

АНАЛІЗ ТА ПЕРСПЕКТИВА ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОМІЖНИХ ТЕПЛО- ТА ХОЛОДНОСІЇВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОТРУБОК

Наведено огляд перспектив застосування наночастинок у тепло- і холодоносіях. Розглянуто вплив наночастинок на теплофізичні властивості наносуспензій, наведено нові експериментальні дані про фізичні властивості суспензій з вуглецевими нанотрубками, що отримані з коксового пилу.

Приведен обзор перспектив применения наночастиц в тепло- и холодоносителях. Рассмотрено влияние наночастиц на теплофизические свойства наносuspensions, приведены новые экспериментальные данные о физических свойствах суспензий с углеродными нанотрубками полученными из коксовой пыли.

The article provides an overview of the prospects for the use of nanoparticles in the warm and coolant. The influence of nanoparticles on the thermophysical properties nanosuspensions are presented new experimental data on the physical properties of suspensions of carbon nanotubes obtained from the coke dust.

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 галузі було досягнуто останніми роками за рахунок вживання нанотехнологій – суспензій наночастинок у класичних теплоносіях. Наносуспензії – розчини наночастинок, розміри яких знаходяться в діапазоні від 20 до 100 А, стали об'єктом інтенсивних наукових досліджень, завдяки раніше невідомим ефектам і аномальній поведінці фізико-хімічних властивостей, зокрема, коефіцієнта теплопровідності [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні декілька десятиліть опубліковано велику кількість робіт, присвячених засобам інтенсифікації теплоносіїв і холодоносіїв в існуючому обладнанні. У наш час з появою наносуспензій з'являється можливість розвитку таких методів інтенсифікації теплообміну, які сприятимуть підвищенню енергетичної ефективності обладнання та зменшенню загрози навколишньому середовищу. Розглянемо основні види тепло та холодоносіїв, які використовуються в теперішній час.

Теплоносії, що призначені для використання в циркуляційних контурах теплових апаратів, мають відповідати цілому комплексу вимог до їх термодинамічних, фізико-хімічних, біологічних і технологічних властивостей. До основних вимог, зокрема, належать:

- високі температури кипіння, спалаху і термічного розпаду (термостійкість);
- сприятливі термодинамічні властивості, які забезпечують високу інтенсивність тепловіддачі від теплоносія до стінки циркуляційного контуру;
- сприятливі значення в'язкості, які виключають необхідність застосування високих тисків для створення циркуляції теплоносія;
- хімічна інертність теплоносія щодо конструкційних матеріалів, які дозволені для виготовлення обладнання харчових виробництв;
- нешкідливість для людини і навколишнього середовища;
- сприятливі техніко-економічні показники – тривалий термін технічного використання, невисока вартість що є особливо важливо в умовах ринкових стосунків [2].

Таблиця 1 – Основні показники окремих проміжних теплоносіїв

Теплоносії	Густина за 20 °С, кг/м ³	Температура			Теплоємність за 20 °С, кДж/кг · К	Теплопровідність, Вт/м·К
		Плавлення, °С	Насичення, °С	Спалаху, °С		
Силіколь РД5 – силіконове мастило	920	-30	+ 270	–	1,81	
Метилфенілсиліконо-вірідини – ДС-703	1089	- 32	+ 450	+300	–	
Мінеральне мастило	920	-33	–	+310	1,712	
Мобільтерм-600	965	-17	+355	–	1,56	
Гліцерин	–	–	+290	–		
АТМ-300	820	–	+352	–	1,57	
Поліфенілметилсилоксани(ПМФС)	1100	- 60	+250	+300	1,5... 2,5	0,143
Поліетилсилоксани (ПЕС)	970... 1180	- 60	+250	+300	1,7... 1,9	0,095... 0,167
Поліметилсилоксани (ПМС)	910... 980	- 60	+300	+330	1,632	0,167

