

333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)3494556; e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

Рекомендовано до публікації канд. техн. наук В.А. Куценком, канд. техн. наук О.Г. Дьяковим.

Отримано 1.08.2014. ХДУХТ, Харків.

УДК 621.565.93.95

ПРОГРЕСИВНІ ПРОМІЖНІ ХОЛОДНОСІЇ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ СИСТЕМ НЕПРЯМОГО ОХОЛОДЖЕННЯ

О.В. Петренко, Д.П. Семенюк

Проведено огляд сучасних речовин, які найчастіше застосовуються в холодильних системах непрямого охолодження. Розглянуто перспективи використання проміжних холодоносіїв і шляхи підвищення ефективності проміжних холодоносіїв та холодильних систем непрямого охолодження.

Ключові слова: *непряме охолодження, проміжний холодоносій, модифікація, нанорозмірні наповнювачі.*

ПРОГРЕССИВНЫЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ХЛАДОНОСИТЕЛИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ СИСТЕМ КОСВЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Е.В. Петренко, Д.П. Семенюк

Проведен обзор современных веществ, которые чаще всего применяются в холодильных системах косвенного охлаждения. Рассмотрены перспективы использования промежуточных хладоносителей и пути повышения эффективности промежуточных хладоносителей и холодильных систем косвенного охлаждения.

Ключевые слова: *косвенное охлаждение, промежуточный хладоноситель, модификация, наноразмерные наполнители.*

PROSPECTS FOR USING INTRMEDIATE REFRIGERANTS FOR THE INDIRECT COOLING SYSTEMS

O. Petrenko, D. Semeniuk

At the present stage of technosphere evolution the energy and resource saving is the priority of national policy for many countries.

Refrigeration and air conditioning industry are the energy-intensive sectors of modern industry. One of the ways of dealing with energy consumption problem is the usage of intermediate cooling systems. However, currently used systems have several disadvantages, in particular increased energy and maintenance costs. It is connected with the use of inefficient intermediate refrigerants, modifications of properties of which does not keep pace with the development of cooling systems. The problem of intermediate refrigerants modification can be solved by introducing the nano-sized filling agents.

Unfortunately current literature sources do not contain data describing the usage of intermediate refrigerants filled with nano-sized substances because of their large diversity. Therefore, it is reasonable to carry out the researches which would allow evaluating the influence of nano-particles on thermal parameters of intermediate refrigerants and on cooling systems in general.

This can be done only due to clear vision of the ideal model of intermediate refrigerant, by matching the existing groups of refrigerants with this ideal model and by selecting the most suitable of them for further modifications with nano-particles.

In order to find the perspective substances for modification, an overview of modern refrigerants, which are most often used in indirect cooling systems, is carried out.

By analyzing the latest achievements in nano-technologies it is possible to make a conclusion about their great potential which in nearest future will lead to significant changes in a great number of industry sectors and to the creation of new materials and products.

Keywords: *indirect cooling, intermediate refrigerant, modification, nano-sized fillers.*

Постановка проблеми у загальному вигляді.

Енергозбереження та ресурсозбереження є пріоритетними напрямками державної політики України в різних сферах виробництва, у тому числі й у холодильній та кліматичній індустрії.

Висока енергоємність сучасної продукції вітчизняного виробництва пов'язана не лише з його порівняно низьким техніко-технологічним рівнем, але й з усією соціально-економічною організацією використання енергії. З огляду на це необхідні такі інноваційні пропозиції, які сприяли б підвищенню якості продукції та загальної ефективності діяльності підприємств.

Більшість вітчизняних харчових та переробних підприємств для систем холодопостачання широко використовують аміачні холодильні установки. Однак попри відмінні термодинамічні показники аміак є токсичною речовиною і утворює вибухонебезпечні суміші з повітрям. Отже, для забезпечення біологічної та хімічної безпеки в ході використання аміачних холодильних установок пріоритетним завданням є максимальне зниження їх аміакомісткості. Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є застосування систем непрямого охолодження з використанням проміжного холодоносія [1].

