УДК 621.41

О. Г. Федоров, к.т.н.

Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

ДОСЛІДЖЕННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ НА ПРОПІЛЕНІ

Проведено теоретичне дослідження характеристик одноступеневої холодильної машини на натуральних альтернативних холодоагентах – пропані, пропілені та ізобутані, а також на R134a. Проведено зіставлення отриманих результатів. Проведено експериментальне дослідження роботи холодильної машини на цих холодоагентах. На основі проведених теоретичного і експериментального досліджень представлена порівняльна графоаналітична залежність основних показників холодильної машини – роботи компресора, адіабатної потужності компресора, споживаної електродвиговою потужності та холодильного коефіцієнта – від температури конденсації холодильного агента при різних температурах кипіння.

Ключові слова: холодильна машина, натуральний альтернативний холодоагент, пропілен.

А. Г. Федоров, к.т.н.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ НА ПРОПИЛЕНЕ

Целью исследования статьи является теоретическое и экспериментальное исследование характеристик одноступенчатой холодильной машины, в которой в качестве рабочего вещества выступает пропилен, и сопоставление полученных результатов со случаем применения других рабочих веществ – R134a, пропана и изобутана.

Программа экспериментальной части предусматривала проведение исследований одноступенчатой холодильной машины на базе домашнего бытового холодильника с пропиленом в качестве рабочего вещества и дальнейшего сопоставления теоретических и экспериментальных данных, а также сопоставления результатов со случаем применения других рабочих веществ – изобутана, пропана и R134a.

Экспериментальные испытания включали серию исследований по определению режимных параметров в малых холодильных системах.

Для испытаний использовался экспериментальный стенд. Одним из существенных преимуществ данного стенда является его малая инерционность. Время установления режима не превышало 30 мин. Для создания рабочего режима используются компрессор и ТЭНы.

Ключевые слова: холодильная машина, натуральные альтернативные хладагенты, пропилен.

A. G. Fedorov, PhD

INVESTIGATION OF A REFRIGERATING MACHINE, WORKING ON PROPYLENE

The first working substance used in refrigeration machines is air. After that, substances, such as ammonia, carbon dioxide, ethylene, propane and many others, began to be used as a working substance. In the middle of the twentieth century. By replacing hydrogen atoms with fluorine, bromine and chlorine at the boundary hydrocarbon molecules, among which methane, butane, propane and ethane can be mentioned, scientists and engineers managed to create dozens of synthetic refrigerants, which at a sufficient time practically displaced natural substances and became the most used refrigeration working substances. But the increasing influence of these substances as a result of their application in refrigeration technology has led to the destruction of the Earth's ozone layer and global warming.

The following criteria, such as safety, costs and environmental protection, play an important role in deciding which refrigerant to be used in this or that refrigeration unit or air conditioner. Due to the constant rise in energy prices, electricity consumption also plays an increasingly important role. Ideally, the refrigerant used should have excellent thermodynamic characteristics, high chemical stability and good physical properties. In addition, it should not affect the environment, or its impact on it should be minimal. Also, the refrigerant should be available everywhere at a low price. But, unfortunately, there is no refrigerant that meets all these requirements. Therefore, in practice, the solution in favor of the most appropriate refrigerant

depends on a variety of factors. In this case, the scope and requirements established by the operating company play the same important role as the place of installation of equipment and its environmental impact. But the decisive moment of impact on energy consumption is nevertheless a structural solution for the entire refrigeration plant, taking into account the conditions of partial loads, since its efficiency depends to a greater extent on the general concept of equipment than on the choice of a refrigerant. However, a number of relevant projects show that refrigeration equipment works efficiently and without causing environmental damage in the event that it uses natural refrigerants.

The purpose of the study is to compare and compare the characteristics of a single stage refrigeration machine, in which the refrigerant R134a and alternative natural refrigerants act as a working substance, which is a significant alternative to the existing refrigerants of HCFC and HFC groups - propane, propylene and isobutane.

