Теплофізичні основи енергетичних процесів

УДК 536.24

DOI: 10.33070/etars.2.2020.05

Бричка С.Я., докт. техн. наук,**Бондаренко Б.І.**, акад. НАН України, докт. техн. наук, проф.*Інститут газу НАН України, Київ**вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: serg_1971@ukr.net*

Одержання стабільних нанодисперсій оксиду церію для процесів теплообміну

Описано створення стійких колоїдних розчинів із застосуванням оксиду церію та органічних стабілізаторів для забезпечення кращих показників теплообміну порівняно з істинними розчинами. Колоїди оксиду церію одержували його осадженням з водного розчину нітрату церію водним розчином аміаку у присутності полімеру при інтенсивному перемішуванні за кімнатної температури. Одержано низку нанорозмірних дисперсій оксиду церію, стабілізованих полівінілпіролідом, з розміром часток оксиду 1–10 нм. Вміст CeO_2 в одержаних дисперсіях становив $1,72 \cdot 10^{-3}$, $5,15 \cdot 10^{-3}$, $8,6 \cdot 10^{-3}$, $1,21 \cdot 10^{-2}$, $1,72 \cdot 10^{-2}$ % при вмісті полімеру $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л, рН дисперсій становив 8–9. Електронномікроскопічні зображення одержаних нанодисперсій засвідчили вузький розподіл колоїдних часток та наночасток оксиду церію за розмірами. Колоїдні частки являють собою макромолекулярні клубки полівінілпіролідону з нанизаними наночастками оксиду. В об'ємі органічної матриці розміром 20–50 нм розміщено 10–40 часток оксиду церію розміром 1–10 нм. Розподіл за розмірами часток дисперсій, встановлений методом фотон-кореляційної спектроскопії, має дві області максимумів для кожного зразка. Перший максимум для дисперсій всіх досліджених концентрацій належить до часток діаметром 5–6 нм, які, на нашу думку, є частками оксиду церію як у полімерних клубках, та, ймовірно, є вільними від стабілізатора. Другий максимум у залежності від зразка спостерігається при 30–70 чи 100–300 нм та належить до колоїдних часток полівінілпіролідону з інкапсульованими частками оксиду церію. Встановлено статичну стабільність одержаних нанодисперсій оксиду церію з полівінілпіролідом протягом двох років за стандартних умов, порівняну з істинним розчином полімеру. Запропоновано за методом УФ-спектроскопії контролювати відтворюваність технології одержання матеріалів. Випробування теплопровідності одержаної $1,72 \cdot 10^{-3}$ %-ої стабільної нанодисперсії оксиду церію виконувалися при 50 °С відносно дистильованої води з коефіцієнтом теплопровідності 0,65 Вт/(м·°С). Виявлено збільшення коефіцієнта теплопровідності для нанодисперсій на 4–6 %, що є значною величиною для розбавлених розчинів. *Бібл. 15, рис. 4.*

Ключові слова: нанодисперсія, оксид церію, теплопровідність, стабільність.

Впровадження прогресивних типів носіїв тепла зумовлює підвищення продуктивності теплообмінних систем та зниження споживання енергії. Теплопередача має критичний вплив щодо економічних показників у сферах виробництва та транспортування енергії, хімічних процесах, кондиціонуванні, мікроелектроніці, будь-яких процесах нагріву та охолодження. Одним із параметрів теплоносіїв, що обмежують продуктивність теплообміну, є низька теплопровідність істинних розчинів. Останніми роками інтенсифікуються наукові роботи в напрямку вирішення цієї проблеми. Як можлива альтернатива гомогенним системам (чистим рідинам чи істинним розчинам) розглядаються нанодисперсії (колоїдні розчини), що містять тверді частки матеріалів (дисперсну фазу) в рідині (дисперсному середовищі) та мають покращену теплопровідність [1, 2].

Гетерогенні частки збільшують теплопередачу, але суттєвим недоліком суспензій виявилось швидке осідання часток, тобто низька седиментаційна стійкість, що призводить до засмічування каналів потоку, значного перепаду тиску та ерозії трубопроводів. Дослідження механізмів передачі тепла теоретичними та експериментальними методами виявили низку факторів, які впливають на ефективність носія тепла: процес неконтрольованого розшарування суспензії (дисперсії), агрегація, розмір, форма часток та ін. [3]. Хоча дисперсні частки покращують параметри теплопередачі рідин, однак промислове застосування дисперсій у системах теплопередачі обмежується їхніми реологічними властивостями — збільшення в'язкості рідин зумовлює додаткові технічні та енергетичні затрати. Низку проблем можна вирішити, замінивши макро- та мікророзмірні частки на нанорозмірні, що підвищує стабільність та однорідність дисперсії [4, 5].

