

ні апарата під час проведення технологічних процесів приготування продуктів харчування.

Далі на основі запропонованої моделі можна вирішувати теплообмінні задачі для знаходження точного розподілу температур на жарильній поверхні апарата вздовж осі x .

Список літератури

1. Черевко, О. І. Процеси та апарати жаріння харчових продуктів [Текст] : навч. посібник / О. І. Черевко, В. М. Михайлов, І. В. Бабкіна; Харк. держ. академія технолог. та орг. харчування. – Х. : ХДАТОХ, 2000. – 332 с.

2. Беляев, М. И. Теоретические основы комбинированных способов тепловой обработки пищевых продуктов [Текст] : монография / М. И. Беляев, П. Л. Пахомов. – Х. : ХИОП; Комунист, 1991. – 160 с.

3. Юдаев, Б. Н. Теплопередача [Текст] : учебник для вузов / Б. Н. Юдаев. – М. : Высшая школа, 1975. - 360 с.

Отримано 31.03.2010. ХДУХТ, Харків.

© В.О. Потапов, О.В. Петренко, 2010.

УДК 536.71

В.О. Потапов, д-р. техн. наук, доц. (*ХДУХТ, Харків*)

С.О. Шевченко (*ХДУХТ, Харків*)

О.І. Зеленський (*УХІН, Харків*)

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СУСПЕНЗІЙ З ВУГЛЕЦЕВИМИ НАНОТРУБКАМИ, ОТРИМАНИМИ З КОКСОВОГО ПИЛУ

Обговорюються експериментальні дані суспензій з вуглецевих нанотрубок, отриманих з коксового пилу.

Обсуждаются экспериментальные данные суспензий из углеродных нанотрубок, полученных из коксовой пыли.

It describes the experimental data with suspensions of carbon nanotubes obtained from dust coke.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Традиційні робочі тіла і теплоносії, які використовуються в системах перетворення енергії, практично вичерпали теоретичні можливості подальшого зростання коефіцієнта теплопровідності. Значний прогрес у цій області був досягнутий останніми роками за рахунок вживання нанотехнологій – суспензій наночасток в класичних теплоносіях. Наносуспензії – розчини наночасток, розміри яких знаходяться в діапазоні від 20 до 100 Å, стали

об'єктом інтенсивних наукових досліджень, завдяки раніше невідомим ефектам і аномальній поведінці фізико-хімічних властивостей, зокрема, коефіцієнта теплопровідності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій У роботах [1–5] опублікованих впродовж останнього десятиліття, явище аномального зростання коефіцієнта теплопровідності в суспензіях було продемонстроване для широкого спектру наночастинок, у тому числі, вуглецевих нанотрубок (ВНТ) у різних теплоносіях де стали використовувати так звані фулерени, нанотрубки та інші схожі на них структури, які можна назвати загальним терміном вуглецеві каркасні структури [6]. Останні являють собою дуже великі молекули, які складаються виключно з атомів вуглецю. Вуглецеві каркасні структури – це нова алотропна форма вуглецю, що відрізняється від давно відомих алмазу і графіту. Головна особливість цих макромолекул полягає в тому, що вони залежно від призначення утворюють замкнутий каркас певної форми, в якому є, як правило, пустотілі «оболонки». Найпоширеніший з вуглецевих каркасних структур – це, так званий, фулерен C_{60} , за відкриття якого першовідкривачам Роберту Керлі, Гарольду Крото і Річарду Смаллі була присуджена Нобелівська премія з хімії за 1996 рік. Дана розробка у подальшому лягла в основу створення безлічі інших різновидів структур (шароподібні, циліндричних і т.д.), деякі з них наведені на рисунку 1.

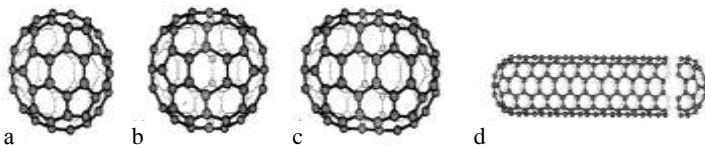


Рисунок 1 – Деякі види вуглецевих каркасних структур:
a, b – кулясті; c – овальні; d – трубчасті

Інтерес до досліджень фулеренів і нанотрубок (НТ) обумовлений різноманітністю нових фізико-хімічних явищ, що відбуваються за участю фулеренів, і виключними перспективами застосування нового класу матеріалів, створюваних на їх основі.

За кордоном інтенсивно ведуться роботи з отримання вуглецевих наноструктур (ВНС) з вугілля в дуговому розряді [7] і двостінних, одностінних нанотрубок, фулеренів з бурого вугілля методом CVD (осадження з газової фази) [8–9]. У роботі [11] досліджується можливість отримання одностінних ВНТ шляхом лазерної абляції з використанням графіту, пеку і коксу як початкової сировини. У роботі [12] по-

відомляється про виявлення ВНС в пробах доменного коксу, відібраного із зони фурм доменної печі.