Keywords: *refrigerating machine, natural alternative refrigerant, propylene.*

DOI 10.32684/2412-5288-2019-1-14-19-26

Вступ

Першою робочою речовиною, яка застосовувалася в холодильних машинах, можна вважати повітря. Після чого почали застосовуватися в якості робочої речовини такі речовини, як аміак, вуглекислота, етилен, пропан та багато інших [1, 2]. В середині ХХ ст. за допомогою заміщення атомів водню атомами фтору, бромю та хлору в молекулах граничних вуглеводнів, серед яких можна відзначити метан, бутан, пропан та етан, вченими та інженерами вдалося створити десятки синтетичних холодоагентів, які на достатній час практично витіснили природні речовини і стали найбільш застосовуваними холодильними робочими речовинами [3-6]. Але застосування цих речовин в холодильній техніці є одним з факторів, що призводить до руйнування озонового шару Землі та глобального потепління [7-11].

Прийняті Монреальський та Кіотський протоколи сприяли відмові від використання традиційних холодоагентів та активізації робіт з пошуку альтернативних робочих речовин. Після прийняття даних протоколів більш посилено почали проводитися різноманітні теоретичні та експериментальні дослідження роботи холодильних машин з природними холодоагентами в якості робочих речовин, зокрема з пропаном та ізобутаном [12, 13]. Останній і зовсім почав набувати досить широкого застосування в малих побутових холодильних машинах. При цьому дослідження пропілену як робочої речовини для холодильних машин переважно проходило з метою отримання методик розрахунків теплообмінних апаратів з використанням цього холодоагенту [14]. Повноцінного суттєвого дослідження роботи малої побутової холодильної машини з пропіленом до сьогодні фактично не відбулося.

Для прийняття рішення, який холодоагент використати в тій або іншій холодильній установці або кондиціонері, важливу роль грають такі критерії як безпека, витрати і охорона довкілля. У зв'язку з постійним зростанням цін на енерго-

носії, усе більшу роль відіграє також споживання устаткуванням електроенергії [15, 16, 17]. В ідеалі використовуваний холодоагент повинен мати чудові термодинамічні характеристики, високу хімічну стабільність і хороші фізичні властивості. Крім того, він не повинен впливати на довкілля, або цей вплив має бути мінімальним. Також холодоагент має бути доступний всюди за низькою ціною. Але, на жаль, холодоагенту, що відповідає усім цим вимогам, немає. Тому на практиці рішення на користь найбільш відповідного холодоагенту залежить від різноманітних чинників. При цьому сфера застосування і вимоги, що встановлені експлуатаційним підприємством, відіграють таку ж важливу роль, як і місце встановлення устаткування і питання його впливу на довкілля. Але вирішальним моментом впливу на енергоспоживання все-таки є конструкційне рішення усієї холодильної установки, враховуючи умови часткових навантажень, оскільки її ефективність залежить у більшій мірі від загальної концепції устаткування, ніж від вибору холодоагенту. Проте ряд актуальних проектів показує, що холодильне устаткування працює ефективно і без нанесення збитку довкіл्लю у тому випадку, якщо в ньому застосовуються природні холодоагенти [18].

Метою дослідження є отримання теоретичних та експериментальних залежностей в результаті дослідження роботи одноступеневої холодильної машини, в якій в якості робочої речовини виступає пропілен, та зіставлення отриманих результатів з іншими робочими речовинами – R134a, пропаном та ізобутаном.

Порівняльний теоретично-експериментальний аналіз характеристик холодильної машини на різних робочих речовинах

Схема та цикл холодильної машини зображені на рис. 1 і 2 відповідно.

Програма експериментальної частини передбачала проведення досліджень одноступене-

вої холодильної машини і подальшого зіставлення теоретичних даних та експериментальних.

Рисунок 1 – Схема одноступеневої холодильної машини з РТО:

КМ – компресор; КД – конденсатор; РВ – регулювальний вентиль; В – випарник

Рисунок 2 – Цикл одноступеневої холодильної машини з РТО в діаграмі lg P – h

Експериментальні випробування включали серію досліджень по визначенню режимних параметрів в малих холодильних системах.