У дослідах випробувано широкий спектр матеріалів різної природи: оксиди, метали, вуглець та ін. [6–8]. Цікавим представником оксидів, глини є природний мінерал галлоізит, що містить нанотрубки діаметром у межах 15–100 нм та довжиною від 500 до 1500 нм [9]. Розмір та форма нанотрубок разом з їхнім хімічним складом та структурою роблять цей матеріал хорошим кандидатом для диспергування у воді та одержання колоїдних розчинів як теплоносіїв з теплопровідністю, більшою на 20 % відносно води, та помірною в'язкістю. Дисперсні системи активно тестують у фотовольтаїчних теплових системах, сонячних колекторах, електронних пристроях тощо [10–13].

Одним з головних у теплових прикладних завданнях є пошук носіїв тепла, які забезпечать

революційні показники теплопровідності та стійкості у часі, таким чином збільшуючи на порядки величини ефективності процесів теплопередачі.

Мета роботи — створення стійких колоїдних розчинів із застосуванням оксиду церію та органічних стабілізаторів для забезпечення кращих показників теплообміну порівняно з чистими рідинами та істинними розчинами.

Експериментальна частина

Колоїди оксиду церію одержували осадженням його з водного розчину нітрату церію водним розчином аміаку у присутності полімеру при інтенсивному перемішуванні за кімнатної температури. Для одержання агрегативно стійких дисперсій оксиду церію застосовували полімер полівінілпіролідон (ПВП, $(C_6H_9NO)_n$, використовували ПВП K16-18, Aldrich, з середньозваженою молекулярною масою $M_w = 8000 \pm 2000$ дальтон), водні розчини ПВП застосовували як стабілізатори для запобігання агрегації та седиментації часток оксиду церію. Використовували також вихідні розчини $Ce(NO_3)_3$ (0,01 моль/л), NH_4OH (0,03 моль/л), ПВП (0,01 моль/л), деіонізовану воду. Загальний об'єм реакційної суміші складав 40 мл. Вміст CeO_2 в одержаних дисперсіях становив $1,72 \cdot 10^{-3}$, $5,15 \cdot 10^{-3}$, $8,6 \cdot 10^{-3}$, $1,21 \cdot 10^{-2}$, $1,72 \cdot 10^{-2}$ % при вмісті ПВП $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л, рН дисперсій 8–9.

Морфологію отриманих нанодисперсій встановлювали за методом електронної мікроскопії на просвіт (електронний мікроскоп MIRA3 LMU, Tescan). Розподіл за розмірами часток у рідині вимірювали за методом фотон-кореляційної спектроскопії на приладі Zetasizer Nano, Malvern. УФ-Вид спектри матеріалів записували на приладі UV-VIS-NIR-spectrophotometer UV-3600, Shimadzu, у діапазоні 220–800 нм з невизначеністю приладу ± 1 нм. Стійкість колоїдів визначали при візуальному спостереженні зразків протягом 2 років, що знаходилися у закритих ємностях у кліматичній камері при 22 °С.

Теплопровідність зразків вимірювали за допомогою приладу KD2 Pro (Decagon Devices Inc.). Метод базується на вимірюванні зміни температури дроту-нагрівача від часового інтервалу. Зразок вносили у герметичну скляну пробірку об'ємом 20 мл з датчиком температури та термостатували протягом 1 год.

Розрахунок здійснювали за рівнянням $T = m_0 + m_1 t + m_2 \ln t$ (де m_0 — температура навколишнього середовища; m_1 — швидкість зміни фонові температури; m_2 — нахил лінії, що стосується підйому температури до логарифму часу).

рифму часу). Теплопровідність (k_{nf}) можна обчислити з параметра m_2 : $k_{nf} = q / (4 \rho m_2)$ (де q — теплова потужність імпульсного нагріву).