Двофазні теплоносії – дифенільна суміш і діарилметани (ДКМ, ДТМ) не знайшли до цього часу широкого застосування в тепловому обладнанні підприємств харчування внаслідок їх токсичності, що потребує повної герметизації апаратів та зумовлює складну та дорогую конструкцію. Перевагами ДКМ, ДТМ є високі температури кипіння (258 та 296⁰ С), термостійкість у межах до 350⁰ С і відсутність корозійного впливу на метали, відсутність змішування питомого об'єму в умовах кипіння. Гліцерин використовується як рідкий теплоносіє за умов нагрівання до 220...250⁰ С він неотруйний, невибухонебезпечний, недефіцитний, порівняно дешевий і забезпечує рівномірний нагрів теплопередавальній поверхні. Використовуються також мінеральні мастила, компресійних–марок 12-М та 19-М, циліндрові – марок 38 та 52, Вапор Т. Температура кипіння мінеральних мастил знаходиться в інтервалі 250...300⁰ С, вони можуть використовуватися тільки в рідинному (однофазному) стані[3]. Суттєвим недоліком цих теплоносіїв є нетривалий термін зберігання, їх термостійкості. Крім того, пари мастил інтенсивно горять у рідкому стані. Основні показники проміжних теплоносіїв, які на сьогоднішній день працюють у діапазоні температур до 250⁰ С, наведено в табл.1.

Вибір холодоносіїв, що реалізують ті чи інші холодильні технології, є не менш відповідальним, ніж вибір холодоагенту. Очевидна зміна складу (концентрацій різних компонентів) холодоносія, а отже, і його теплофізичних властивостей, у процесі експлуатації холодильної установки – ще одна деталь, що ускладнює вибір холодоносія [4].

Зазначені вище проблеми, якщо не приділяти їм необхідної уваги, призводять до скорочення термінів роботи холодильного обладнання, збільшення витрат на виконання профілактичних та ремонтних робіт, аж до припинення роботи холодильної установки в цілому [5]. Найбільш вагомим тут стає погіршення якості чи псування продукції, що охолоджується, наприклад, за рахунок потрапляння в продукцію самого холодоносія чи його токсичних домішок. Особливо своєрідно слід вирішувати такі проблеми у харчовій промисловості, галузі переробки та зберігання сільськогосподарської сировини.

У харчових виробництвах найбільш широке застосування як холодоносії одержали розчини CaCl₂, MgCl₂, NaCl, K₂CO₃, які достатньо економічні за прямими витратами. У малих концентраціях CaCl₂; використовують як харчову добавку (E509), хлориди натрію і магнію також не токсичні. Розчину K₂CO₃ властиві високі значення рН. Але ці розчини дуже агресивні стосовно конструкційних матеріалів, харчових продуктів (за високих концентрацій), тому втрати, пов'язані з погіршенням якості продуктів, можуть у багато разів перевищити прямі

витрати. У цьому плані має місце тенденція заміни цих холодоносіїв на інші, що забезпечують і більш надійну роботу холодильного обладнання, і вигідно відрізняються за санітарно-гігієнічними, токсикологічними властивостями. У першу чергу до них відносять водяні розчини багатоатомних спиртів, таких як пропіленгліколь, тиленгліколь, гліцерин. Мають свої переваги і водяні розчини метилового та етилового спиртів, аміаку. Але низька цих переваг поєднується з їхнім недоліком пожежною та вибухонебезпечністю холодоносіїв [6-7].

Теплофізичні властивості основних холодоносіїв за декількох значень температур та концентрацій наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Теплофізичні властивості холодоносіїв

Назва	Плавіння при t , °C	Динамічний Коефіцієнт в'язкості $\mu \cdot 10^6$, Па·с	Питома теплоємність при постійному тиску порівн, кДж/(кг·K)	Теплопровідність λ , Вт/(м·K)	Властивості при t , °C
Водяний розчин NaCl (21,1% по масі)	-21,2	5750	3,308	0,520	+15
Водяний розчин CaCl ₂ 21,1% масі)	-55	22560	2.659	0.488	+15
Водяний розчин етиленгліколя (38,8% по масі)	-26	11080	3,46	0,454	-15
Вода	0	1299,0	4,193	0,586	+10
Етанол	114,5	1799	2,332	0,183	0
Етиленгліколь	-15,6	9556	2,474	0,256	+40
Гліцерин	-18	330000	2,45	0,281	+40
Водяний розчин Пропіленагліколя	-20,5	15600	3,740	0,388	-4
Freezium (37% по масі)	-30	4842	2,94	0,48	-15
Tyfoxit 1.24	-55,0	80830	2,771	0,405	-40
«Экосол-40»	-40,0	10000	4,434	0,634	+20