Для випробувань використовувався експериментальний стенд на базі домашнього побутового холодильника. Однією з суттєвих переваг даного стенду є його мала інерційність. Час встановлення режиму не перевищував 30 хв. Для створення робочого режиму використовувалися компресор та ТЕНи.

Більшість параметрів вимірювалися стандартними приладами: температура в холодильній камері – за допомогою датчика температури з чутливим елементом (похибка вимірювання складала 0,5 °C), температури конденсації і кипіння – за допомогою манометрів і програми KMKreis, тиск кипіння – манометром Class 1.6 ITE 825–S–BPC (похибка вимірювання складала

0,05 бар), тиск конденсації – манометром Class 1.6 ITE 823–S–BPC (похибка вимірювання складала 0,1 бар). Вимірювальна апаратура складається з двох амперметрів з ГОСТ 8711 - 60: один вимірює робочий струм, створюваний ТЕНами, інший – робочі струми в компресорі (похибка вимірювання 0,025 А), а також з одного вольтметра з ГОСТ 8711 - 60 – для вимірювання напруги у мережі, що надходить до електродвигуна компресора (похибка вимірювання 0,025 В).

Термопары / датчики температури були пов'язані з реєстратором даних НР через ПК через кабель GPIB для зберігання даних за аналогією з роботою [13]. Вимірювання температури необхідно, щоб дізнатися ентальпію на вході і виході з кожного апарату системи для дослідження продуктивності та визначення ключових параметрів та характеристик даної системи. Вимірювання тиску холодоагенту, що також необхідні для визначення відповідних ентальпій у вузлових точках, проводилося на відміну від роботи [13] за допомогою манометрів, які встановлювалися на сторонах всмоктування та нагнітання. Температура навколишнього середовища у приміщенні, де розташований експериментальний стенд, під час проведення випробувань контролювалася за допомогою закріпленого на стіні термометра. Протягом експериментальних досліджень її значення дорівнювало $t_{н.сер.} = 25 \pm 1$ °C. Були відмінності у порівнянні з роботою [13] і в регулюванні температури конденсації: для визначення показників холодильної машини для діапазону $t_k = 25...45$ °C регулювання виконувалося за допомогою ступеневого способу, а також за допомогою переміщення спеціальної металевої заслонки, встановленої поряд з повітряним конденсатором, в результаті чого відбувалося відповідне зменшення або збільшення площі теплопередавальної поверхні. Принцип регулювання ступеневим способом полягає у включенні і відключенні вентиляторів. Для цього встановлюються регулятори тиску RT5, які налаштовані на різні показання тиску включення і відключення.

Система була вакуумована за допомогою вакуум-насоса для видалення вологи. Манометри і термопары системи були взаємопов'язані реєстратором даних – електронним контролером ONTEC: для вимірювань температур, тисків з виведенням на екран монітора обчислювального пристрою. На комп'ютері було встановлено спеціальне програмне забезпечення для зчитування даних з контролера і їх систематизії у вигляді таблиць за допомогою Microsoft Excel 2007. Електронний контролер був налаштований на сканування даних з термопар і манометрів з інтервалом кожні 5 хвилин. Вольтметр і амперметри

були пов'язані з досліджуванним об'єктом і сполучені з програмним забезпеченням на комп'ютері для відповідного вимірювання потужності і сукупного енергоспоживання на часовому інтервалі в 1 хвилину. Дана інформація протягом усього експерименту акумулювалася на жорсткому диску комп'ютера для подальшої обробки - побудови відповідних графічних залежностей в програмі Microsoft Excel 2007 і подальшого аналізу отриманих даних.