Результати та їх обговорення

Для одержання дисперсних наночастинок заданої розмірності з необхідною стійкістю у розчинах запропоновано низку фізичних, хімічних, біохімічних та змішаних методів: кріохімічний синтез, вакуумне випаровування, лазерна деструкція, а також метод хімічної збірки. Широко використовуваний на практиці метод хімічного осадження був застосований для одержання дисперсних наночастинок оксиду церію у водному середовищі з використанням органічного стабілізатора. Відомо, що на процес утворення наночастинок у таких умовах впливають природа реагентів, їх концентрації, рН середовища, час реакції та ін.

Електронномікроскопічні зображення одержаних нанодисперсій засвідчили вузький розподіл колоїдних часток та наночастинок оксиду церію за розмірами (рис.1). Колоїдні частки є у вигляді макромолекулярних клубків полівінілпіролідону з нанизаними на них наночастками оксиду. Так, на зображенні у темному полі (рис.1, г) спостерігаються приблизно однорідні за розміром дисперсні частки діаметром менш 50 нм, на яких зафіксовано світлі точки, які нами віднесено до оксиду церію. Завдяки великій атомній масі (140 а.о.м.) атоми церію ефективно відбивають електронний пучок, що проявляється у контрастних світлих ділянках на зображенні. В об'ємі органічної матриці (ко-

Рис.1. Електронномікроскопічні зображення на просвіт часток дисперсій з вмістом оксиду церію $1,72 \cdot 10^{-3} \%$: загальний план (а, б), колоїдні частки у світлому (в) та темному полі (г).

Рис.2. Розподіл колоїдних часток (N — кількість часток) за розмірами у зразку з вмістом оксиду церію $1,72 \cdot 10^{-3} \%$. Дані електронної мікроскопії.

лоїдних частках) розміром 20–50 нм розміщено 10–40 часток оксиду церію розміром 1–10 нм. Спостерігалось також формування незначної кількості більших за діаметром колоїдних часток (понад 100 нм).

Розподіл колоїдних часток за розмірами у електронномікроскопічних зображеннях на просвіт (рис.1, а) виконаний в автоматичному режимі та представлений на рис.2. Аналіз даних засвідчив, що спостерігаються два максимуми розподілу: при менш 5 та близько 20 нм. Кількість часток з діаметром 35–70 нм складає менш 0,01 % від загальної кількості. Умови вимірювання у вакуумі камери електронного мікроскопа спричиняють істотне зменшення розміру колоїдних часток порівняно з дійсним у розчині. На розмір часток у розчині значний вплив має розчинник (дисперсне середовище) — вода, що входить до складу колоїдних часток гідрофільних макромолекул ПВП з оксидом церію.

Спектри фотон-кореляційної спектроскопії дають кількісну оцінку розмірів сферичних часток у колоїдних розчинах. Одержані зразки з вмістом оксиду церію $1,72 \cdot 10^{-3}$ – $1,72 \cdot 10^{-2} \%$ мають характерні профілі розподілу за Гаусом (рис.3), що підтверджує достовірність результатів; у таблицях звітів результати були помічені як «good». Перш за все це є свідченням вузького розподілу колоїдних часток за розмірами без прояву явища полідисперсності. Такі відтворювані однорідні системи будуть проявляти й прогнозовані теплофізичні властивості. Розподіли за розмірами дисперсій мають дві області максимумів для кожного зразка. Перший максимум для дисперсій усіх досліджених концентрацій відноситься до часток діаметром 5–6 нм,

Рис.3. Розподіл часток за розмірами за даними фотон-кореляційної спектроскопії для дисперсій з вмістом оксиду церію, %: 1 — $1,72 \cdot 10^{-3}$; 2 — $5,15 \cdot 10^{-3}$; 3 — $8,6 \cdot 10^{-3}$; 4 — $1,21 \cdot 10^{-2}$; 5 — $1,72 \cdot 10^{-2}$.

які, на нашу думку, є частками оксиду церію, як у полімерних клубках, та, ймовірно, є вільними від стабілізатора. Другий максимум у залежності від зразка спостерігається при 30–70 чи 100–300 нм та відноситься до колоїдних часток ПВП з інкапсульованими частками оксиду церію.

Порівняння електронномікроскопічних та фотон-кореляційних даних для зразка з концентрацією оксиду церію $1,72 \cdot 10^{-3}$ % засвідчило співпадіння розмірів часток оксиду з максимумом при 5 нм. Одночасно максимум фотон-кореляцій-

ного сигналу при 35 нм відповідає на зображенні часткам діаметром 20 нм. З цього випливає, що в умовах вакууму розмір колоїдних полівінілпіролідонних часток зменшується майже у 2 рази, при цьому розмір жорстких кристалічних часток оксиду церію залишається практично сталим.