Мета та завдання статті. Метою роботи є огляд існуючих на теперішній час тепло- та холодоносіїв та можливості покращення їх теплофізичних властивостей за рахунок суспензій із наночастинок (НЧ). Дослідження фізичних властивостей вуглецевих нанотрубок (ВНТ) отриманих з коксового пилу

Виклад основного матеріалу дослідження. Одним з перспективних засобів інтенсифікації тепловіддачі є застосування суспензій наночастинок у теплоносіях і холодоносіях. Виконані дослідження показують, що НЧ сприяють не лише збільшенню ефективної теплопровідності, а й тепловіддачі, ніж звичайні рідини [8-15]. Були виявлені ефекти впливу НЧ на інші теплофізичні властивості для широкої номенклатури рідин, включаючи холодоагенти та компресорні мастила. Проте може спостерігатися і зниження тепловіддачі, якщо виникне механізм об'єднання наночастинок між собою і, як наслідок, розпочнеться процес осадження мікрочастинок на поверхню теплообміну.

Таблиця 3 – Дослідження процесів теплообміну тепло- та холодоносіїв із застосуванням наночастинок

Тепло- та холодоносії	Вигляд наночастки	Розмір наночастинок, нм	Вплив на коефіцієнт теплообміну	Автор досліджу	Умова експерименту
1	2	3	4	5	6
Вода	Al ₂ O ₃ , TiO ₂	13 27	Зменшення на 12 %	[9]	Турбулентна течія
Вода	Cu	100	Збільшення	[10]	Турбулентна течія
Вода	Al ₂ O ₃	12	Збільшення	[11]	Ламінарна течія
Поліестерне мастило	Карбовані нанотрубки	13	Збільшення	[12]	Кипіння на плоскій поверхності
H ₂ O/LiBr	Вуглецеві нанотрубки	13	Збільшення	[13]	Адсорбція в холодильній машині

Зазвичай наносуспензії створюються шляхом ультразвукового диспергування НЧ у таких рідинах, як вода, етиленгліколь (ЕГ), холо-

доагенти та різні мастила [7]. Окрім зміни густини, теплопровідності, в'язкості та температури кипіння рідини, також змінюється тиск насиченої пари, коефіцієнти тепловіддачі та інші характеристики. Таким чином, з'являються об'єктивні умови для зміни інтенсивності теплообміну.

Було проведено огляд робіт в яких досліджувались ефекти впливу концентрації НЧ на теплопровідність, теплообмін які наведені в табл. 3 і 4.

Таблиця 4 – Дослідження теплофізичних властивостей наночастинок

Тепло- та холодоносії	Вигляд наночастинок	Розмір, нм	об'ємна концентрація наночастинок, %	Показник теплофізичних властивостей	Зміна показників, %	Автор досліджу
Вода	Al ₂ O ₃ , Cu	33 36	5 5	Теплопровідність	+29 +60	[9]
Вода	Cu	10 0	5	Теплопровідність	+54	[9]
Вода	Al ₂ O ₃	12		Теплопровідність		[14]
Вода	Al	40 60	0,04- 0,016	В'язкість	Збільшує	[10]
Мастило	ВНЧ		до1	В'язкість і мас- тильні х-ки	Збільшує	[13]
ЕГ	Al ₂ O ₃	38	5	Теплопровідність	+18	[15]

На кафедрі холодильної та торговельної техніки проводять роботи з досліджень фізичних властивостей наносуспензій. Зокрема було вперше досліджено ВНТ, які отримані в Українському державному науково-дослідному вуглекислотному інституті (УХІН) з коксового пилу.[17] Було проведено вимірювання температуропровідності, в'язкості, проводилися експерименти з ЯМР-спектроскопії, а так ж було визначено коефіцієнт об'ємного розширення. Усі експерименти проводилися за кімнатної температури $t = 20^{\circ}C$. Дані експериментів наведені в табл.5. Аналіз результатів показує, що ВНТ, отримані у процесі коксування вугілля, у водних суспензіях змінюють теплофізичні властивості, також як і ВНТ, отримані іншими способами.