Вхідні дані:

- температури кипіння $t_0 = -20 \dots 0 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- температури конденсації $t_K = 25 \dots 45 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- перегрівання пари холодоагенту у випарнику $\Delta t_B = 1,5 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- перегрівання пари холодоагенту у РТО $\Delta t_{\text{РТО}} = 7 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- перегрівання пари холодоагенту у всмоктувальному трубопроводі перед компресором $\Delta t_{\text{ВСМ.ТР.}} = 1,5 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- переохолодження рідкого холодоагенту у конденсаторі $\Delta t_{\text{ПЕР.К}} = 3 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- цикл холодильної машини – одноступеневе стискування;
- робочі речовини – ізобутан, пропан, пропілен та R134a.

Для аналізу за основу була прийнята загальноприйнята методика для розрахунку холодильних машин [19] із введенням в неї деяких уточнювальних математичних співвідношень для визначення потужності, що споживається електродвигуном, та холодильного коефіцієнта:

- теоретична потужність, що споживається електродвигуном (теоретичні дані на рис. 5 і 6)

$$N_{\text{ед теор}} = \frac{N_e}{0,85}; \quad (1)$$

- дійсна потужність, що споживається електродвигуном (експериментальні дані на рис. 5 і 6)

$$N_{\text{ед дсн}} = U \cdot I; \quad (2)$$

- теоретичний холодильний коефіцієнт: (теоретичні дані на рис. 3 і 4)

$$COP_T = \frac{q_0}{l_{\text{а теор}}}; \quad (3)$$

- теоретичний холодильний коефіцієнт з урахуванням дійсної питомої адіабатної роботи на стискування в компресорі (експериментальні дані на рис. 3 і 4)

$$COP_T = \frac{q_0}{l_{\text{дсн}}}; \quad (4)$$

- дійсний холодильний коефіцієнт (теоретичні дані на рис. 7 і 8)

$$COP_D = \frac{Q_0}{N_{\text{ед теор}}}; \quad (5)$$

- дійсний холодильний коефіцієнт (експериментальні дані на рис. 7 і 8)

$$COP_D = \frac{Q_0}{N_{\text{ед дсн}}}. \quad (6)$$

Деякі з результатів розрахунків представлені на рис. 3 – 11.

Експериментальні дані для дійсної питомої роботи стискування $l_{\text{дсн}}$ отримані на основі вимірювання реальних температур входу t_1 і виходу холодильного агента t_2 в компресорі і подальшому розрахунку за допомогою цих даних і діаграми $\lg P-h$ питомої роботи через відповідні ентальпії. Експериментальні дані по COP_T отримані з урахуванням дійсної питомої роботи стискування $l_{\text{дсн}}$. Експериментальні дані дійсної потужності електродвигуна компресора $N_{\text{ед дсн}}$ отримані за допомогою вимірювання робочого струму в компресорі I і напруги у мережі U . Експериментальні дані COP_D отримані за допомогою відношення холодопродуктивності (навантаження від ТЕНів, яке складало 250 Вт) та дійсної потужності електродвигуна компресора $N_{\text{ед дсн}}$.

Позначення холодоагентів на рисунках:

- – пропан (теоретичний розрахунок);
- ◆—◆—◆—◆—◆ – пропілен (теоретичний розрахунок);
- ▲—▲—▲—▲—▲ – ізобутан (теоретичний розрахунок);
- – R134a (теоретичний розрахунок);
- ■ ■ ■ ■ – пропан (експериментальні дані);
- ◆ ◆ ◆ ◆ ◆ – пропілен (експериментальні дані);
- ▲ ▲ ▲ ▲ ▲ – ізобутан (експериментальні дані);
- ● ● ● ● – R134a (експериментальні дані).

Дані, отримані в результаті порівняльного теоретичного аналізу, відрізняються від даних, отриманих в результаті проведення експериментальних досліджень, на 4 – 8 %. Це значення похибки можна вважати задовільним.