Метод УФ-Вид спектроскопії нами запропоновано як базовий для контролю відтворюваності технології одержання нанодисперсій оксиду церію та сертифікації продукції. У зразках оксиду церію чотиривалентний церій в УФ-області дає сигнал близько 400 нм, що відповідає переходу заряду $O^{2-} (2p) \rightarrow Ce^{4+} (4f)$. Сигнал перекривається з електронним переходом $5d^1 \rightarrow 4f^1$ іонів Ce^{3+} . Зазвичай у структурі оксиду церію (IV) фіксуються дефекти у вигляді тривалентного Ce^{3+} , поява якого обумовлена низькою енергією переходу $Ce^{3+} \rightarrow Ce^{4+}$. Під час синтетичної процедури окиснення гідроксиду церію (III), ймовірно, відбувається не до кінця, також протікає реакція $Ce^{4+} \rightarrow Ce^{3+}$ при контакті з відновниками. Іони Ce^{3+} впроваджуються у кристалічну структуру оксиду церію (IV) замість Ce^{4+} як дефект, й спектрально перехід $O^{2-} (2p) \rightarrow Ce^{3+} (4f)$ спостерігається близько 250 нм [14].

Низка функціональних властивостей оксиду церію, у тому числі теплофізичних, визначається розмірним фактором та співвідношенням Ce^{4+}/Ce^{3+} . На УФ-Вид спектрах зразків колоїдних розчинів з наночастками оксиду церію виявлені сигнали при 370–420 нм та максимуми при 287,5–298 нм (рис.4). Зі збільшенням концентрації оксиду церію максимуми зсуваються у низькоенергетичну область, що корелює звичайно зі збільшенням розміру часток оксиду.

Тестування колоїдних розчинів на стійкість здійснювали протягом двох років візуально фіксуванням характерного жовтуватого кольору розчину та відсутності осаду. Відомо, що водні розчини стабілізатора ПВП стійкі протягом дворічного терміну.

У публікаціях щодо пошуку новітніх теплоносіїв та дослідження нанодисперсій зазвичай обговорюють вплив низки факторів на посилення теплопередачі нанодисперсій, серед яких частка об'єму фракції колоїдних часток, розмір та тип колоїдних часток, природа середовища, роль поверхні та геометрія експлуатаційного обладнання, при цьому уникаючи проблеми стабільності нанодисперсій. Нами встановлено статичну стабільність одержаних нанодисперсій оксиду церію з полівінілпіро-

Рис.4. УФ-Вид спектри нанодисперсій оксиду церію за довжиною хвилі з вмістом оксиду церію, %: 287,5 нм — $1,72 \cdot 10^{-3}$; 289 нм — $5,15 \cdot 10^{-3}$; 291,5 нм — $8,6 \cdot 10^{-3}$; 295 нм — $1,21 \cdot 10^{-2}$; 298 нм — $1,72 \cdot 10^{-2}$.

лідом протягом двох років, порівняну з істинним розчином ПВП.

Випробування теплопровідності одержаної $1,72 \cdot 10^{-3}$ %-ої стабільної нанодисперсії оксиду церію виконували при 50°C відносно дистильованої води з коефіцієнтом теплопровідності $0,65 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$. Нами виявлено збільшення коефіцієнта для нанодисперсій на 4–6 %, що є значною величиною для розбавлених розчинів. Зі збільшенням концентрації часток у розчинах зазвичай теплопровідність росте [4, 15]. При цьому слід шукати баланс між збереженням стабільності та зростанням теплопровідності нанодисперсій. Очевидно, що на теплопровідність впливають не тільки нанорозмірні частки оксиду церію, але й стабілізатор ПВП, що необхідно враховувати. Сполуки церію, зокрема оксид церію, проявляють антикорозійні властивості, що може бути корисним для захисту обладнання від корозії.

Серед оксидних наноматеріалів та наночастинок найбільш популярними та широко використовуваними у техніці є оксиди кремнію, алюмінію, заліза, титану, магнію, цинку, цирконію та міді. Опис нових видів дисперсій з наночастинами оксиду церію розширить можливості технологів у виборі теплоносіїв для процесів теплопередачі.