В Українському державному науково-дослідному вуглехімічному інституті (УХІН) було проведено оптичні дослідження зразків пировуглецю взятих з коксової камери і зразки пировуглецю отриманого у дуговому розряді (катодний депозит). Методика виділення ВНС була аналогічною методики виділення нанотрубок з катодного депозиту, включаючи ультразвукове диспергування у дистильованій воді і центрифугування на високооборотній центрифугі. Було встановлено, що оптична структура цих вуглецевих утворень досить схожа, розмір часток ВНС, отриманих у зразках з коксової камери 40...80 нм. При цьому вміст ВНС у зразках отриманих з коксової печі не нижчий ніж у катодному депозиті, синтезованому у дуговому розряді (таблиця) [13].

Таблиця – Вміст ВНС в різних вуглецевих відкладеннях

Зразок	Вміст ВНС,% від маси зразка
Катодний депозит	1,7
Пировуглець коксовий	1,8
Пировуглець пекококсівий	2,0

Було встановлено також наявність ВНС у таких матеріалах коксового виробництва як пил з установки безпилевої видачі коксу, пил з установки сухого гасіння коксу, смола, пек, пековий кокс. Це дає підстави розглядати коксове виробництво як джерело отримання дешевих ВНС. При цьому виникають питання щодо вивчення фізичних властивостей вуглецевих наноструктур, отриманих у коксовому виробництві.

Мета та завдання статті. Метою роботи є визначення теплофізичних властивостей водних суспензій вуглецевих нанотрубок синтезованих у процесі коксування вугілля.

Виклад основного матеріалу дослідження. Суспензія доводилася до необхідної концентрації шляхом розбавлення дистильованою водою або випаровуванням із однієї і тієї ж вхідної партії суспензії ВНТ.

В експериментах вивчався вплив концентрації суспензії ВНТ на коефіцієнт температуропровідності, в'язкість і параметр релаксації T_2 , отримані методом імпульсного ЯМР.

Вивчення температуропровідності проводилися на а-калориметрі. Для виключення впливу конвекційного потоку рідини на результат у вимірювальну комірку розмішували капілярно-пористе тіло (поролон), після цього заливали досліджувану рідину. Таким чи-

ном вимірювалася температуропровідність системи капілярно-пористе тіло (КПТ)-рідина, результати цих наведено на рисунку 2, де відносна зміна температуропровідності обчислювалася за формулою

$$\frac{\Delta a}{a_0} = \frac{a - a_0}{a_0}, \quad (1)$$

де a – температуропровідність системи КПТ – суспензії ВНТ; a_0 – температуропровідність системи КПТ – дистильована вода.

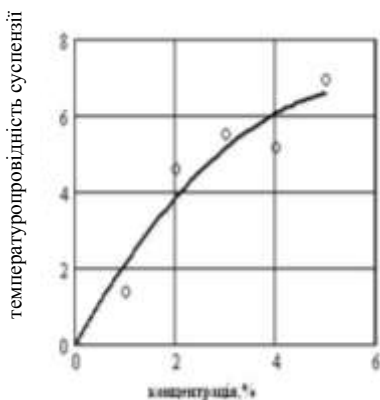


Рисунок 2 – Зміна температуропровідності суспензії ВНТ залежно від концентрації ($t=20^{\circ}\text{C}$)

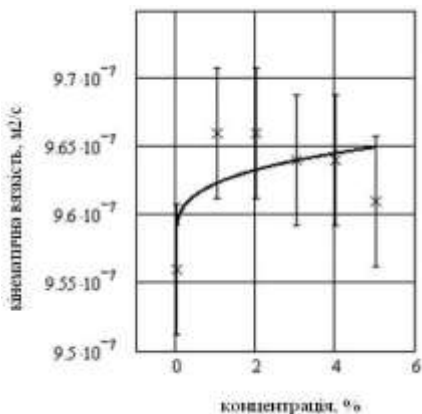


Рисунок 3 – Зміна кінематичній в'язкості суспензії ВНТ залежно від концентрації ($t=20^{\circ}\text{C}$)

Вимірювання в'язкості проводилися на капілярному віскозиметрі. Отримані результати наведено на рисунку 3.

На рисунку 4 наведені результати дослідження часу магнітної спін-спінової релаксації T_2 для суспензій ВНТ, отриманих методом імпульсного ЯМР.

Аналіз отриманих результатів показує, що ВНТ, отримані у процесі коксування вугілля, у водних суспензіях змінюють теплофізичні властивості, також як і ВНТ, отримані іншими способами [7–9]. Коефіцієнт температуропровідності при збільшенні концентрації суспензії зростає майже на 7% порівняно з чистою водою. Якщо врахувати, що коефіцієнт теплопровідності λ дорівнює $\lambda = aC\rho$, де C – питома теплоємність, ρ – густина, і при цьому, теплоємність суспензії дещо менше теплоємності чистої води, а густина, навпаки, дещо більше,

то коефіцієнт теплопровідності суспензій із збільшенням концентрації також зростає приблизно на 7% порівняно з чистою водою.