Таблиця 5 – Експериментальні дані суспензій ВНТ+вода

Показник	Концентрація, ВНТ (%)					
	Вода	1	2	3	4	5
Відносна температуро- провідність, % $\Delta a/a_0$	0	1,3	4,6	5,5	5,2	6,9
В'язкість, 10^6 , м ² /с	1,22	1,22	1,21	1,19	1,19	1,18
Час спін-спінової релак- сації, мс	0,49	0,23	0,2	0,13	0,10	0,1
Коефіцієнт об'ємного розширення, 10^4 , К ⁻¹	5,87	7,06	7,06	7,06	7,08	7,16

Висновки. Аналіз виконаних досліджень показує, що збільшення теплопровідності є характерною особливістю для різних типів суспензій тепло- холодоносіїв і нанофлюїдів. Теплопровідність таких суспензій залежить від розмірів, матеріалу та концентрації наночастинок і типу розчинника. Теоретичні дослідження, різних авторів, підтверджують, що ефективна теплопровідність нанофлюїдів збільшується зі зменшенням розміру наночастинок та збільшується коефіцієнт теплообміну. Проведені власні експериментальні дослідження, дозволяють розглядати ВНТ, отримані в процесі коксування вугілля, як перспективні наночастинок для підвищення енергоефективності існуючих тепло- та холодоносіїв

Список літератури

1. Anomalously 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. Четкин, А. В. Высокотемпературные теплоносители [Текст] / А. В. Четкин. – М. : Энергия. –1991.
3. Patel, N. C. A new cubic equation of state for fluid mixtures [Text] / N. C. Patel // Chem. Eng. Sci. – 1992. – V.37. – N3. – P.59–64.
4. Цветков, О. Б. Одно- и двухфазные жидкие теплоносители [Текст] / О. Б. Цветков, Ю. А. Лаптев // Холодильная техника. – 2004. – №10.
5. Баранник, В. П. Низкотемпературные экологически чистые теплоносители [Текст] / В. П. Баранник, Б. Т. Маринюк // Холодильная техника. – 2003. – №6.
6. Цветков, О. Б. Одно- и двухфазные жидкие теплоносители [Текст] / О. Б. Цветков, Ю. А. Лаптев // Холодильная техника. – 2005. – №11.
7. Кирилов, В. В. Пути оптимизации свойств теплоносителей контуров промежуточного охлаждения // [Текст] / В. В. Кирилов, Е. Т. Петров №13. – С. 474–480.

8. Cahill, D. G. Thermal conductivity of nanoparticle suspensions [Text] / D. G. Cahill, S. A. Putnam // J. Appl. Phys. – 2006. – №99. – P. 304–308.
9. Eastman, J. A. Nanofluids for thermal transport, Materials Today 8 [Text] / J. A. Eastman. – 2005. – P. 36–44.
10. Empirical correlation finding the role of temperature and particle size for nanofluid [Text] / C. H. Chon [et al] // Appl. Phys. Lett. – 2005. – № 87.
11. Золотухин, И. В. Углеродные нанотрубки [Текст] / И. В. Золотухин // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 3. – С. 11–15.
12. Production of carbon nanotubes from coal [Text] / J. Qiu. [et al] // Fuel processing technology. – 2004. – №15. – P. 1663–1670.
13. Kiyama, Y. Direct Synthesis of Carbon Nanotube from Coal [Text] / Y Kiyama. // Appl. Phys.– 2005. – № 42. – P. 105–106.
14. 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.
15. Елецкий, А. В. Фуллерены и структуры углерода [Текст] / А. В. Елецкий, Б. М. Смирнов // УФН. 1995.
16. Образование углеродных наноструктур при коксовании углей [Текст] / В. М. Шмалько, О. И. [и др.] // Углекимический журнал. – 2009. – №3-4. – С. 37–42.

Отримано 1.10.2010. ХДУХТ, Харків.

© В.О. Потапов, С.О. Шевченко, 2010.

УДК 621.798:664

Н.О. Афукова, канд. техн. наук, доц.

А.М. Канцеляренко, студ.

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО РИНКУ АПАРАТІВ ДЛЯ ПАКУВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Проведено аналіз сучасного ринку апаратів для пакування харчових продуктів. Пропонується найширше використовувати вакуумні пакувальні машини.

Проведен анализ современного рынка аппаратов для упаковки пищевых продуктов. Предлагается шире использовать вакуумные упаковочные машины.

The analysis of the market of devices for food packaging. Invited to make greater use of vacuum packaging machines.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Одним з найважливіших етапів у загальному ланцюгові руху продуктів від постачальника до споживача є товарна обробка продукції. Товарна обробка