

**Міністерство освіти і науки України  
Одеський національний технологічний університет  
Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій  
та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського ОНТУ**



**ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ  
«СТАН, ДОСЯГНЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ХОЛОДИЛЬНОЇ  
ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЇ»**

*Присвячена 100-річчю інституту холоду, кріотехнологій  
та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського*

*19-20 квітня 2022 року*

*Збірник тез доповідей*



**Одеса – 2022 р**

УДК 621.565; 621.

**Збірник тез доповідей** підготовлений під редакцією  
доктора технічних наук, професора Хмельнюка М.Г  
Науковий секретар - к.т.н.доц. Жихарєва Н.В.

*За достовірність інформації відповідає автор публікації*

**Збірник тез доповідей** за матеріалами Всеукраїнської науково-технічної онлайн-конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «**Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології**», Одеса, 2022 р. (19-20 квітня) – 113 с.

До збірника включені матеріали сучасних наукових досліджень здобувачів вищої освіти та молодих вчених університетів і академій України.

Розглянуто наступні напрямки досліджень: холодильні установки; кондиціонування повітря, холодильні машини, теплообмінні апарати і процеси тепло масообміну; робочі речовини холодильних машин; компресори та пневмоагрегати; енергетичні та екологічні проблеми холодильної техніки; холодильна технологія; криогенна техніка; інформаційні технології в холодильній техніці.

Матеріали подано українською та англійською мовами.

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти  
«Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

### **НАУКОВИЙ КОМІТЕТ**

**Голова - Єгоров Б.В.** - ректор Одеської національної академії харчових технологій, Заслужений діяч науки і техніки України, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, д-р техн. наук, професор

**Заступники голови:**

**Поварова Н.М.** – к.т.н., доцент, проректор з наукової роботи Одеської національної академії харчових технологій;

**Косой Б.В.** – д.т.н., професор, директор навчально-наукового Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики Одеської національної академії харчових технологій;

**Члени наукового комітету:**

**Хмельнюк М.Г.** - зав. кафедрою холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАХТ, д.т.н., професор;

**Мілованов В.І.** - заслужений діяч науки і техніки України, д.т.н., професор;

**Коновалов Д.Т.** - завідувач кафедри Теплотехніки філії НУК ім. адм.Макарова, Херсонська філія, д.т.н., професор;

**Тітлов О.С.**- завідувач кафедри нафтогазових технологій, інженерії та теплоенергетики ОНАХТ, д.т.н., професор

**Морозюк Л.І.** - д.т.н., професор кафедри кріогенної техніки ОНАХТ ;

**Потапов В. О.** - Харківський державний університет харчування і торгівлі, д.т.н., професор;

**Радченко М.І.** - зав. кафедрою кондиціонування і рефрижерації НУК, академік Міжнародної академії холоду, д.т.н., професор;

**Симоненко Ю.М.** - зав. кафедрою кріогенної техніки ОНАХТ, д.т.н, професор;

**Жихарєва Н.В.**- к.т.н., доцент кафедри холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАХТ.

### **Організаційний комітет:**

**Голова** – д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г.;

**Науковий секретар** - к.т.н. доц. Жихарєва Н.В.

**Члени оргкомітету** - к.т.н. доц. Зімін О.В., к.т.н., доц. Когут В.О., к.т.н. доц. Яковлева О.Ю., к.т.н., доц. Трандафілов В.В., к.т.н. Грудка Б.Г., стаж-викл. Басов А.М., асп. Сазанський А.Р., асп. Крушельницький Д.О.

## **СЕКЦІЯ №1 –ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ**

УДК 697.94.(075)

### **ВИБІР ЕНЕРГООЩАДНИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДІЮЧИХ ТЕПЛОВИХ ПОМП SPLIT-КОНДИЦІОНЕРІВ**

*Лабай В.Й., д.т.н., проф., Тростенюк О.В., магістр  
НУЛП, м. Львів, wlabay@i.ua*

Зростаючий дефіцит та ріст цін на паливно-енергетичні ресурси, особливо нафту і газ, роблять проблему використання альтернативних джерел енергії та енергозбереження актуальною не тільки для економіки України, але зокрема для економік світу, що у перспективі дасть можливість вирішити зменшення енергоспоживання.

Одним зі шляхів зменшення енергоспоживання є використання теплових pomp (ТП) (насосів) split-кондиціонерів («повітря-повітря») в системах теплопостачання будівель, які за використання 1 кВт електроенергії з мережі транспортують до 5 кВт теплової енергії від повітря зовнішнього середовища до внутрішнього повітря приміщень будівлі. Використання ТП split-кондиціонерів забезпечує не тільки енергоощадний, але й екологічний ефект.

У розвинених країнах здійснюється теплопостачання (комунальне і виробниче) тепловими pompami до 75% за даними Світового енергетичного комітету. Понад 30% житлових будинків у США обладнані ТП.

Діючі теплові pompи split-кондиціонерів потребують для зменшення енергозатрат встановлення енергоощадних умов їх експлуатації, яке можливе з використанням сучасного методу термодинаміки – ексергетичного [3-5]. Ексергетичний аналіз дозволяє встановити максимальні термодинамічні можливості системи, а значить енергоощадні умови їх експлуатації.

Ексергетичний аналіз запровадили як обов'язкову складову розроблюваних проєктів, а також планів модернізації виробництв у США і деяких провідних європейських країнах.

Як правило, фірми-виробники теплових pomp split-кондиціонерів передбачають їх експлуатацію на різних витратах повітря у конденсаторі. Але, на жаль, ні одна фірма-виробник не дає рекомендацій, яку витрату повітря застосовувати залежно від внутрішніх температурних умов у приміщенні.

Використання ексергетичного методу аналізу обґрунтоване у роботах Шаргута, Р. Петели, В. М. Бродяньського та інших вчених для оптимізації різних технічних систем, зокрема холодильних машин, для техніко-економічної оптимізації їх експлуатації, а у роботах І. Дінчера, М. А. Розена ще й додатково для теплових pomp та наших роботах [1-5]. Нами пристосований цей метод до аналізу теплових pomp split-кондиціонерів («повітря-повітря») [4, 5] та використаний у цій статті.

Тому для підвищення ефективності експлуатації теплових pomp split-кондиціонерів потрібний детальний ексергетичний аналіз їхнього функціонування залежно від температури внутрішнього повітря та витрати повітря на конденсаторі теплової помпи.

Авторами на основі праці [3] розроблено інноваційну математичну модель ексергетичного аналізу експлуатації теплових pomp split-кондиціонерів пристосовану для

різних холодоагентів та виробників, що дає можливість встановити енергоощадний режим її роботи.

Отже, проаналізувавши наявні літературні дані, приходимо до висновку, що зменшення витрат енергії, споживаної тепловими помпами split-кондиціонерів, може бути найповніше досягнуто на основі ексергетичного аналізу, який враховує не тільки кількість, але й якість затраченої енергії [1-5].

Для проведення досліджень використана схема одноступеневої хладонової теплової помпи split-кондиціонера (без ефективного охолодження компресора), яка наведена на рис. 1, і відповідно побудова процесів її роботи на  $p,i$ -діаграмі – на рис. 2, та холодильний агент хладон-32 (R32).

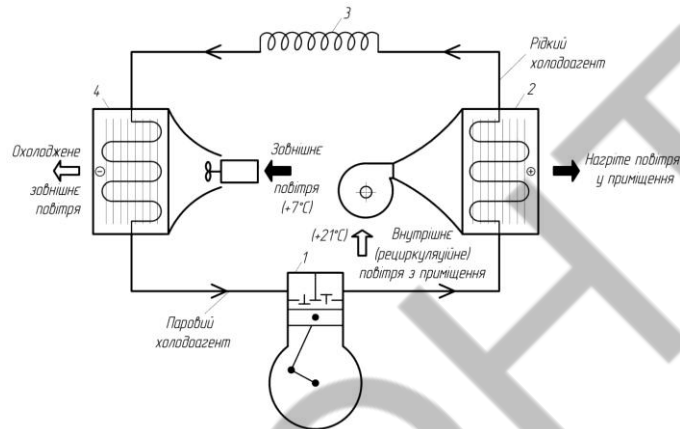


Рис. 1. Схема теплової помпи split-кондиціонера: 1 – компресор; 2 – конденсатор; 3 – капілярна трубка; 4 – випарник