Рисунок 3 – Залежність теоретичного холодильного коефіцієнту COP_T від температури конденсації t_K при температурі кипіння $t_0 = -20^\circ\text{C}$

Рисунок 6 – Залежність потужності електродвигуна $N_{ед}$ від температури конденсації t_K при температурі кипіння $t_0 = 0^\circ\text{C}$

Рисунок 4 – Залежність теоретичного холодильного коефіцієнту COP_T від температури конденсації t_K при температурі кипіння $t_0 = 0^\circ\text{C}$

Рисунок 7 – Залежність дійсного холодильного коефіцієнту COP_D від температури конденсації t_K при температурі кипіння $t_0 = -20^\circ\text{C}$

Рисунок 5 – Залежність потужності електродвигуна $N_{ед}$ від температури конденсації t_K при температурі кипіння $t_0 = -20^\circ\text{C}$

Рисунок 8 – Залежність дійсного холодильного коефіцієнту COP_D від температури конденсації t_K при температурі кипіння $t_0 = 0^\circ\text{C}$

Як видно з рис. 3 і 4, значення COP_T для холодильних машин на усіх досліджуваних холодоагентах практично однакове, відрізняючись лише на 2 – 4 %. Можна відмітити, що при зростанні t_0 і наближенні значення цієї величини до 0 °C холодильна машина на ізобутані демонструє все більш суттєву перевагу над холодильними машинами на інших досліджуваних робочих речовинах. В роботі [12] авторами аналізувалася можливість переходу холодильних систем з холодоагенту R22 на пропан. Теоретичний термодинамічний аналіз за допомогою програми REFPROP 9.0 проводився для діапазону робочих температур кипіння $t_0 = -25 \dots 10$ °C та конденсації $t_K = 45$ °C. В результаті термодинамічного аналізу було виявлено, що COP_T холодильної машини у разі використання пропану в якості робочої речовини зростає від 2,9 до 4,7 при підвищенні температури кипіння від $t_0 = -20$ °C до $t_0 = 0$ °C. Практично ідентичні значення можна спостерігати на рис. 3 та 4. Різниця в значеннях, отриманих в результаті теоретичного зіставлення в роботах, при цьому складає до 5 %, що можна пояснити незначною розбіжністю у прийнятих в методиці обчислень припущеннях.

Як видно з рис. 5 – 8, використання ізобутану в якості робочої речовини в холодильній машині на досліджуваних режимах у порівнянні з іншими холодоагентами на 9 – 23 % збільшує споживану електродвигоном компресора потужність $N_{ед}$, що призводить до зниження значення COP_D на таку ж величину на усіх досліджуваних температурних режимах. Використання ж у холодильній машині в якості робочої речовини пропілену та пропану дозволяє зменшити потужність, споживану електродвигоном компресора, у порівнянні з використанням R134a на 2 – 11 %. Причому ця різниця стає все більш суттєвішою при зменшенні t_K . Це відбивається й при більш високому значенні COP_D : якщо при температурах конденсації $t_K > 35$ °C значення величини COP_D практично однакове для холодильної машини на пропані, пропілені та ізобутані, то при $t_K \leq 35$ °C і зменшенні її до 25 °C різниця COP_D холодильної машини на пропілені та пропані та COP_D холодильної машини на R134a зростає з 2 – 4 % до 8 – 10 %. В роботі [13] авторами проводилися експериментальні дослідження з ізобутаном в якості робочої речовини для побутового холодильника і порівняльний аналіз отриманих даних з показниками, отриманими у разі використання холодоагенту R-134a. Дослідження проводилися для температур навколишнього середовища $t_{н.сеп.} = 25$ та $t_{н.сеп.} = 28$ °C при температурах кипіння $t_0 = -40 \dots -24$ °C і температурах конденсації $t_K = 50 \dots 62$ °C. При цьому номіна-

льна потужність компресора складала 160 Вт. В результаті експериментальних досліджень було виявлено, що при $t_K = 50$ °C COP_D у разі використання R-134a дорівнював 2,5, у разі використання ізобутану – 2,2, що узгоджується з даними на рис. 8. З подальшим збільшенням температури конденсації при $t_{н.сеп.} = 25$ °C до $t_K = 62$ °C COP_D зменшувався до значень 1,95 та 1,6, відповідно. Розбіжність результатів у порівнюваних роботах, яка становить до 3 – 8 % в залежності від температури навколишнього середовища, можна пояснити похибкою вимірювання та оброблення даних у роботах з урахуванням деяких незначних відрізних характеристик експериментальних об'єктів.

Порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних результатів дослідження роботи одноступеневої холодильної машини на R134a, пропані, пропілені та ізобутані демонструє перспективність подальшого дослідження холодильних машин на пропілені в якості альтернативного холодоагенту, що може забезпечити високі значення холодоагентного коефіцієнту та низькі значення споживаної компресором потужності.

Висновки

На основі теоретичного та експериментального аналізу роботи холодильної машини на досліджених холодоагентах можна зробити наступні головні висновки:

- вперше було проведено систематичне теоретично-експериментальне дослідження холодильної машини малої холодопродуктивності на базі домашнього побутового холодильника з пропіленом в якості робочої речовини;
- вперше отримано теоретично-експериментальні залежності основних параметрів холодильної машини для діапазону температур кипіння $t_0 = -20 \dots 0$ °C і температур конденсації $t_K = 25 \dots 45$ °C холодильної машини на базі домашнього побутового холодильника з пропіленом в якості робочої речовини з наступним порівняльним аналізом роботи даної холодильної машини на R-134a, пропані та ізобутані;
- альтернативні природні холодоагенти можуть скласти вагому конкуренцію однокомпонентним фреонам та фреон-азеотропним сумішам не тільки завдяки обмеженню застосування останніх через Монреальський і Кіотський протоколи, але й завдяки своїм термодинамічним властивостям і основним показникам роботи холодильної машини (висока питома холодопродуктивність, високий холодоагентний коефіцієнт, мала доза заправлення, низька температура кінця стискування, низька собівартість у порівнянні з дорожчими фреонами);

- застосування пропілену в якості робочої речовини при низькій температурі кипіння ($t_0 = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$) дозволяє зменшити потужність, що споживається електродвигуном компресора, на 2 – 4 % у порівнянні з потужністю компресора на пропані та на 6 – 11 % у порівнянні з потужністю компресора на R-134a. З підвищенням температури кипіння застосування пропілену не дає суттєвих переваг перед іншими холодоагентами: при $t_0 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ потужність, споживана електродвигуном компресора, у разі використання пропілену та пропану однакова і лише на 1 – 4 % менша, ніж у разі використання R-134a;

- використання пропілену в якості робочої речовини при низькій температурі кипіння ($t_0 = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$) дозволяє підвищити COP_d на 2 – 5 % у порівнянні з COP холодильної машини на пропані та на 2 – 10 % у порівнянні з COP_d холодильної машини на R-134a. Чим нижче t_K , тим доцільніше застосування пропілену. З підвищенням температури кипіння використання пропілену дає суттєві переваги лише при температурах $t_K < 35\text{ }^{\circ}\text{C}$: у цьому випадку COP_d холодильної машини на пропілені вище на 1 – 2 % у порівнянні з COP_d холодильної машини на пропані та на 3 – 10 % у порівнянні з COP_d холодильної машини на R-134a;

- пропілен представляється перспективним холодильним агентом і потребує подальших досліджень в якості альтернативного холодильного агента, особливо при температурах кипіння

$$t_0 < -10\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Список використаних джерел

1. Бабакин Б. С. Хладагенты, масла, сервис холодильных систем / Б. С. Бабакин. – Рязань: Узорочье, 2003. – 470 с.
2. Цветков О. Б. Холодильные агенты / О. Б. Цветков. – СПб: СПбГУНиПТ. – 2003. – 216 с.
3. Цветков О. Б. Свойства холодильных масел и маслорефрижераторных растворов / О. Б. Цветков, О. Н. Цветков, Ю. А. Лаптев. – СПб.: СПбГУНиПТ. – 2010. – 188 с.
4. Цветков О. Б. Хладагенты и экологическая безопасность / О. Б. Цветков. – Холодильная техника. – 1997. – № 1. – С. 20–22.
5. Цветков О. Б. Холодильные агенты: XX век и великая холодильная революция / О. Б. Цветков. – Холодильная техника. – 2000. – № 1. – С. 7–9.
6. Цветков О. Б. Холодильные агенты без границ / О. Б. Цветков, Ю. А. Лаптев. – Вестник Международной академии холода. – 2010. – № 1. – С. 24–27.