Проте системи з проміжним охолодженням, що використовуються на підприємствах у цей час, мають певні недоліки, зокрема високі енергетичні та експлуатаційні витрати. Це пов'язано з використанням малоєфективних проміжних холодоносіїв, модифікація властивостей яких не встигає за розвитком холодильної техніки. Отже, розробка нових холодоносіїв із комплексом оптимальних властивостей має бути заснована на взаємодії між компонентами розчину, побудові математичних і фізичних моделей, що дасть можливість пов'язати вихідні та експлуатаційні властивості холодоносія, розв'язати актуальне науково-технічне завдання із підвищення ефективності роботи систем з проміжним охолодженням.

Одним зі шляхів вирішення проблеми модифікації проміжних холодоносіїв є додавання нанорозмірних наповнювачів до їх складу, що пояснюється унікальними властивостями наночасток. Проаналізувавши останні досягнення у сфері нанотехнологій, можна зробити попередній висновок, що на сьогодні нанотехнології мають великий потенціал і найближчим часом приведуть до великих змін у багатьох галузях промисловості, зокрема до створення нових матеріалів, виробів і продуктів.

На жаль, сьогодні в літературних джерелах відсутні дані щодо застосування розчинів проміжних холодоносіїв із нанорозмірними структурами через їх розмаїтість, тому доцільно провести дослідження, що дозволять оцінити вплив наночасток на теплофізичні параметри вищезгаданих розчинів та холодильних систем загалом. Зробити це можна, лише чітко уявляючи модель ідеального проміжного холодоносія, зіставивши з нею існуючі групи холодоносіїв і виділивши з них найбільш оптимальні та придані для подальшої модифікації нанорозмірними структурами.

Мета статті – провести порівняльний аналіз проміжних холодоносіїв, що знайшли найпоширеніше застосування в холодильних системах непрямого охолодження.

Виклад основного матеріалу дослідження. У працях [2; 3] наведено дані щодо властивостей та вимог до проміжних холодоносіїв. За даними цих авторів, для харчової промисловості симбіоз якостей холодоносіїв має включати обов'язкові, важливі та бажані якості. Доцільно буде розглянути їх детальніше.

Обов'язковими якостями є такі: фізіологічна нешкідливість, екологічна безпека та енергоефективність; температура початку замерзання, на 5...7°C нижча за мінімальну робочу температуру; нормальна температура кипіння повинна бути вища за максимальну температуру відтавання теплопередавальних поверхонь, що обмерзають; стабільність властивостей, у тому числі за підвищених температур режиму відтавання.

Важливими якостями є: хімічна сумісність із металами та матеріалами ущільнень; пожежо- та вибухобезпечність; позитивні виробничі випробування або досвід експлуатації не менш ніж п'ять років; невисока вартість.

Бажані якості – це гарне сполучення теплофізичних властивостей (мала в'язкість, більша теплопровідність і теплоємність, висока густина); наявність достовірних відомостей про властивості й мінімум обслуговування під час експлуатації; наявність вітчизняного промислового виробництва.

На сьогодні ідеальних холодоносіїв, що відповідають зазначеним вимогам, не існує. Розглянемо докладніше проміжні холодоносії, що знайшли широке застосування в холодильних системах непрямого охолодження на підприємствах галузі.

У холодильних системах непрямого охолодження як проміжні холодоносії найчастіше використовують воду та водяні розчини різноманітних речовин, що знижують температуру кристалоутворення води – антифризи. Завдяки винятковим теплофізичним властивостям та показникам безпеки сьогодні вода є одним із найкращих теплохолодоносіїв. Проте застосовувати воду в системах охолодження, що працюють за негативних температур, можна тільки в суміші з антифризами. Їхні водяні розчини повинні максимально зберігати теплофізичні характеристики води, тобто мати високу теплопровідність і теплоємність, низьку в'язкість, невелику корозійну активність і не чинити шкідливого впливу на навколишнє середовище.

Сучасні проміжні холодоносії на водяній основі можна віднести до однієї із трьох груп: розчини спиртів; розчини неорганічних солей; розчини органічних солей [3].

Перша група включає водяні розчини одноатомних спиртів (метанолу та етанолу) і гліколів (етиленгліколю та пропіленгліколю). Усі вони ефективно знижують температуру замерзання та є сумісними з матеріалами, що найчастіше використовуються в непрямих системах охолодження. Однак токсичність метанолу та етиленгліколю повністю виключає можливість використання їх у виробництві харчових продуктів. Щодо етанолу, то він має низьку температуру кипіння, що обумовлює його підвищену леткість і може привести до створення вибухонебезпечної концентрації пари. Це накладає певні обмеження на його застосування.