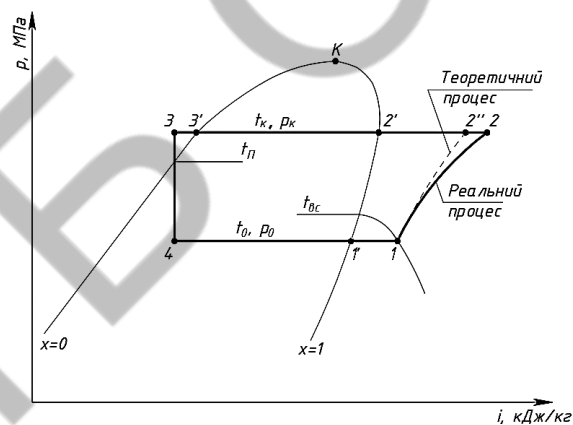


Рис. 2. Побудова процесів роботи на  $p,i$ -діаграмі для теплової помпи split-кондиціонера: 1, 2, 3, 4 – характерні точки термодинамічного циклу

Для досягнення поставленої мети було сформульовано такі основні завдання:

- визначити ексергетичний ККД для теплової помпи split-кондиціонера, наприклад, фірми “Mitsubishi Electric” зі стандартною теплопродуктивністю 3200 Вт на холодильному агентові R32 за різних робочих внутрішніх температурних умов у приміщенні та витрати повітря на конденсаторі теплової помпи;
- встановити енергоощадні режими експлуатації на прикладі теплової помпи split-кондиціонера “Mitsubishi Electric” з номінальною теплопродуктивністю 3200 Вт за стандартних температурних умов на холодильному агентові R32 за різних робочих

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*  
внутрішніх температурних умов у приміщенні та витрати повітря на конденсаторі теплової помпи.

Результати досліджень зведені у таблицю 1.

Таблиця 1

**Результати досліджень ексергетичного ККД  
теплової помпи split-кондиціонера “Mitsubishi Electric”  
стандартної теплопродуктивності 3200 Вт залежно від температури внутрішнього  
повітря та витрати повітря на її конденсаторі**

$t_B = t_{H1}, ^\circ\text{C}$	$t_3 = t_{C1}, ^\circ\text{C}$	$L_K, \text{м}^3/\text{год}$	$Q_T^{\text{роб}}, \text{Вт}$	$N_{\text{сп}}^{\text{роб}}, \text{Вт}$	$W_{\text{конд}}^{\text{роб}}, \text{л/год}$	$\eta_e$
<b>15</b>	7	<b>180</b>	3584	874	1,10	<b>0,343</b>
		490				0,318
		618				0,309
<b>16</b>	7	<b>180</b>	3520	858	1,10	<b>0,348</b>
		490				0,330
		618				0,322
<b>17</b>	7	<b>180</b>	3456	842	1,10	<b>0,352</b>
		490				0,340
		618				0,334
<b>18</b>	7	<b>180</b>	3392	827	1,10	<b>0,356</b>
		490				0,351
		618				0,345
<b>19</b>	7	180	3328	811	1,10	0,359
		<b>490</b>				<b>0,360</b>
		618				0,355
<b>20</b>	7	180	3264	796	1,10	0,363
		<b>490</b>				<b>0,370</b>
		618				0,366
<b>21</b>	7	180	3200	780	1,10	0,366
		<b>490</b>				<b>0,379</b>
		618				0,376
<b>22</b>	7	180	3136	764	1,10	0,369
		<b>490</b>				<b>0,387</b>
		618				0,385

У таблиці 1 **жирно** зазначені отримані енергоощадні результати досліджень. *Курсивом* – результати досліджень за стандартних умов

**Література**

1. Шаргут Я. Эксергия / Я. Шаргут, Р. Петела. – М.: Энергия, 1968. – 280 с.
2. Соколов Е. Я. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения / Е. Я. Соколов, В. М. Бродянский. – М.: Энергоиздат, 1981. – 320 с.
3. Dincer, I., Rosen, M.A. Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development, second ed. Elsevier, Oxford, UK, (2013).
4. Labay V. Yo. [Mathematical Modeling of an Air Split-Conditioner Heat Pump Operation for Investigation its Exergetic Efficiency](#) / V. Yo. Labay, V. Yu. Yaroslav, O. M. Dovbush and A. Ye. Tsizda // Scientific Journal «Mathematical Modeling and Computing» (Математичне моделювання та інформаційні технології), Vol. 7, No 1. – Lviv: Lviv Polytechnic National University. – 2020. – Pp. 169–178.
5. Labay V. Yo. Mathematical modeling bringing the operation of air split-conditioners heat pumps to the same internal temperature conditions / V. Yo. Labay, V. Yu. Yaroslav, O. M. Dovbush and A. Ye. Tsizda // Scientific Journal «Mathematical Modeling and Computing» (Математичне моделювання та інформаційні технології), Vol. 8, No. 3. – Lviv: Lviv Polytechnic National University. – 2021. – Pp. 509–514.

---

## **MODELLING OF THE BOILING PROCESS IN NOZZLE WITH PROFILED DIFFUSER PART**

*Serhii Sharapov, PhD, assistant professor, senior lecturer, SumDU,  
Danylo Husiev, post graduate student, SumDU*

In modern world the main problem of all industries is energy conservation and environmental protection. Currently created two-phase jet devices, although they have significant advantages over single-phase, but due to the complexity of the work process that takes place in them is little studied. Recent European and world studies have focused on the operation of two-phase jet devices on different refrigerants or carbon dioxide. Main disadvantage is the cost of the working environment (refrigerant) and its safety and environmental friendliness.

Recently, studies have begun to suggest the use of water or water vapor, as well as steam jet ejectors, as the working medium for active flow [5-7]. However, as is well known, water also has negative properties, including the formation of scale, which is inevitable under such conditions of the working process. However, this is solved quite simply, and the authors of [8] suggest the use of ethers and aqueous solutions that have neutral properties and do not interact with the passive flow at the chemical level.

Increasing the efficiency of the process of outflow from the nozzle of the active flow of a two-phase jet apparatus directly depends on the geometric shape of the expanding part of the nozzle. Based on theoretical and experimental studies of an active flow nozzle with straight walls of its expanding part, a range of opening angles was obtained in which the flow does not separate from

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

the nozzle walls. Nozzle geometry profiling makes it possible to maximize the efficiency of the working fluid outflow process from these nozzles and the efficiency of the working process of a two-phase jet device as a whole.

To create a nozzle with a profiled diffuser part, it is necessary to create a mathematical model and a calculation program in which it is possible to determine the flow parameters in characteristic sections as accurately as possible and determine the length of the nozzle to obtain the required value of the flow pressure at the outlet of the nozzle.

The possibility of increasing the efficiency of two-phase jet devices by profiling the diffuser part of the active flow nozzle was considered. As shown by numerical and experimental studies of active flow nozzles with straight walls of the diffuser part, which are close in shape to Laval nozzles, their maximum possible efficiency is at the level of 95-97%. At the same time, in certain operating modes of a two-phase jet apparatus, in such nozzles, separation of the boiling-up flow from the channel walls is possible.

The most effective way to eliminate this phenomenon is to profile the expanding part of the active flow nozzle. Thermophysical model of the outflow of a boiling liquid from expanding channels with a different shape of the diffuser part of the nozzle presented. Nozzles with a parabolic, logarithmic and elliptical shape of the diffuser part were selected for profiling. The proposed model is based on a method that allows one to indirectly determine the average flow parameters based on the solution of the inverse problem. During the solution, unknown quantities are determined by obtaining experimental data on the flow rate, jet impulse, static pressure distribution and are supplemented by the numerical results of solving the system of balance conservation equations.

The results of mathematical modeling of profiled nozzles according to the proposed model and nozzles with straight walls of the diffuser part are presented. The obtained results of a numerical study are compared with the results of an experimental study of nozzles with straight walls obtained by the authors earlier. A comparative analysis of the effectiveness of the use of such nozzles and nozzles with straight walls of the diffuser part has been carried out. As a result, analytical and graphical data were obtained, allowing us to conclude that it is advisable to use nozzles with a profiled diffuser part.



**UDK 697.94**

## **INNOVATIVE METHOD OF IMPROVEMENT OF CENTRAL AIR CONDITIONING SYSTEMS**

*Byshmanov V., Phd st Krushelnytskyi D.*

*Zhykharieva N. V., Ph.D., Ass. Pr., Kohut V.E, Pr., Ph.D., Ass. Pr..*

In the context of accelerating scientific and technological progress, the task of increasing the energy efficiency of air conditioning systems is of great national economic importance.

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

One of the main tasks of this complex problem is energy conservation. We solve a triune problem - optimization (minimization) of energy consumption while strictly complying with regulatory requirements for a comfortable living environment in residential, public and industrial facilities, strict compliance with technological requirements in production processes and minimizing the harmful impact on the environment.