7. Бабакин Б. С. Экология и холодильная техника / Б. С. Бабакин, К. В. Показеев, В. А. Выгодин, Т. О. Чаплина. – М.: ДеЛи принт. – 2009. – 532 с.

8. Ларин И. К. Фреоны и озоновый слой Земли / И. К. Ларин. – Холодильная техника. – 2002. – № 1. – С. 34–37.

9. Цветков О. Б. Киотский протокол за чертой 2012 года / О. Б. Цветков, Ю. А. Лаптев. – Империя холода. – 2012. – Март. – С. 56.

10. Цветков О. Б. Хладагенты и окружающая среда / О. Б. Цветков. – Холодильная техника. – 2013. – № 1. – С. 4–7.

11. Цветков О. Б. Холодильные агенты на посткиотском экологическом пространстве / О. Б. Цветков. – Холодильная техника. – 2012. – № 1. – С. 70–72.

12. Choudharia C.S. Performance Investigation of Natural Refrigerant R290 as a Substitute to R22 in Refrigeration Systems / C.S. Choudharia S.N. Sapali. – Energy Procedia. – 2017. – № 109. – P. 346–352.

13. Sattar M. A. Butane, isobutane and their mixtures as an alternatives to R-134a in domestic refrigerator / M. A. Sattar, R. Saidur, H. H Masjuki. – International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMME). – 2007. – Vol. 2, No. 2. – P. 154–160.

14. Del Col D. Experimental results and design procedures for minichannel condensers and evaporators using propylene / D. Del Col, M. Azzolin, S. Bortolin, A. Berto. – International Journal of Refrigeration. – November, 2017. – Vol. 83. – P. 23–38.

15. Бараненко А. В. О выборе хладоносителя для систем косвенного охлаждения / А. В. Бараненко, В. В. Кириллов, А. Е. Сивачев. – Вестник Международной академии холода. – 2010. – № 1. – С. 22–24.

16. Цветков О. Б. Энергосбережение в холодильной технике и проблемы экологии – развитие и перспективы / О. Б. Цветков, Ю. А. Лаптев. – Вестник Международной академии холода. – 2011. – № 2. – С. 3–9.

17. Coulomb D. World tendencies and priorities in development of low-temperature engineering / D. Coulomb. – Вестник Международной академии холода. – 2012. – № 4. – С. 3–7.

18. Подмазко І. О. Дослідження характеристик холодильної машини, що працює на натуральних альтернативних холодоагентах / І. О. Подмазко, О. С. Подмазко. – Одеса: Холодильна техніка та технологія. – Т (54), Вип. 3. – 2018. – С. 4–9.

19. Кошкин Н. Н. Холодильные машины: учебн. для вузов по специальности «Холодильные машины и установки» / Н. Н. Кошкин,

Е. А. Сакун, Е. М. Бамбушек и др. – Л.: Машиностроение, Ленингр отд-ние. – 1985. – 510 с.

References

1 Babakin B. S. Xladagenty, masla, servis xolodil'nyx sistem / B. S. Babakin. – Ryazan': Uzoroch'e, 2003. – 470 s. (in Russian)

2. Cvetkov O. B. Xolodil'nye agenty / O. B. Cvetkov. – SPb: SPbGUNiPT. – 2003. – 216 s. (in Russian)

3. Cvetkov O. B. Svojstva xolodil'nyx masel i maslofreonovykh rastvorov / O. B. Cvetkov, O. N. Cvetkov, Yu. A. Laptev. – SPb.: SPbGU-NiPT. – 2010. – 188 s. (in Russian)