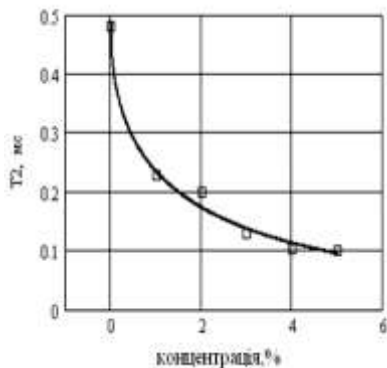


Рисунок 4 – Зміна часу магнітної спінової релаксації суспензій ВНТ залежно від концентрації ($t=20^{\circ}\text{C}$)

В'язкість суспензій, як впливає з рисунку 3 зростає із збільшенням концентрації ВНТ, але незначно від 1 до 1,5%. І хоча це вимірювання перебувають в межах похибки вимірів, але зіставлення цих результатів з даними ЯМР- досліджень наведених на рисунку 4, підтверджує відмічений характер поведінки в'язкості. Як відомо, час спінової релаксації зменшується із зменшенням рухливості молекул, тобто із збільшенням в'язкості. Така поведінка водних суспензій ВНТ збігається з результатами інших дослідників.

Висновки. Таким чином, проведені експериментальні дослідження, дозволяють розглядати водні суспензії ВНТ, отримані в процесі коксування вугілля, як перспективні теплоносії. Слід чекати збільшення коефіцієнтів теплообміну таких суспензій, оскільки вони мають більший коефіцієнт теплопровідності ніж чиста вода і майже таку саму в'язкість. Перспективою подальших досліджень є отримання даних про коефіцієнти теплообміну для теплоносіїв збагачених ВНТ.

Список літератури

1. Anomalous increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanop-articles [Text] / J. A. Eastman [et al.] // Appl. Phys. Lett. – 2001. – № 78. – P. 718–720.
2. Thermal Conductivity of Nanoparticle-Fluid Mixture, J. of Thermophys. and Heat Transfer [Text] / X. Wang [et al.]. – 1999. – № 13. – P. 474– 480.
3. Cahill, D. G. Thermal conductivity of nanoparticle suspensions [Text] / D. G. Cahill, A. A. Putnam, P. V. Braun. // Appl. Phys. – 2006. – № 99. –P. 304–308.
4. Eastman, J. A. Nanofluids for thermal transport, Materials Today 8, [Text] / J. A. Eastman. – 2005. – P. 36–44.
5. Empirical correlation finding the role of temperature and particle size for nanofluid [Text] / C. H. Chon [et al.] //Appl. Phys. Lett. – 2005. – № 87.

6. Золотухин, И. В. Углеродные нанотрубки [Текст] / И. В. Золотухин // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 3. – С. 11– 15.
7. Production of carbon nanotubes from coal [Text] / J. Qiu [et al.] // Fuel processing technology. – 2004. – № 15. – P. 1663–1670.
8. Kiyama, Y. Direct Synthesis of Carbon Nanotube from Coal [Text] / Y. Kiyama Appl. Phys. – 2005. – № 42. – P. 105–106.
9. Qiu, J. Large-scale synthesis of high-quality Double-walled carbon nanotubes from Coal-based carbon rods in vacuum by arc discharge [Text] / J. Qiu // Prepr. Pap.-Am. Chem. Soc., Div. Fuel Chem. – 2004. – № 49(2). – P. 874–875.
10. Елецкий, А. В. Фуллерены и структуры углерода [Текст] / А. В. Елецкий, Б. М. Смирнов // УФН. – 1995. – № 165. – С. 977.
11. Production of carbon nanotubes by CO₂-laser evaporation of various carbonaceous feedstock materials [Text] / W. K. Maser [et al.] // Nanotechnology. – 2001. – № 12. – P. 147–151.
12. Gornostayev, S. S. Carbon Tubular Morphologies in Blast Furnace Coke [Text] / S. S. Gornostayev // Research Letters in Materials Science. – 2008, Article ID 751630, 4 pages, doi:10.1155/2008/751630/
13. Образование углеродных наноструктур при коксовании углей [Текст] / В. М. Шмалько [и др.] // Углекимический журнал. – 2009. – № 3-4. – С. 37–42.

Отримано 31.03.2010. ХДУХТ, Харків.

© В.О. Потапов, С.О. Шевченко, О.І. Зеленський, 2010.

УДК 532. 135; 532.5

Е.В. Білецький, канд. техн. наук (*ХТЕІ КНТЕУ, Харків*)

Ю.А. Толчинський, канд. техн. наук (*НТУ «ХПІ», Харків*)

О.В. Петренко, асист. (*ХДУХТ, Харків*)

СИСТЕМА ФУНКЦІЙ ДЛЯ ЩІЛИННОГО В'ЯЗКОПЛАСТИЧНОГО ПЛИНУ

Розглянуто питання обліку неньютонівського рівняння стану з побудови поля плин у каналі шляхом опису поля швидкості в'язкопластичної рідини в щілинному каналі черв'ячної машини за допомогою системи функцій.

Рассмотрен вопрос учета неньютоновского уравнения состояния при построении поля течения в канале путем описания поля скорости вязкопластической жидкости в щелевом канале червячной машины с помощью системы функций.