Innovative methods for improving central air conditioning systems are shown. The modular type central air conditioner is capable of operating in modes close to critical. To solve this issue, special modules were proposed, in which the developed ejector-type contact heat exchangers were used. The use of contact heat exchangers allows you to additionally heat the air in the air conditioner in winter. In summer, at high loads, use additionally cooled air, and at increased heat load - water pulp. Methods for air heating, cooling and sludge production have been developed. These devices maintain the relative humidity of the air in the premises on the basis of contact heat exchangers-ejectors, allow either to humidify with a fine spray of moisture into the air, or to condense moisture from the air. The principle of operation is simple and implemented in a small device.

Obtaining a technical result is possible due to the special design of the ejector device, the use of cooling, heating, cleaning and drying by spraying water in the air flow and post-cooling the air due to adiabatic expansion.

The central air conditioner of modular type is capable to work in the modes close to critical. To address this issue, special modules have been proposed that use ejector-type contact heat exchangers. The use of contact heat exchangers allows you to further heat the air in the air conditioner in winter. In summer, at high loads, use additional cooled air, and in cases of high heat load water sludge. Methods and devices for heating, cooling and sludge production have been developed for such cases.

We have considered the operation of the block central air conditioner in extreme conditions. To solve this problem, patented units with ejector humidifiers and air heaters have been proposed. Method of heating air, patent for invention. № u121951. Installation for air heating, patent for utility model № u140239. Installation for heating air № u140238, utility model patent № u142493. Method of condensation of carbohydrate vapors, utility model patent № u142494. Sludge production method, utility model patent № u117401 Ejection air cooler, utility model patent № u117837. The method of cooling indoor air. At high ambient temperatures to reduce energy costs considered an auxiliary scheme of the fan with the addition of cooling water ice sludge (Installation for condensation of hydrocarbon vapors, utility model patent № u143331, Sludge production plant, utility model patent № u143626).

For extreme conditions, the above patents allow the block central air conditioner to work normally without reducing energy efficiency.

The scientifically substantiated provisions for designing of air conditioning system on the basis of theoretical and research values which confirm adequacy of mathematical model to real physical objects are resulted.

In the area of subsonic velocities with this type of cooling, you can increase the total flow pressure (the so-called thermogasodynamic effect). This process can be obtained in a special device - an ejector heat exchanger. This device was developed at the Odessa Cold Academy. Figure 1 shows the scheme of the heat exchanger ejector and the distribution of temperature in it.

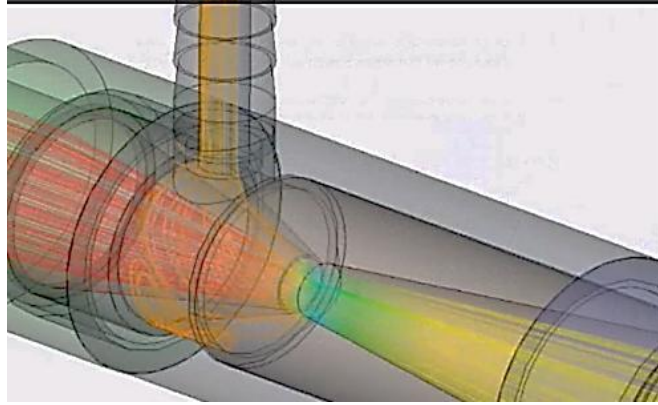


Figure 1. – Temperature distribution in the ejector-type contact heat exchanger

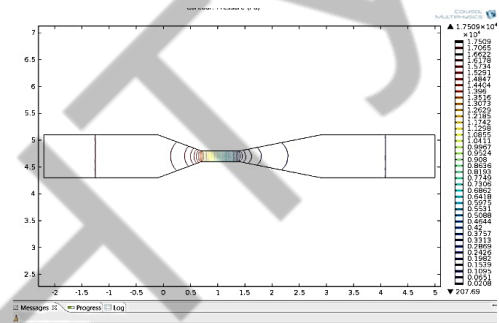
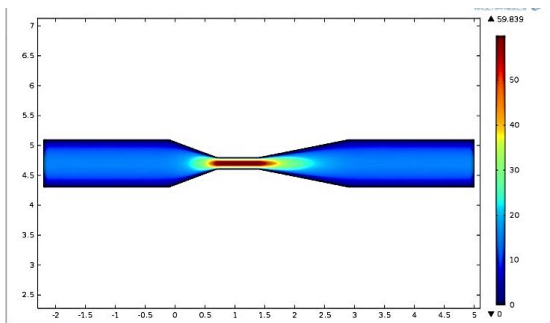


Figure 2– Graphs of flow velocity and pressure in the ejector-type contact heat exchanger

We have patented a method of additional air cooling which shows that the ejection air cooler, which includes an air treatment unit in which the refrigerant spray is located, connected to the refrigerant supply line, according to the utility model additionally contains 30 superchargers and a container for storing refrigerant water, the air treatment unit is made in the form of an ejection device comprising a confuser, a mixing chamber and a diffuser, and the supercharger outlet is connected to the confuser of the ejection device, the water spray nozzle is located at the inlet of the mixing chamber. .

Cooled and humidified air is supplied to the working area of the production room. The performance of the device is regulated by the speed of rotation of the supercharger, as well as control of the cooling water supply. Obtaining this technical result is possible due to the special design of the ejection device. This ensures a reduction in energy costs and the achievement of the air temperature required to maintain the set parameters of technological conditioning in the working area.

The ejection air cooler comprises an air treatment unit in which the coolant spray is located and connected to the coolant supply line. In addition, the cooler contains a supercharger and a container for storing the cooling agent - cold water, the air treatment unit is made in the form of an ejection device containing a confuser, mixing chamber and diffuser. The outlet of the supercharger is connected to the confuser of the ejection device, the nozzle for spraying water is located at the inlet of the mixing chamber and is connected through the water supply pipe with a container for storing cold water.

## Literature

1. Zhykharieva. N., Khmelniuk M. Thermo-economic approach to optimize air conditioning systems. // (2017) Refrigeration Science and Technology, 2017-September, pp. 258-264. ISSN: 01511637, ISBN: 9782362150241

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

2. Kogut V. Bushmanov V., Zhykharieva N.V The filter on the basis of the ejector of the heat exchanger for purification of harmful substances from flue gases using heat exchanger as combustion gas filter // AIP Conference Proceedings 2285, 030087 (2020); <https://doi.org/10.1063/5.0026819>
3. Zhykharieva N. V. Modeling and optimization of air conditioning systems. / Zhykharieva N.V. - Odesa: TPP, 2016. – 172 p .
4. Butovskyi I., Kogut V., Zhykharieva N., Khmelniuk M. Anticipated economic return from application of the ejector heat exchanger for light fraction hydrocarbon condensation on the petroleum storage depot // Refrigeration and technology. –2016№ 52(3) P. 25–28
5. Kohut VE Application of ejector heat exchangers in various industries. / VE Kohut., E.Yu Butovsky. // Eastern European Journal of Advanced Technologies Kharkiv - 2014 - Issue. 5, Vol. 1 (71) - p. 51-58
6. Kohut V.E Application of the heat exchanger-ejector in installations of industrial cooling of air / V.E Kogut., E.Y Butovsky., Khmelnyuk M.G, Zhykharieva N.V. // Refrigeration and technology. 2015. № 1.p. 21–25
7. The method of heating the air. Patent for invention №u 121838 / Kohut VO, Baboy EO, Talibli RE, Zhykharieva N.V, Khmelnyuk MG, Doroshenko OV, Application №u201907885 Publication 27.07.2020, bull. № 14.
8. The method of heating the air. Patent for invention №u 121838 / Kohut VO, Baboy EO, Talibli RE, Zhykharieva N.V, Khmelnyuk M.G, Doroshenko O.V, Application №u201907885 Publication 27.07.2020, bull. № 14.
9. Sludge production method. Patent for utility model № u143331 / Kohut V.E, Talibli R.E, Zhykharieva N.V, Khmelnyuk M.G, Doroshenko OV, Application №u202000340 Publication 27.07.2020. № 14.
10. Ejection air cooler. Patent for utility model №u 117401 / Kohut V.E, Butovsky E.D, Bushmanov V.O, Khmelnyuk M.G, Zhykharieva N.V Application №u201700181 Publication 06/26/2017 № 12.