Висновки

Методом осадження з солей одержано низку нанорозмірних дисперсій оксиду церію розміром 1–10 нм, стабілізованих полівінілпіролідом. Електронна мікроскопія на просвіт засвідчила, що переважний діаметр часток менш 100 нм. Фотон-кореляційна спектроскопія підтвердила дані електронної мікроскопії, що у розчині є частки розмірами близько 5 та 30–70 нм.

Метод УФ-Вид спектроскопії виявився інформативним щодо природи одержаних нанодисперсій та запропонований як метод контролю відтворюваності технології матеріалів теплоносіїв. Візуальне спостереження стабільності нанодисперсій оксиду церію підтвердило відсутність формування осаду протягом двох років. Порівняно з водою створені нанодисперсії мають теплопровідність вищу на 4–6 %.

Список літератури

1. Alberola J.A., Mondragon R., Juli a J.E., Hernandez L., Cabedo L. Characterization of halloysite-water

- nanofluid for heat transfer applications. *Applied clay science*. 2014. Vol. 99. P. 54–61.
2. Бричка С.Я. Химия галлоизитных и имоголитных нанотрубок. Киев : Кий, 2016. 258 с.
3. Fan J., Wang L.Q. Review of heat conduction in nanofluids. *J. Heat Transfer Trans.* 2011. Vol. 133. P. 1–14.
4. Ambreen T., Kim M. Influence of particle size on the effective thermal conductivity of nanofluids : A critical review. *Applied Energy*. 2020. Vol. 264. P. 75–96.
5. Saidur R., Leong, K.Y., Mohammad H.A. A review on applications and challenges of nanofluids. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2011. Vol. 15. P. 1646–1668.
6. Mondragon R., Segarra C., Martinez-Cuenca R., Julia J.E., Jarque J.C. Experimental characterization and modeling of thermophysical properties of nanofluids at high temperature conditions for heat transfer applications. *Powder Technol.* 2013. Vol. 249. P. 516–529.
7. Putnam S.A., Cahill D.G., Braun P.V., Ge Z.B., Shimmin R.G. Thermal conductivity of nanoparticle suspensions. *J. Appl. Phys.* 2006. Vol. 99. P. 84–108.
8. Choi S.U.S., Zhang Z.G., Yu W., Lockwood F.E., Grulke E.A. Anomalous thermal conductivity enhancement in nanotube suspensions. *Appl. Phys. Lett.* 2001. Vol. 79. P. 2252–2254.
9. Бричка С.Я. Химия имоголитных нанотрубок. Ч. 1. Синтез и структура. *Катализ и нефтехимия*. 2010. № 18. С. 58–66.
10. Esfe M.H., Kamyab M.H., Valadkhani M. Application of nanofluids and fluids in photovoltaic thermal system : An updated review. *Solar Energy*. 2020. Vol. 199. P. 796–818.
11. Zayed M.E., Zhao J., Du Y., Kabeel A.E., Shalaby S.M. Factors affecting the thermal performance of the flat plate solar collector using nanofluids : A review. *Solar Energy*. 2019. Vol. 18. P. 382–396.
12. Bahiraei M., Heshmatian S. Electronics cooling with nanofluids : A critical review. *Energy Conversion and Management*. 2018. Vol. 172. P. 438–456.
13. Sajid M.U., Ali H.M. Recent advances in application of nanofluids in heat transfer devices: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. Vol. 10. P. 556–592.
14. Бричка С.Я., Бричка А.В., Чернявская Т.В., Котел Л.Ю. Модифицирование алюмосиликатных нанотрубок диоксидом церия. *Украинский химический журнал*. 2013. Т. 79, № 6. С. 97–100.
15. Salman S., Talib A.R.A., Saadon S., Sultan M.T.H. Hybrid nanofluid flow and heat transfer over backward and forward steps : A review. *Powder Technology*. 2020. Vol. 36. P. 448–472.

