}^3$ .

### **Выводы.**

1. Получены экспериментальные зависимости плотности рассматриваемых полимерных композитов от уровня перегрева расплава полимера относительно температуры его плавления для широкого диапазона изменения температуры композитов. Показано, что характер изменения плотности композитов от величины указанного перегрева коррелируется с соответствующей зависимостью для коэффициента теплопроводности.

2. Дано объяснение закономерностей влияния величины перегрева расплава полимера на плотность получаемых нанокompозитов.

### **Литература**

1. Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Навродская Р.О. Теплопроводность полимерных микро- и нанокompозитов на основе полиэтилена при различных способах их получения. Промышленная теплотехника. 2017. 4. С. 21-26. <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2017.03>
2. Dinzhos R., Fialko N., Prokopov V., Sherenkovskiy Ju., Meranova N., Koseva N., Korzhik V., Parkhomenko O., Zhuravskaya N. Identifying the influence of the polymer matrix type on the structure formation of microcomposites when they are filled with copper particles. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. №5/6(107) P. 49-57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214810>



3. Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Влияние типа полимерной матрицы на теплофизические свойства и структурообразование полимерных нанокомпозитов. Технологические системы. 2016. №3. С. 49-59.
4. 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.
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. Фіалко Н.М., Навродская 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.
7. 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
8. Дінжос Р.В., Лисенков Е.А., Фіалко Н.М. Моделювання теплопровідності полімерних композитів на основі поліметилметакрилату з різними типами наповнювачів. Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2015. № 6. С. 21-24. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.53999>
9. 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. ФІП PSE. 2014. Т.12, №4. С. 446-453.
10. Дінжос Р.В., Фіалко Н.М., Лисенков Е.А. Особливості теплопровідності композитів на основі термопластичних полімерів та частинок алюмінію. Журнал нано- та електронної фізики. 2015. Т.7. № 3. С. 03022-1 - 03022-5.
  11. Дінжос Р.В., Лисенков Е.А., Фіалко Н. М. Вплив технології виготовлення та типу наповнювача на теплофізичні властивості нанокompозиту на основі поліпропілену. Вопросы химии и химической технологии. 2015. Т.5. С. 56-61.
  12. Фиалко Н.М., Динжос Р.В. Теплофизические основы создания полимерных микро- и нанокompозитов для элементов энергетического оборудования. Промышленная теплотехника. 2015. №7. С. 172-176.
  13. Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Полимерные микро- и нанокompозиты как объекты теплофизических исследований для элементов теплоэнергетического оборудования. Промышленная теплотехника. 2017. №2. С. 36-45.
  14. 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.
  15. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О. Створення низькотеплопровідних полімерних нанокompозитів для внутрішніх газовідвідних стволів димових труб котелень. Энергетика та автоматика. 2020. № 5. С. 57-68. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/14641>
  16. Fialko N., Dinzhos R., Sherenkovskiy Ju., Meranova N., Navrodska R. Features of structure formation of dispersively filled with microcomposites with a

polypropylene matrix. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2020. Vol. 89. No 2. P. 91-98. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2020.89.211384>