---

**УДК 697.94**

## **ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ЦЕХУ З ВИРОБНИЦТВА КАРБАМІДУ ОПЗ**

*Філков І.О. СВО магістрант ОНАХТ*

Здоров'я, гарне самопочуття та працездатність людини багато в чому залежать від сприятливих умов мікроклімату та повітряного середовища приміщень, де він перебуває основну частину свого часу. Значний вплив на повітряне середовище приміщень має вентиляційно-опалювальне обладнання, освітлювальна техніка, а також різноманітне побутове та офісне електрообладнання. Якщо розглядати фізіологічну дію навколишнього повітря на людину, то необхідно звернути увагу на об'єм повітря споживаний людиною за добу, а це 15 кілограм. Яке це повітря, на якому рівні знаходиться його чистота і свіжість, як почувається людина в приміщенні – жарко йому, душно чи холодно, практично повністю залежить від інженерного обладнання, яке забезпечує комфортний мікроклімат.

. Метою роботи є підвищення ефективності роботи багатозональної системи кондиціонування повітря при нестационарних теплових режимах цеху з виробництва карбаміду Одеського припортового заводу.

Карбамід - це мінеральне добриво, яке використовується на всіх видах ґрунтів під будь-які культури. Така форма добрив забезпечує значне збільшення врожаю сільськогосподарських культур.

Одним із важливих засобів проектування систем кондиціонування повітря у закритих виробничих приміщеннях є своєчасне та постійне провітрювання приміщень та забезпечення допустимих рівнів мікроклімату.

До основних показників мікроклімату повітря робочої зони відносяться температура, відносна вологість, швидкість руху повітря.

На параметри мікроклімату та стан людського організму також впливає інтенсивність теплового випромінювання різних нагрітих поверхонь, температура яких перевищує температуру у виробничому приміщенні.

Тривала дія на організм людини несприятливих метеорологічних умов погіршує самопочуття, знижує продуктивність праці і часто призводить до різних захворювань і порушень стану здоров'я.

Завдання роботодавця для збереження здоров'я працюючих – створити на робочому місці оптимальні або допустимі мікрокліматичні умови. Комфортне самопочуття працюючого забезпечується відповідним співвідношенням температури, відносної вологості і швидкості руху повітря.

Повітря у робочій зоні виробничих приміщень у цехах підприємств повинно відповідати вимогам Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень, затверджених постановою головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 р. № 42.

У виробничих приміщеннях з надлишком (явного) тепла використовують природну вентиляцію (аерацію). Аераційні ліхтарі та шахти розташовують безпосередньо над основними джерелами тепла на одній осі. У разі неможливості або неефективності аерації встановлюють механічну загальнообмінну вентиляцію.



*Рис 1. Багатозонльна СКП*

**Багатозональні** центральні системи кондиціонування застосовують для обслуговування великих приміщень, в яких обладнання розміщено нерівномірно, а також для обслуговування ряду порівняно невеликих приміщень. Такі системи більш економічні, ніж окремі системи для кожної зони або кожного приміщення. Однак, з їх допомогою не може бути досягнута така ж ступінь точності підтримки одного або двох заданих параметрів (вологості і температури), як автономними системами кондиціонування (кондиціонерами спліт-систем та ін.).

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

З точки зору використання холодо- або теплоносія багатозональні системи можуть бути:

1. повітряними (VAV);
2. водо-повітряними (чилер-фанкойли);
3. фреоно-повітряними (VRF).

Причому вибір енергоносія впливає лише на конструктивно-компонувальні та експлуатаційно-енергетичні характеристики системи.

Вирішити задачу багатозонального кондиціонування приміщень цілком можливо як за допомогою повітряних ВКВ, так і за допомогою комбінованих водяних або фреонових. Комбіновані системи кондиціонування мають ряд переваг: компактність, точність регулювання, енергетична ефективність. Основною перевагою таких систем є те, що теплове і вологе навантаження несуть місцеві кондиціонери (фанкойли або внутрішні блоки VRF), а чистоту повітря підтримують системи вентиляції або центральні повітряні кондиціонери. Вибір оптимального варіанта багатозональних систем кондиціонування повітря присвячено безліч досліджень. Розрахунок таких систем повинен проводитися з урахуванням багатьох факторів, і тому ніколи не можна заздалегідь сказати, що для будь-якого об'єкта однозначно буде оптимальною саме система VRF або чилер-фанкойл. Зрештою, вибір типу системи кондиціонування визначається низкою критеріїв для кожного випадку (габарити, ціна, межа споживаної потужності, швидкість монтажу, рівень шуму тощо).

Принциповими відмінностями у методиці розрахунку багатозональних ВКВ є:

1. фактичні параметри внутрішнього повітря при проєктуванні у вигляді точки знати неможливо, треба розуміти, що можна визначити лише область передбачуваних значень;
2. при розрахунку продуктивності джерела холоду (зовнішнього блоку) враховується неодноразовість максимумів споживачів холоду (внутрішніх блоків);
3. розрахунковим періодом для місцевих кондиціонерів не завжди є режим максимального завантаження джерела холоду.

Технологія виробництва карбаміду виключає можливість утворення і накопичення домішок токсичних елементів, в тому числі свинцю, миш'яку, кадмію, ртуті та радіонуклідів природного та техногенного походження, тому для карбаміду регламентація їх не потрібна. Хімічні властивості карбаміду обумовлюють широке його застосування в хімічній промисловості в синтезі карбамідо-альдегідних (в першу чергу карбамідо-формальдегідних) смол, широко використовуються в якості адгезивів, у виробництві деревно-волокністих плит (ДВП) і меблевому виробництві. Частина виробленого карбаміду використовується для виробництва меламіну. У рубці жуйних тварин живуть мікроорганізми, здатні використовувати сечовину для біосинтезу білка, тому її додають в корми як замітник білка. У медичній практиці сечовину чисту використовують як дегідратаційного засіб для попередження і зменшення набряку мозку

Нами запропоновано застосування центральної системи кондиціонування повітря. Центральний кондиціонер модульного типу здатний працювати в режимах, близьких до критичних. Для вирішення цього питання були запропоновані спеціальні модулі, в яких використовуються контактні теплообмінники ежекторного типу. Використання контактних теплообмінників дозволяє додатково нагрівати повітря в кондиціонері взимку. Влітку при високих навантаженнях використовують додаткове охолоджене повітря, а у випадках високого теплового навантаження водяний шлам. Для таких випадків розроблені методи та пристрої для нагрівання, охолодження та одержання шуги.



*Рис2 представлено цех з виробництва карбаміду Одеського припортового заводу (місто Южне, вул. Заводська, 3).*

Ми розглянули роботу блочного центрального кондиціонера в екстремальних умовах. Для вирішення цієї проблеми були запропоновані запатентовані установки з ежекторними зволожувачами і повітрянагрівачами. Спосіб нагріву повітря, патент на винахід. № u121951. Установка для повітряного опалення, патент на корисну модель № u140239. Установка для опалення повітря № u140238, патент на корисну модель № u142493. Спосіб конденсації парів вуглеводів, патент на корисну модель № u142494.

### **Література**

1. Zhykharieva. N., Khmelniuk M. Thermo-economic approach to optimize air conditioning systems. // (2017) Refrigeration Science and Technology, 2017-September, pp. 258-264. ISSN: 01511637, ISBN: 9782362150241
2. Kogut V. Bushmanov V., Zhykharieva N.V The filter on the basis of the ejector of the heat exchanger for purification of harmful substances from flue gases using heat exchanger as combustion gas filter // AIP Conference Proceedings 2285, 030087 (2020); <https://doi.org/10.1063/5.0026819>
3. Butovskyi I., Kogut V., Zhykharieva N., Khmelniuk M. Anticipated economic return from application of the ejector heat exchanger for light fraction hydrocarbon condensation on the petroleum storage depot // Refrigeration and technology. –2016 № 52(3) P. 25–28
4. Kohut VE Application of ejector heat exchangers in various industries. / VE Kohut., E.Yu Butovsky. // Eastern European Journal of Advanced Technologies Kharkiv - 2014 - Issue. 5, Vol. 1 (71) - p. 51-58
5. Kohut V.E Application of the heat exchanger-ejector in installations of industrial cooling of air / V.E Kogut., E.Y Butovsky., Khmelnyuk M.G, Zhykharieva N.V. // Refrigeration and technology. 2015. № 1.p. 21–25



## **ХОЛОДОАГЕНТИ З НИЗЬКИМ ПОТЕНЦІАЛОМ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕННЯ ДЛЯ СУДНОВИХ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ**

*Сорокін Р.Р., Хлієва О.Я.*

*Національний університет «Одеська морська академія», м. Одеса, khliyev@ukr.net*

Проектування сучасних суднових парокompресійних холодильних машин нерозривно пов'язані з вибором оптимального робочого тіла (холодоагенту). Тенденції останніх років, що пов'язані з необхідністю виконання ряду екологічних законодавчих актів та вирішенням питань енергозбереження, наклали суттєві обмеження на вибір холодоагентів для нового парокompресійного холодильного обладнання.