4. Cvetkov O. B. Xladagenty i e'kologicheskaya bezopasnost' / O. B. Cvetkov. – Xolodil'naya tekhnika. – 1997. – № 1. – S. 20–22. (in Russian)

5. Cvetkov O. B. Xolodil'nye agenty: XX vek i velikaya xolodil'naya revolyuciya / O. B. Cvetkov. – Xolodil'naya tekhnika. – 2000. – № 1. – S. 7–9. (in Russian)

6. Cvetkov O. B. Xolodil'nye agenty bez granic / O. B. Cvetkov, Yu. A. Laptev. – Vestnik Mezhdunarodnoj akademii xoloda. – 2010. – № 1. – S. 24–27. (in Russian)

7 Larin I. K. Freony i ozonovyy sloj Zemli / I. K. Larin. – Xolodil'naya tekhnika. – 2002. – № 1. – S. 34–37. (in Russian)

8 Larin I. K. Freony i ozonovyy sloj Zemli / I. K. Larin. – Xolodil'naya tekhnika. – 2002. – № 1. – S. 34–37. (in Russian)

9. Cvetkov O. B. Kiotskij protokol za chertoj 2012 goda / O. B. Cvetkov, Yu. A. Laptev. – Imperiya xoloda. – 2012. – Mart. – C. 56. (in Russian)

10. Cvetkov O. B. Xladagenty i okruzhayushaya sreda / O. B. Cvetkov. – Xolodil'naya tekhnika. – 2013. – № 1. – S. 4–7. (in Russian)

11. Cvetkov O. B. Xolodil'nye agenty na postkiotskom e'kologicheskom prostranstve / O. B. Cvetkov. – Xolodil'naya tekhnika. – 2012. – № 1. – S. 70–72. (in Russian)

12. Choudharia C.S. Performance Investigation of Natural Refrigerant R290 as a Substitute to R22

in Refrigeration Systems / C.S. Choudharia S.N. Sapali. – Energy Procedia. – 2017. – № 109. – P. 346 – 352.

13. Sattar M.A. Butane, isobutane and their mixtures as an alternatives to R-134a in domestic refrigerator / M.A.Sattar, R Saidur, H.H Masjuki. – International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMME). – 2007. – Vol. 2, No. 2. – P. 154 – 160.

14. Del Col D. Experimental results and design procedures for minichannel condensers and evaporators using propylene / D. Del Col, M. Azzolin, S. Bortolin, A. Berto. – International Journal of Refrigeration. – November 2017. – Vol. 83. – P. 23 – 38.

15. Baranenko A. V. O vybore xladonositelya dlya sistem kosvennogo oxlazhdeniya / A. V. Baranenko, V. V. Kirillov, A. E. Sivachev. – Vestnik Mezhdunarodnoj akademii xoloda. – 2010. – № 1. – S. 22–24. (in Russian)

16. Cvetkov O. B. E'nergoberezhenie v xolodil'noj tekhnike i problemy e'kologii – razvitie i perspektivy / O. B. Cvetkov, Yu. A. Laptev. – Vestnik Mezhdunarodnoj akademii xoloda. – 2011. – № 2. – S. 3–9 (in Russian)

17. Coulomb D. World tendencies and priorities in development of low-temperature engineering / D. Coulomb. – Вестник Международной академии холода. – 2012. – № 4. – P. 3 – 7.

18. Podmazko I. O. Doslidzhennya xarakteristik xolodil'noi mashini, shho pracyue na natura-l'nix al'ternativnix xolodoagentax / I. O. Podmazko, O. S. Podmazko. – Odesa: Xolodil'na tekhnika ta tehnologiya. – T (54), Vip. 3. – 2018. – S. 4–9. (in Ukrainian)

19. Koshkin N. N. Xolodil'nye mashyny: uchebn. dlya vuzov po special'nosti «Xolodil'nye mashyny i ustanovki»/ N. N. Koshkin, E. A. Sakun, E. M. Bambushek i dr. – L.: Mashinostroenie, Leningr otd-nie. – 1985. – 510 s. (in Russian)

Надійшла до редакції 05.05.2019