Надійшла до редакції 10.04.20

Бричка С.Я., докт. техн. наук,
Бондаренко Б.И., академик НАН Украины, докт. техн. наук, проф.
Институт газа НАН Украины, Киев
ул. Дегтяревская, 39, 03113 Киев, Украина, e-mail: serg_1971@ukr.net

Получение стабильных нанодисперсий оксида церия для процессов теплообмена

Описано создание стойких коллоидных растворов с использованием оксида церия и органических стабилизаторов для обеспечения лучших показателей теплообмена по сравнению с истинными растворами. Коллоиды оксида церия получали его осаждением из водного раствора нитрата церия водным раствором аммиака в присутствии полимера при интенсивном перемешивании при комнатной температуре. Получен ряд наноразмерных дисперсий оксида церия, стабилизированных поливинилпирролидоном, с размером частиц оксида 1–10 нм. Содержание CeO_2 в полученных дисперсиях составляло $1,72 \cdot 10^{-3}$, $5,15 \cdot 10^{-3}$, $8,6 \cdot 10^{-3}$, $1,21 \cdot 10^{-2}$, $1,72 \cdot 10^{-2}$ % при содержании полимера $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л, pH дисперсий составлял 8–9. Электронномикроскопическое изображение полученных нанодисперсий свидетельствует об узком распределении коллоидных частиц и наночастиц оксида церия по размерам. Коллоидные частицы представляют собой макромолекулярные клубки поливинилпирролидона с нанизанными наночастицами оксида. В объеме органической матрицы размером 20–50 нм размещено 10–40 частиц оксида церия размером 1–10 нм. Распределение по размерам частиц дисперсий, установленное методом фотон-корреляционной спектроскопии, имеет две области максимумов для каждого образца. Первый максимум для дисперсий всех исследованных концентраций относится к частицам диаметром 5–6 нм, которые, по нашему мнению, являются частицами оксида церия в полимерных клубках, и, вероятно, свободными от стабилизатора. Второй максимум в зависимости от образца наблюдается при 30–70 или 100–300 нм и относится к коллоидным частицам поливинилпирролидона с инкапсулированными частицами оксида церия. Установлена статическая стабильность полученных нанодисперсий оксида церия с поливинилпирролидоном на протяжении двух лет в стандартных условиях, сравнимая с истинным раствором полимера. Предложено методом УФ-спектроскопии контролировать воспроизводимость технологии получения материалов. Испытания теплопроводности полученной $1,72 \cdot 10^{-3}$ %-й стабильной нанодисперсии оксида церия проводились при 50 °C относительно дистиллированной воды с коэффициентом теплопроводности 0,65 Вт/(м·°C). Выявлено увеличение коэффициента для нанодисперсий на 4–6 %, что является значительной величиной для разбавленных растворов. *Библ. 15, рис. 4.*

Ключевые слова: нанодисперсия, оксид церия, теплопроводность, стабильность.

Brichka S.Ya., Doctor of Technical Sciences,
Bondarenko B.I., Academician of NAS of Ukraine,
Doctor of Technical Sciences, Professor
The Gas Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev
39, Degtyarivska Str., 03113 Kiev, Ukraine, e-mail: serg_1971@ukr.net

Maintaining Stable Nanodispersed Cerium Oxide for Heat Transfer Processes

The introduction of heat carriers progressive types causes the productivity of heat exchange systems to increase. One of the challenges in thermal applied applications is the search for heat carriers that will provide revolutionary indicators of thermal conductivity and stability over time, thereby increasing the order of the heat transfer processes efficiency magnitude. The paper describes the creation of stable colloidal solutions using cerium oxide and organic stabilizers to provide better heat exchange performance compared