Міжнародне екологічне законодавство демонструє впевнене збільшення обмежень щодо використання різних холодоагентів, з метою зменшення їх впливу на навколишнє середовище. Проблема у тому, що в силу фізичних властивостей холодоагентів, дуже складно контролювати їх потрапляння в атмосферу при ремонті та експлуатації парокompресійного холодильного обладнання. Додаткові проблеми пов'язані з умовами експлуатації суднового холодильного обладнання, для яких характерні великі витрати холодоагенту у процесі експлуатації. Так, за оцінками [1], середні річні витрати холодоагенту з парокompресійних холодильних систем для морського застосування 30 % від маси заправки. Це найбільше значення з усіх холодильних систем різних схемних рішень.

На сьогодні відповідно до Додатку VI до MARPOL (Правила запобігання забрудненню повітря з суден. Правило 12 – використання речовин, що руйнують озоновий шар) використання холодоагентів, що містять у структурі своєї молекули хлор заборонено навіть у обладнанні, що вже експлуатується на судах. Ця заборона вступила в дію 1 січня 2020 року. Тобто проблему переходу суднового парокompресійного обладнання на використання речовин, що руйнують озоновий шар, можна вважати вирішеною. Але нинішні вимоги Додатку VI MARPOL щодо використання ГФВ зосереджені в основному на обліку споживання холодоагентів та на безпечному поводженні з ними.

Слід зазначити, що холодоагенти на основі вуглеводів зі змістом у молекулі атомів фтору (які прийшли на заміну озоноруйнівним речовинам), мають досить високий потенціал глобального потеплення (GWP), тому, у відповідності до Кігалійської поправки до Монреальського протоколу повинні поступово виводитися з застосування.

Але, величина GWP холодоагентів не обмежується жодними обов'язковими вимогами ІМО (International Maritime Organization), тому на сьогодні немає обмежень для використання ГФВ на борту суден.

У 2014 році було прийнято Регламент ЄС про F-гази № 517/2014, який застосовується з 1 січня 2015 року. Положення щодо запобігання витоків холодоагентів не застосовуються до суден (на відміну від положення щодо утилізації). Однак існує заборона на обслуговування існуючих суднових холодильних систем з використанням холодоагенту з високим GWP. Холодильне обладнання на судні під прапором ЄС, що використовує ГФУ з  $GWP > 2500$  в кількості вище 40 тоннам (у перерахунку на CO<sub>2</sub>-екв.), заборонено заправляти цим холодоагентом після 1 січня 2020 року (але можна використовувати з цією метою відновлений холодоагент до 1 січня 2030 року). Але очікується посилення законодавства у галузі використання речовин з високим GWP у судновій холодильній техніці, тому потрібно

**Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.**

своєчасно бути готовим до переходу на використання холодоагентів «нового» покоління з низьким GWP.

В таблиці 1 наведено перелік холодоагентів, які вже застосовуються у суднових холодильних системах, або мають перспективи до застосування (у відповідності до виконаного огляду літературних джерел). Але не усі холодоагенти, що наведено у таблиці 1, рекомендовано до застосування у судновому холодильному обладнанні, відповідно стандартів.

**Таблиця 1 - Озонеруйнівні холодоагенти для застосування у суднових холодильних установках**

Група	Холодоагент	Клас небезпеки (за ASHRAE)	GWP, кг/кг CO <sub>2</sub>	Температура кипіння при 1,013 бар, °C
Насичені ГФВ	R134a	A1	1430	-26,07
	R32	A2L	675	-51,65
Ненасичені ГФВ	R1234yf	A2L	4	-29,49
	R1234ze	A2L	7	-18,97
«Природні»	R600a	A3	3	-11,75
	R290	A3	3	-42,11
	R717 (аміак)	B2L	0	-33,32
	R744 (діоксид вуглецю)	A1	1	-62,89
Суміші ненасичених ГФУ	R404A	A1	3922	-46,22
	R407C	A1	1774	-46,22
	R410A	A1	2088	-51,44
	R507	A1	3985	-46,74

У відповідності до [2] у суднових холодильних установках як холодоагенти можуть бути використані лише ГФВ, або природні холодоагенти NH<sub>3</sub> та CO<sub>2</sub>. Такі ж вимоги до переліку холодоагентів наведено в [3]. Додатково в [3] відзначається, що холодоагенти класу небезпеки A3 (пожеженебезпечні) заборонено використовувати у судновому холодильному обладнанні окрім випадків, коли маса заправки холодоагенту менше 150 г. Стосовно можливості застосування горючих холодоагентів класу A2L (mildly flammable – легкозаймистий) в [2] та [3] інформації не наводиться.

З урахуванням відзначених вище вимог Кігалійської поправки до Монреальського протоколу, та з погляду на те, що у додатковій секції правил [2], яка присвячена мерам по скороченню забруднення повітря, рекомендоване використовувати холодоагенти з GWP ≤ 2000, альтернативних холодоагентів для парокомпресійних суднових систем залишається небагато – таблиця 1.

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

Горючий та токсичний R717 (NH<sub>3</sub>) як холодоагент застосовується вже давно у спеціалізованому судновому холодильному обладнанні великої потужності при забезпеченні дуже жорстких мер безпеки. Але він не застосовується у системах кондиціювання повітря та холодильних машинах для провізійних камер, які є в наявності на практично усіх торгових та пасажирських суднах. Використання R744 (CO<sub>2</sub>) як холодоагенту – це напрямок, який дуже активно розвивається. Вже є приклади впровадження холодильних систем на CO<sub>2</sub> у морському застосуванні. Але такі системи ще не є поширеною практикою. Крім того, CO<sub>2</sub> як холодоагент потребує принципово відмінної від ГФВ конструкції холодильної систем, тому його застосування можливо при повній заміні холодильної системи або на нових суднах.

Напевно, найближчим часом найбільше поширення у суднових холодильних системах знайдуть сумішеві холодоагенти типа R407C. Але й для них потрібна альтернатива. Ситуація, що склалася з наявними на ринку холодоагентами, наводить на думку, що стандарти з використання певних холодоагентів будуть змінюватися в бік можливості використання горючих речовин у суднових холодильних системах (така тенденція вже спостерігається, наприклад, у ЄС у 2022 р. розглядається питання дозволу застосування холодоагентів класу A2L у залізничному транспорті).

Виконаний короткий огляд дозволяє зробити загальний висновок про складність питання вибору альтернативного холодоагенту з низьким потенціалом глобального потеплення для суднових парокompресійних холодильних систем та потребу уважного слідкування за змінами у стандартах, що стосуються холодильної галузі.

#### **Література**

1. Methods of calculating total equivalent warming impact (TEWI). Best practice guidelines, Australian Institute of Refrigeration, Air-conditioning and Heating. AIRACH. 2012. [https://www.airah.org.au/Content\\_Files/BestPracticeGuides/Best\\_Practice\\_Tewi\\_June2012.pdf](https://www.airah.org.au/Content_Files/BestPracticeGuides/Best_Practice_Tewi_June2012.pdf)
2. DNV GL AS. Rules for classification. Ships. Edition July 2019. Part 6 Additional class notations. Chapter 7 Environmental protection and pollution control
3. Rules for the classification and construction of sea-going ships Part XII Refrigeration Plants ND No. 2-020101-138-E. 2021

**УДК 621.59**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ КАСКАДНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ НА ПРИРОДНИХ РОБОЧИХ РЕЧОВИНАХ**

*Крохмальний Ю.В., магістрант ІХКЕ ОНАХТ*

Проблема раціонального використання супутного нафтового газу СНГ існує в усьому світі достатньо давно. За останні роки по всьому світу спалюється на факелах приблизно 140 млрд м<sup>3</sup> СНГ, що призвело до викиду в атмосферу близько 360 млн м<sup>3</sup> парникових газів. Ще 280 млрд м<sup>3</sup> продається нафтопереробним заводам, які перероблюють СНГ, та отримують з нього різноманітну сировину для хімічної промисловості, а також виділяють вуглеводні (етан, етилен, метан, тощо).