На підприємствах харчової промисловості активно використовуються водяні розчини пропіленгліколю, якому притаманна низька токсичність та висока температура кипіння (187°C). Проте розчини пропіленгліколю за своїми теплофізичними характеристиками близькі до води лише за концентрацій менш ніж 20%. За більших

концентрацій і нижчих робочих температур розчини пропіленгліколю мають незадовільні теплопередавальні властивості, обумовлені насамперед їхньою високою в'язкістю. Таким чином, холодоносії на основі пропіленгліколю доцільно застосовувати в інтервалі температур від -15 до -1°C .

Розчини неорганічних солей, таких як карбонат калію та хлорид кальцію, мають гарні теплофізичні властивості, нетоксичні, недорогі, забезпечують зниження температури замерзання до мінус 50°C , але ці холодоносії мають суттєвий недолік – відсутність ефективних інгібіторів корозії, що приводить до швидкого руйнування систем трубопроводів і створює загрозу забруднення продуктів харчування, які зазнають холодильної обробки.

Останнім часом на ринку з'явився новий клас холодоносіїв – на основі солей органічних кислот, а саме ацетату калію. Ацетатні холодоносії торговельних марок «Tyfoxit», «Antifrogen», «Freezium» набули широкого використання завдяки ефективній роботі в широкому діапазоні температур від мінус 60 до 0°C , значенням теплоємності та теплопровідності, порівняно з аналогічними характеристиками води, низькій корозійній активності та доступній ціні. Крім того, розробка цих холодоносіїв дозволила вирішити важливу екологічну проблему: повністю відмовитися від використання фреонів у холодильних установках великих супермаркетів, що особливо важливо для країн Північної Європи, де встановлені граничні строки для повного заміщення фреонів альтернативними холодоносіями.

У таблиці наведено основні фізико-хімічні властивості проміжних холодоносіїв, які широко використовуються на підприємствах галузі. У моделі ідеального холодоносія необхідно, щоб окрім високих теплофізичних властивостей він мав низьку корозійну активність, був безпечним та інертним до навколишнього середовища.

Одним із головних недоліків чистої води є її висока корозійна активність. Для зіставлення корозійної активності води та водяних розчинів антифризів була проведена серія експериментів [4]. Досліджувались метали, що найчастіше використовуються як основні конструкційні матеріали холодильного обладнання харчових виробництв: сталь, чавун, мідь, латунь і алюміній. Із всіх досліджуваних речовин тільки добавка хлориду кальцію різко збільшила корозійні показники води, пропіленгліколь підсилив корозійну активність відносно сталі та чавуну, а добавка ацетату калію, навпаки, виступила як слабкий інгібітор. Отримані дані істотно перевищують гранично допустимі ДСТУ втрати від корозії – не більше $0,1 \text{ г/м}^2$ на добу. Таким чином, використання чистих розчинів, у тому числі й ацетатів калію, є неприпустимим.

Фізико-хімічні властивості проміжних холодоносіїв

Холодоносіїв	Температура кристалізації, °С	Густина, кг/м ³	Теплоємність, кДж/м ³	Теплопровідність, Вт/м · К	Кінематична в'язкість, мм ² /с
Вода	0	1000	4230	0,551	1,7
Пропіленгліколь, 54%-й розчин	-40	1040	3590	0,323	270
Хлорид кальцію, 28%-й розчин	-40	1260	3448	0,493	11,9
Ацетат калію «Нордвей»	-40	1240	3680	0,431	26,2
Ацетат калію «Tufoxit»	-40	1220	3600	0,434	24,0

Універсальних інгібіторів корозії не існує. Відомий ряд органічних і неорганічних речовин, яким притаманні певні захисні властивості. Оптимальне їх поєднання є складним завданням: матеріали, що рекомендуються для захисту одного металу, можуть чинити протилежну дію на інші. Таким чином, інгібітор корозії являє собою точно збалансований комплекс речовин, спрямований на захист різних за природою та структурою матеріалів, ефективність дії якого значною мірою залежить від кваліфікації розробника.