to true solutions. Cerium oxide colloids were obtained by precipitation of the oxide from an aqueous solution of cerium nitrate with an aqueous ammonia solution in the presence of a polymer under vigorous stirring at room temperature. A number of cerium oxide nanosized dispersions, stabilized with polyvinylpyrrolidone, with a particle size of 1–10 nm were obtained. The content of CeO_2 in the obtained dispersions was $1.72 \cdot 10^{-3}$, $5.15 \cdot 10^{-3}$, $8.6 \cdot 10^{-3}$, $1.21 \cdot 10^{-2}$, $1.72 \cdot 10^{-2}$ % at a polymer content of $1 \cdot 10^{-3}$ mol/l, the pH of the dispersions was 8–9. Electron microscopic images of the obtained nanodispersions showed a colloidal particles narrow distribution and cerium oxide nanoparticles in size. Colloidal particles are macromolecular tangles of polyvinylpyrrolidone with oxide nanoparticles strung in them. A volume of 20–50 nm organic matrix contains 10–40 particles of 1–10 nm cerium oxide. The particle size distributions of the dispersions established by the photon-correlation spectroscopy method have two areas of maxima for each sample. The first maximum for the dispersions of all investigated concentrations refers to particles with a diameter of 5–6 nm, which, in our opinion, are particles of cerium oxide, both in polymer beads and probably free from the stabilizer. Another maximum, depending on the sample, is observed at 30–70 nm or 100–300 nm, and relates to colloidal particles of PVP with cerium oxide encapsulated particles. The static stability of the cerium oxide obtained nanodispersions with polyvinylpyrrolidone for two years under standard conditions is comparable to the true polymer solution. It is proposed by the method of UV spectroscopy to control the reproducibility of the obtaining materials technology. Tests of the thermal conductivity of the obtained $1.72 \cdot 10^{-3}$ % stable cerium oxide nanodispersion were performed at 50 °C relative to distilled water with a thermal conductivity coefficient of 0.65 W/(m·deg). We found an increase in the coefficient for nanodispersions by 4–6 %, which is a significant value for dilute solutions. *Ref. 15, Fig. 4*.

Key words: nanodispersion, cerium oxide, heat conductivity, stability.

References

1. Alberola J.A., Mondragon R., Julia J.E., Hernandez L., Cabedo L. Characterization of halloysite-water nanofluid for heat transfer applications. *Applied clay science*. 2014. Vol. 99. pp. 54–61.
2. Brichka S.Ya. [Chemistry of halloysite and imogolite nanotubes]. Kiev : Kyi, 2016. 258 pp. (Rus.)
3. Fan J., Wang L.Q. Review of heat conduction in nanofluids. *J. Heat Transfer Trans.* 2011. Vol. 133. pp. 1–14.
4. Ambreen T., Kim M. Influence of particle size on the effective thermal conductivity of nanofluids : A critical review. *Applied Energy*. 2020. Vol. 264. pp. 75–96.
5. Saidur R., Leong, K.Y., Mohammad H.A. A review on applications and challenges of nanofluids. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2011. Vol. 15. pp. 1646–1668.
6. Mondragon R., Segarra C., Martinez-Cuenca R., Julia J.E., Jarque J.C. Experimental characterization and modeling of thermophysical properties of nanofluids at high temperature conditions for heat transfer applications. *Powder Technol.* 2013. Vol. 249. pp. 516–529.
7. Putnam S.A., Cahill D.G., Braun P.V., Ge Z.B., Shimmin R.G. Thermal conductivity of nanoparticle suspensions. *J. Appl. Phys.* 2006. Vol. 99. pp. 84–108.
8. Choi S.U.S., Zhang Z.G., Yu W., Lockwood F.E., Grulke E.A. Anomalous thermal conductivity enhancement in nanotube suspensions. *Appl. Phys. Lett.* 2001. Vol. 79. pp. 2252–2254.
9. Brichka S.Ya. [Chemistry of imogolite nanotubes. Part 1. Synthesis and structure]. *Catalysis and petrochemicals*. 2010. No. 18. pp. 58–66. (Rus.)
10. Esfe M.H., Kamyab M.H., Valadkhani M. Application of nanofluids and fluids in photovoltaic thermal system: An updated review. *Solar Energy*. 2020. Vol. 199. pp. 796–818.
11. Zayed M.E., Zhao J., Du Y., Kabeel A.E., Shalaby S.M. Factors affecting the thermal performance of the flat plate solar collector using nanofluids : A review. *Solar Energy*. 2019. Vol. 18. pp. 382–396.
12. Bahiraei M., Heshmatian S. Electronics cooling with nanofluids: A critical review. *Energy Conversion and Management*. 2018. Vol. 172. pp. 438–456.
13. Sajid M.U., Ali H.M. Recent advances in application of nanofluids in heat transfer devices: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. Vol. 10. pp. 556–592.
14. Brichka S.Ya., Brichka A.V., Chernyavskaya T.V., Kotel L.Yu. [Modification of aluminosilicate nanotubes with cerium dioxide]. *Ukrainian Chemical Journal*. 2013. 79 (6). pp. 97–100. (Rus.)
15. Salman S., Talib A.R.A., Saadon S., Sultan M.T.H. Hybrid nanofluid flow and heat transfer over backward and forward steps : A review. *Powder Technology*. 2020. Vol. 36. pp. 448–472.

Received April 10, 2020