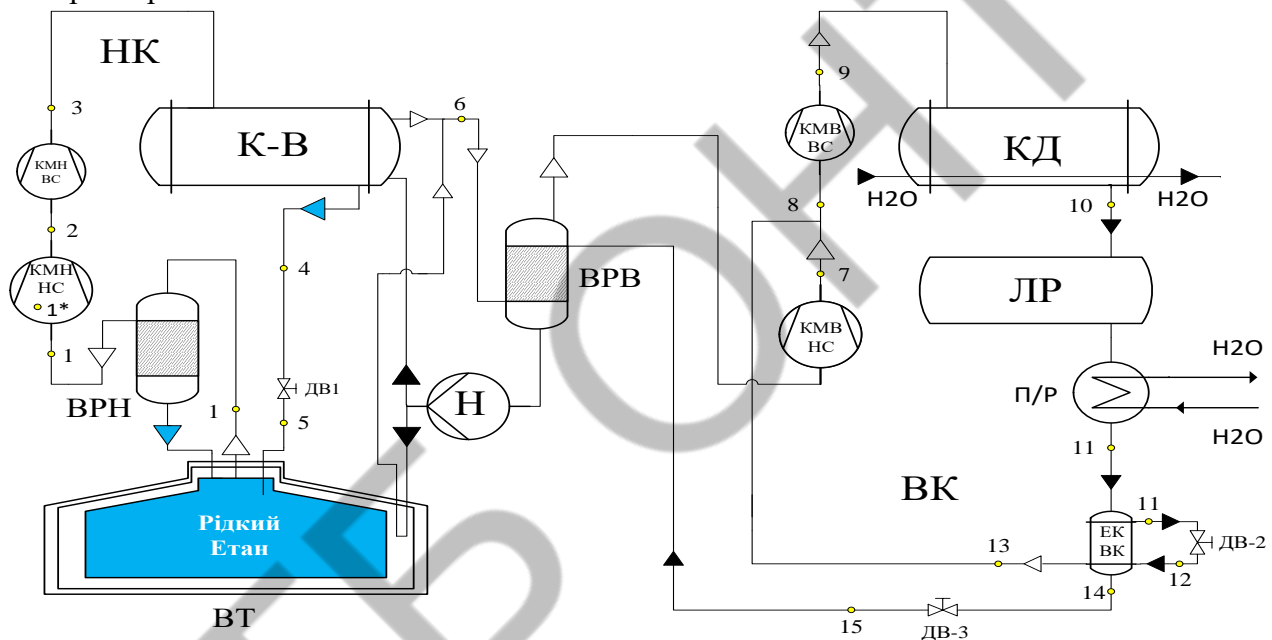
Розглядаючи супутній нафтовий газ, слід звернути увагу на той факт, що з кожним роком попит на нього у всьому світі зростає на 3-4,5%, а це в свою чергу потребує все більш

досконалих холодильних систем транспортування СНГ, оскільки ресурси виснажуються і вимоги до зниження втрат при транспортуванні стають все більш жорсткішими.

**Мета та завданням** даного дослідження являється вивчення та удосконалення каскадної холодильної машини для реконденсації СНГ при транспортуванні та аналіз ефективності застосування ПКХМ в установках повторної реконденсації СНГ при транспортуванні.

**Об'єктом дослідження** є каскадна холодильна установка для реконденсації СНГ (рис.1), яка працює на різних холодильних агентах, а також з додатковими елементами для підвищення холодопродуктивності установки, що впливає на енергомісткість штучного холоду та впливу на оточуюче середовище.

Головною перевагою даної схеми, є те, що вона володіє гнучкістю в роботі і здатна швидко змінювати режим експлуатації під різні умови. З недоліків слід вказати її подорожчання за рахунок великої кількості додаткових елементів і значного споживання електроенергії.



*Рис.1 – Модифікований цикл каскадної холодильної установки для зрідження СНГ:*

*КМН НС – компресор першого ступеня нижнього каскаду; КМН ВС - компресор другого ступеня нижнього каскаду; К-В – конденсатор – випарник; П/Ж – переохолоджувач рідини; ДВ1 - дросельний вентиль нижнього каскаду; ДВ2 – дросельний вентиль верхнього каскаду;*

*ВРН – відокремлювач рідини нижнього каскаду; КМВНС – компресор першого ступеня верхнього каскаду; КМВНС – компресор другого ступеня верхнього каскаду; КД – конденсатор верхнього каскаду; ЛР – лінійний ресивер верхнього каскаду; ЕК ВК – Економізатор верхнього каскаду; ВРВ – відокремлювач рідини верхнього каскаду; Н – насос; ВТ – вантажний танк.*

В базовому циклі присутні значні втрати холоду при дроселюванні частки для охолодження основного потоку в економайзері, що відображається на ступеню термодинамічної досконалості. Тому було запропоновано встановити переохолоджувач рідкого агента після конденсатору для того, щоб знизити втрати при дроселюванні та підвищити енергоефективність циклу.

Проведено тепловий розрахунок модифікованого циклу. Зведено результати розрахунків на всіх запропонованих альтернативних холодильних агентах в таблиці 1.

**Результати теплового розрахунку модифікованого циклу**

Параметр	R717	R290	R1270	R407C	R404A	R402A
$q_0$ , кДж/кг	1197	327	334	190	138	139
$W_a$ , кДж/кг	428,5	122,8	124,85	66,23	66,6	62,52
$W_d$ , кДж/кг	714,2	204,64	208,1	110,38	111	104,2
$q_k$ , кДж/кг	1150	366	376	170	134	138
$q_v$ , кДж/м <sup>3</sup>	1197	1211,1	1452,2	1461,5	1380	1433
$M_a$ , кг/с	1,38	5,05	4,93	8,7	11,98	11,89
$y$ , %	10,2	25	24	23	32	28
$N_a$ , кВт	591,3	620,53	615,93	582,16	797,58	737,78
$N_d$ , кВт	986,1	1034,22	1026,55	970,26	1329,3	1230
$COP_T^{уд}$	0,57	1,3	1,29	1,69	1,69	1,73
$COP_d^{уд}$	0,36	0,84	0,83	1,12	1,12	1,15
$COP_T^п$	1,06	1,04	1,05	1,08	0,89	0,94
$COP_d^п$	0,68	0,66	0,67	0,69	0,56	0,59
$\dot{\eta}_{стсТ}^{уд}$	0,32	0,72	0,72	0,94	0,94	0,96
$\dot{\eta}_{стсД}^{уд}$	0,20	0,47	0,46	0,62	0,62	0,64
$\dot{\eta}_{стсТ}^п$	0,59	0,58	0,58	0,6	0,49	0,52
$\dot{\eta}_{стсД}^п$	0,38	0,37	0,37	0,38	0,31	0,33

З усіх альтернатив R22 хладону в оновленому циклі, найкращі показники енергоефективності та екологічності належать природнім агентам, такі як R717, R290, R1270 та хладону R407C як й в стандартному циклі.

Запропонований переохолоджувач мінімізує втрати холоду, підвищує ступінь термодинамічної досконалості, а також підвищує економічність система, про що свідчать результати розрахунків. Враховуючи той факт, що сьогодні мається дуже велика проблема виснаження енергоресурсів планети, дане вдосконалення є доречним, оскільки допоможе знизити витрату енергоресурсів, а також підвищить економію. Виявлено, що зниження частки 20 – 30 % призводить до зниження витрати електроенергії від 3 до 12 % в залежності від робочих тіл, що в свою чергу знижує споживання палива 3 – 12 % енергоустановкою. В роботі вирішено задачу розробки та дослідження каскадної холодильної установки для зрідження СНГ, що забезпечує скорочення енерговитрат та витрат дизельного пального на 3 – 12 % за рахунок встановлення переохолоджувача рідкого агенту після конденсатору, що також знижує частину рідини, що необхідна для охолодження основного потоку в економайзері на 20 – 30 %.

Запропоновано замінити робочу речовину R22, на екологічно безпечні тіла такі як: R717, R290, R1270, що повністю виключить згубний вплив на оточуюче середовище в виді парникового ефекту, або замінити R22 на більш безпечну речову R407C, що частково виключить вплив на оточуюче середовище в виді парникового ефекту, та повністю виключить руйнування озонного шару. Переохолодження рідини після конденсатору на 5 градусів знизило вартість одного МДж холоду на 5 - 7 %. Виявлено та реалізовано енергопотенціал установки шляхом впровадження вищеописаних удосконалень та в підсумку енерго та ресурсозбереженням.

*Науковий керівник: Грандафілов В.В., к.т.н., доцент кафедри холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАХТ*

УДК 621.59

## **ІННОВАЦІЙНИЙ МЕТОД ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ЗА ДОПОМОГОЮ КОНТАКТНОГО ТЕПЛООБМЕНУ**

*Асп. ОНАХТ Крушельницький Д.О., асп. ОНАХТ Кіценко А.М.*

Отримання чистої води для харчових цілей дуже важливе завдання в сучасності. Це завдання можна вирішити тільки холодильними методами. Які відчищають воду від всіляких домішок, солей і прибирають генетичну пам'ять води.