Слід зазначити, що через високу корозійну активність холодоносіїв на основі водяних розчинів неорганічних солей, крім розчину карбонату калію, рекомендується застосовувати зі спеціальними присадками інгібіторами корозії. Практика показує, що термін експлуатації обладнання, яке контактує з цими холодоносіями, за наявності інгібіторів становить до 20 років, а без них – від 3 до 7 років. Важливими вимогами є суворий контроль над розчином та відсутність його контакту з повітрям.

Для розчинів карбонату калію характерна низька корозійна активність до основних конструкційних матеріалів холодильних систем, що знижує вимоги до контролю його концентрації до одного разу за рік експлуатації. Усі зазначені розчини рекомендується застосовувати в закритих системах холодопостачання, тобто системах, у яких холодоносіїв не має контакту з атмосферою або контактує з нею тільки вільною поверхнею в розширювальному баку.

Усі холодоносії на основі гліколів і спиртів відрізняються низькою корозійною активністю до конструкційних матеріалів холодильних систем. За наявності інгібіторів термін експлуатації обладнання може бути безмежним, до моменту морального або фізичного старіння. Розчин етиленгліколю в харчовій промисловості практично не застосовується через високу токсичність. Для розчинів пропіленгліколю та гліцерину без спеціальних добавок характерна висока в'язкість за температур нижче мінус 20°C. Розчин пропіленгліколю без присадок широко застосовується як холодоносієм за температур не нижче мінус 15°C. Останнім часом на ринку з'явилися російські низьков'язкі холодоносії (ХНТНВ40 і ХНТНВ50) на основі розчинів пропіленгліколю з температурами початку кристалізації мінус 40 і мінус 50°C відповідно. Ці холодоносії рекомендуються для застосування в холодильних системах харчових виробництв: під час виготовлення морозива, заморожування продуктів і їх зберігання.

Розчин етанолу («Екофрост») – специфічний холодоносієм на основі етилового спирту, пожежонебезпечний, має високу леткість та деякі ускладнення під час експлуатації через можливе несанкціоноване його вживання персоналом.

Водяні розчини органічних солей мають обмежений промисловий досвід експлуатації в Україні. Зміна компонентного складу цих холодоносіїв через накопичення продуктів корозії або потрапляння в них навіть невеликої частки охолоджуваних продуктів приводить до зростання корозійної активності та зміни теплофізичних характеристик. Потрапляючи на поверхню обладнання після випару води, вони утворюють гострі кристали, які можуть пошкодити цілісність сальникових ущільнень. Слід зазначити, що існуючий асортимент цих холодоносіїв рекомендується застосовувати для закритих систем холодопостачання.

Зазначимо, що всі види технологічних процесів у харчовій та переробній промисловості, за винятком виробництва морозива, холодильної обробки харчових продуктів і подальшого їх зберігання, вимагають температур до -10...-15°C. Наприклад, для молочного виробництва цей рівень обмежується температурою не нижче мінус 10°C, що дозволяє широко застосовувати водяні розчини пропіленгліколю як холодоносієм у другому контурі холодильної системи. Основна частина холодопостачання в молочному виробництві припадає на одержання крижаної води та акумуляцію льоду (у разі наявності льодоаккумуляторів) для зняття пікових навантажень споживання холоду.

Висновки. Таким чином, стислий аналіз існуючих і доступних для вітчизняного споживача холодоносіїв показує обмеженість їхнього асортименту на ринку та в практиці застосування в непрямих холодильних системах промислових підприємств галузі. Необхідно спрямувати подальші дослідження на модифікацію існуючих та доступних проміжних холодоносіїв, перш за все на воду та водяні розчини пропіленгліколю. На нашу думку, одним із шляхів покращення їх фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей є додавання нанорозмірних наповнювачів до їх складу. Підтвердженням цього є успішний зарубіжний досвід використання нанорозмірних наповнювачів у полімерних композитах.

Список джерел інформації / References

1. Петров В. И. Повышение эффективности работы холодильных установок с промежуточным хладоносителем / В. И. Петров, В. В. Кириллов, В. В. Феликсов // Повышение эффективности процессов и оборудования холодильной и криогенной техники : Всесоюз. науч.-техн. конф.: тезисы докл. – Л. : ЛТИХП, 1981. – С. 48.