Спосіб передбачає охолодження повітря термоізолюваної камери, прискорення його вентилятором до швидкості 10-30 м/с. Потім повітря пропускають через теплообмінник-ежектор, в якому прискорюють його до швидкості 50-100 м/с і вприскують дрібнодисперсні краплі води з температурою 0-6 °С зі швидкістю 50-100 м/с.

Установка містить термоізолювану камеру, всередині якої розміщені теплообмінний прилад для охолодження повітря, розпилювач води, вентилятор, теплообмінник-ежектор для контактного теплообміну між водою і охолодженим повітрям, насос і термоізолювану ємність для води, розташований за межами термоізолюваної камери холодильний агрегат, сполучений з теплообмінним приладом для охолодження повітря. Конфузор теплообмінника-ежектора сполучений з вентилятором. Розпилювач води розташований в камері змішування теплообмінника-ежектора і сполучений з виходом насоса, вхід якого сполучений з ємністю для води.

Установка, що заявляється, була виготовлена і основні експерименти проведені на базі НН ІХКЕ ім. В. С. Мартиновського ОНАХТ (м. Одеса). Результати експериментів показали, що для одержання дрібних кристалів льоду доцільно встановлювати такі параметри: температура повітря у камері - мінус 15...мінус 10 °С, а температура води - 0...6 °С. Розміри кристалів льоду знаходяться у діапазоні 0,5...1 мм. Після отримання шуги, водно-емульсивну суміш пропускають через фільтри тонкого очищення. Де тверда фракція залишається на фільтрі а рідка фракція зливається у бак і утилізується. Тверда фракція збирається і проходить оттайку. В результаті виходить чиста вода придатна до вживання по міжнародних нормам

*Наукові керівники :к.т.н. дац. Жихарева Н.В., к.т.н. доц. Когут В.О.*

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕПЛОВІДДАЧІ ТА РЕЖИМІВ КИПІННЯ ХОЛОДОАГЕНТІВ ТА РОЗЧИНІВ ХОЛОДОАГЕНТ/МАСЛО У ТРУБИ**

*Асп. Борисов В.О., проф. Железний В.П.*

Перелік промислових об'єктів, що використовують двофазні потоки, є надзвичайно широким. Це парові котли паросилових установок, випарні установки хімічних та харчових виробництв, газо- та нафтопроводи, кріогенні системи, випарники та конденсатори холодильних установок та багато іншого. Інформація про структури режимів перебігу киплячих робочих тіл має важливе значення у задачах моделювання процесів теплообміну у випарниках холодильних машин. На жаль, інформація про режими кипіння нових робочих тіл у випарнику дуже обмежена. Досі відсутні карти кипіння для більшості озононеруйнівних холодоагентів із низьким значенням потенціалу глобального потепління.

Найпоширенішим методом експериментального вивчення режимів кипіння залишається метод візуалізації потоку, іноді у поєднанні з фото- та кінозйомкою. Однак у останні роки знаходять широке застосування непрямі методи, засновані на застосуванні лазерів чи рентгенівської техніки. Незважаючи на те, що непрямі методи набувають все більшого поширення, серед фахівців метод візуалізації вважається найбільш надійним.

В рамках реалізації індивідуального аспірантського плану спроектована установка, яка дозволяє спостерігати потік робочого тіла при значеннях теплового навантаження, витратах і ступеня сухості, що варіюються. Крім вивчення режимів кипіння робочого тіла створена експериментальна установка дозволить досліджувати гідродинамічні втрати, локальні та середні за довжиною випарника коефіцієнти тепловіддачі. У розробленій експериментальній установці (рис. 1) використана термокомпресорна схема подачі робочого тіла в робочу ділянку.

Для підтримки постійних параметрів робочого тіла перед дросельним вентилям V3 балон 4 з хладагентом (розчином хладагент/ масло) термостатувався при певній температурі в ємності 3. Постійна температура хладагента на виході з конденсатора 2 забезпечувалася за рахунок прокачування термостатуючої рідини. Температура на вході в робочу ділянку 9 забезпечувалася регулюванням дросельного вентиля V3. Робоча ділянка 9 виготовлена з нержавіючої тонкостінної трубки ( $\delta = 0,1\text{мм.}$ ) діаметром 5мм. На робочій ділянці довжиною 1800мм встановлено 11 електричних контактів 7 виконаних з міді. На електричних контактах було встановлено термопари контролю за температурою робочого тіла різних ділянках. Подача теплового навантаження на робочу ділянку здійснювалось від стабілізованого джерела живлення HPS3060D. Зміна ступеня сухості робочого тіла на різних ділянках випарника забезпечувалася як регулюванням потужності, що подається на робочій ділянці, так і послідовним підключенням електричних контактів 8. Візуалізація режимів кипіння при різних теплових навантаженнях при різних витратах і ступенях сухості здійснювалася за допомогою фотокамери (відеокамери) 12, шляхом знімання процесу кипіння в скляній трубці 15. Тиск та перепад тиску робочого тіла робочого тіла у випарнику вимірювалось перетворювачем тиску M2. З метою вимірювання локальних та середніх по довжині випарника коефіцієнтів тепловіддачі на блоці 11 встановлені три диференціальні термопари, що вимірюють різницю температур між: стінкою трубки та рідкою фазою робочого тіла;

стілкою трубки та паровий фазою робочого тіла; стінкою трубки і температурою по осі трубки. Пройшовши через робочу ділянку холодоагент конденсувався в балоні 17 за рахунок його охолодження рідким азотом.

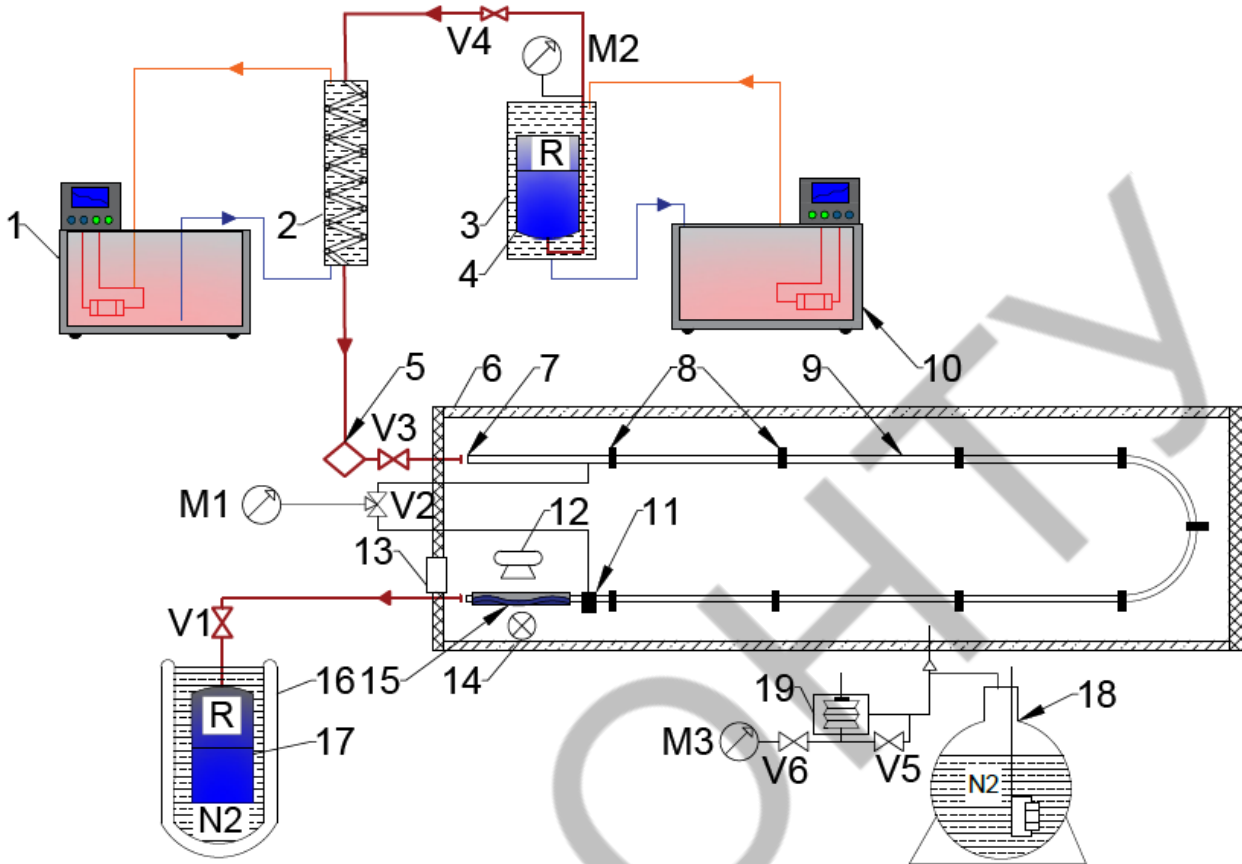


Рис 1- Схема експериментальної установки: 1 – термостат; 2 – конденсатор; 3 - термостатуючий обсяг; 4 - балон із робочим тілом (термокомпресор); 5 – фільтр; 6 - прозора підлога герметичний короб; 7 - електроізоляційний роз'єм; 8 – електричні контакти; 9 – робоча ділянка; 10 – термостат; 11 - блок для встановлення диференціальних термопар; 12- фотокамера; 13 - електровведення; 14 – лампа; 15 – ділянка візуалізації; 16 - судина Дьюара; 17 - збірка холодоагенту; 18 - емність Дьюара; 19 - сифонний регулятор тиску