Petrov, V.I., Kirillov, V.V., Feliksov, V.V. (1981), «Improving the efficiency of refrigeration systems with intermediate refrigerants», *All-Union Scientific-Technical Conference "Improving the efficiency of processes and equipment refrigerating and cryogenic technology": Abstracts* [«Povyishenie effektivnosti raboty holodilnykh ustanovok s promezhutochnym hladonositelem», *Vsesoyuznaya nauch.-tehnich. konf. «Povyishenie effektivnosti protsessov i oborudovaniya holodilnoy i kriogennoy tehniki»: Tezisy dokladov*], ЛТИП, Leningrad, pp. 48.

2. Гаравин В. Ю. Промежуточные водорастворимые хладоносители. Современное состояние. Перспективы [Электронный ресурс] / В. Ю. Гаравин // Холодильный бизнес. – 2007. – № 4. – Режим доступа : <http://holoddelo.ru/art_rb_04_2007>.

Garavin, V.Yu. (2007), «Intermediate water-soluble coolants. Modern state. Prospects» [«Promezhutochnyye vodorastvorimyye hladonositeli. Sovremennoe sostoyanie. Perspektivy»], *Holodilnyy biznes*] № 4, available at: http://holoddelo.ru/art_rb_04_2007

3. Галкин М. Л. Обзор опыта эксплуатации промежуточных хладоносителей. Повышение эксплуатационной безопасности и надежности систем хладоснабжения с промежуточным хладоносителем / М. Л. Галкин // Холодильные системы и пищевые технологии – эффективное взаимодействие : 4-й техн. семинар: тез. докл. – СПб., 2012. – С. 58–66.

Galkin, M.L. (2012), «Overview of operating experience intermediate refrigerants. Increase safety and reliability of cold supply with intermediate refrigerants», *Refrigeration and Food Technologies – effective interaction: Tezisy reports 4th Technical Seminar* [«Obzor opyita ekspluatatsii promezhutochnykh hladonositeley. Povyishenie ekspluatatsionnoy bezopasnosti i nadezhnosti sistem

hladosnabzheniya s promezhutochnym hladonositelem», *Holodilnyie sistemy i pischevyie tehnologii – effektivnoe vzaimodeystvie: Tez. dokl. 4-go tehničeskogo seminaru*], Sankt-Peterburg, pp. 58-66.

4. Новый хладоноситель, особенности и перспективы применения [Электронный ресурс] / В. В. Баранник, Б. Т. Маринюк, В. С. Овчаренко, В. П. Афонский // Холодильный бизнес. – 2001. – №1. – Режим доступа : <http://holod-delo.ru/art_rb_01_2001>.

Barannik, V.V., Marinyuk, B.T., Ovcharenko, V.S., Afonskiy, V.P. (2001), «The new refrigerant, features and application prospects» [«Novyyi hladonositel, osobennosti i perspektivy primeneniya» *Holodilnyiy biznes*], № 1, available at: http://holod-delo.ru/art1_rb_1_2001

Петренко Олена Володимирівна, канд. техн. наук, факультет обладнання та технічного сервісу, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: 349-45-88, (067)7342916; e-mail: elena_lion_71@mail.ru.

Петренко Елена Владимировна, канд. техн. наук, факультет оборудования и технического сервиса, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61045. Тел.: 349-45-88, (067)7342916; e-mail: elena_lion_71@mail.ru.

Petrenko Olena, PhD, faculty of equipment and technical services, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: str. Klochkovskaya, 333, Kharkiv, Ukraine, 61045. Tel.: 349-45-88, (067)7342916; e-mail: elena_lion_71@mail.ru.

Семенюк Дмитро Павлович, канд. техн. наук, доц., факультет обладнання та технічного сервісу, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: 349-45-88, (097)3659060; e-mail: dmitriy.semeniuk@gmail.com.

Семенюк Дмитрий Павлович, канд. техн. наук, доц., факультет оборудования и технического сервиса, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61045. Тел.: 349-45-88, (097)3659060; e-mail: dmitriy.semeniuk@gmail.com.

Semeniuk Dmytro, PhD, Sc. Associate Professor, faculty of equipment and technical services, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: str. Klochkovskaya, 333, Kharkiv, Ukraine, 61045. Tel.: 349-45-88, (097)3659060; e-mail: dmitriy.semeniuk@gmail.com.

Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук М.І. Погожих, канд. техн. наук І.В. Бабкіною.

Отримано 1.08.2014. ХДУХТ, Харків.