У створеній установці оператор може спостерігати за процесом кипіння хладагента на ділянці візуалізації через прозорі стінки напівгерметичного короба 6. Уся робоча ділянка ізолювана базальтовою ватою (крім ділянки візуалізації). Для виключення конденсації пар води розчиненої в повітрі, передбачена подача сухого азоту з сосуда Дьюара 18, який витісняє вологе повітря з внутрішньої порожнини напівгерметичного короба. Контроль тиску судини Дьюара контролювався сифонним регулятором тиску 19. Створена експериментальна установка має низку переваг у порівнянні з наявними аналогами. До її переваг можна віднести усунення систематичних похибок вимірювання перепадів температур між стінкою трубки і робочим тілом при різних ступенях сухості у випарнику, висока універсальність при вирішенні завдань вивчення режимів кипіння, вимірювання локальних і середніх по довжині випарника коефіцієнтів тепловіддачі, можливості дослідження гідродинамічних коефіцієнтів тепловіддачі для розчинів холодоагент/масло при фіксованих концентраціях домішок масла у робочому тілі.

## **КАЛОРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНОГО ТЕРМОАКУМУЛЮЮЧОГО МАТЕРІАЛУ ПАРАФІН/ТЕРМОРОЗШИРЕНИЙ ГРАФІТ**

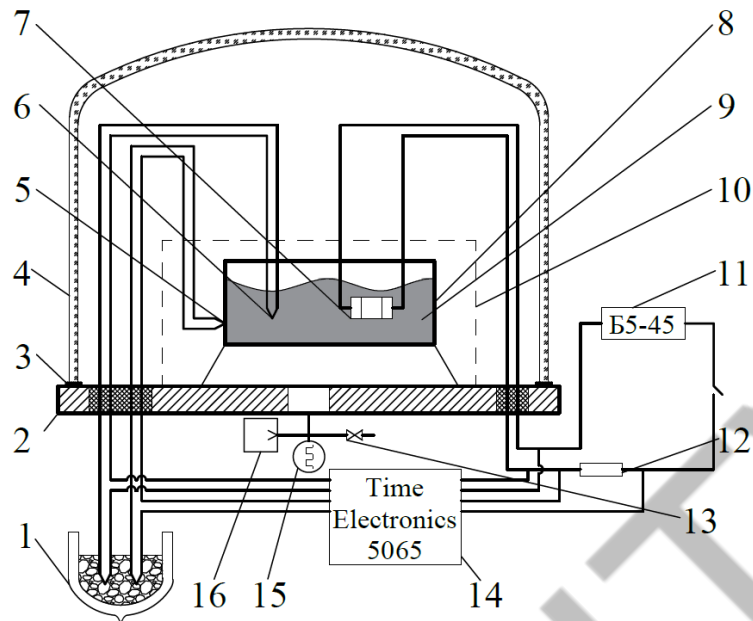
*Асп. Глек Я.О., д.т.н., проф. Железний В.П. ОНАХТ*

Системи зберігання теплової енергії з матеріалами із фазовим переходом привернули значну увагу вчених у останнє десятиліття. Такі системи можуть поглинати або виділяти велику кількість тепла в діапазоні температур за рахунок фазового переходу. Отже, застосування таких систем може допомогти усунути невідповідність між енергією, що надходить у теплоенергетичні системи, та потребою в тепловій енергії у різний час доби. Усунення невідповідності вхідної та вихідної енергії має першорядне значення підвищення коефіцієнта використання відновлюваних джерел енергії.

Системи зберігання теплової енергії на основі парафінів мають великі перспективи для систем опалення та гарячого водопостачання. Однак низька теплопровідність парафіну обмежує його теплові характеристики та обмежує можливості його великомасштабного застосування. Цілям підвищення ефективності термоакумуляторів сприятиме раціональний вибір компонентів композиційних термоакумуляюючих матеріалів (ТАМ) з фазовим переходом на основі технічного парафіну та вуглецевих наноструктур.

Терморозширений графіт (ТРГ) та фулерен  $C_{60}$  є перспективними вуглецевими наноструктурами для підвищення теплопровідності парафіну. Розширений графіт має високу теплопровідність і пористу структуру, що робить його ідеальним кандидатом як компонент для стабілізації форми ТАМ. У той же час використання  $C_{60}$  у складі ТАМ також викликає інтерес, оскільки було показано, що навіть невелика частка  $C_{60}$  значно підвищує теплопровідність парафіну. Крім того,  $C_{60}$  може знаходитися в граничних високомолекулярних вуглеводнях (парафінах) у розчиненому стані одночасно у вигляді малих наночастинок та великих молекул без агрегації та осадження.

Експрес-дослідження впливу різних компонентів ТАМ на калоричні властивості композиційних ТАМ мають велике значення при розробці їх перспективного застосування. У доповіді запропоновано нову конструкцію експериментальної установки для вимірювання калоричних властивостей композиційних ТАМ з фазовим переходом, що відрізняється простою конструкцією, низькою вартістю та можливістю візуального спостереження за досліджуваним зразком. Застосування установки є доречним для оцінки доцільності подальшого вивчення композитних ТАМ. Схема розробленої експериментальної установки представлена рис. 1



*Рис 1. Схема експериментальної установки:*

*1 - сосуд Дьюара з  $t = 0^{\circ}\text{C}$ ; 2 – металева пластина; 3 – вакуумне ущільнення; 4 – вакуумна скляна кришка; 5, 6 – термопары; 7 – електронагрівач; 8 – вимірювальний осередок; 9 – тестовий зразок; 11 – регульоване джерело живлення; 12 – стандартний резистор; 13 – клапан подачі повітря; 14 – мультиметр; 15 – термопарний вакуумний перетворювач; 16 – вакуумний насос*

Застосування вакуумного скляного ковпака дозволяє оператору не тільки візуально спостерігати появу бульбашок газу в досліджуваному зразку при його плавленні, але і фіксувати перегрів твердої фази зразка при підвищенні температури вище температури плавлення. Проведене дослідження показує, що додавання домішок  $\text{C}_{60}$  і розширеного графіту технічно чистий парафін сприяло зниженню ступеня перегріву досліджуваних зразків при реалізованих параметрах експериментального дослідження.

В якості об'єктів дослідження використовувалися: технічний парафін з температурою плавлення  $53.5^{\circ}\text{C}$ , парафін із вмістом  $0.000936\text{ г/г}$  фулерену  $\text{C}_{60}$  та парафін із вмістом  $0.111\text{ г/г}$  терморозширеного графіту (ТРГ).

Аналіз отриманих експериментальних даних є складне завдання з низки причин. По-перше, технічні парафіни є сумішшю вуглеводнів різної молярної маси. По-друге, парафін має неоднорідну твердофазну структуру (різні розміри кристалів та аморфних включень). Крім того, тверда фаза парафіну містить значну кількість розчиненого повітря. Виконані експериментальні дослідження показують, що концентрація розчиненого в парафіні повітря може досягати  $0,24\text{ г/кг}$ . Відмінність у температурах плавлення окремих компонентів технічного парафіну, також як і ендотермічні ефекти в процесі деаерації парафіну при плавленні призводять до появи 2 шумових ефектів (піків і западин) на отриманих температурних залежностях ефективної питомої ізобарної теплоємності, що ускладнює процедуру визначення повної фази. Крім того, варто зазначити, що для визначення параметрів фазового переходу доцільніше використовувати результати експерименту при охолодженні композиційного зразка ТАМ. Це з тим, що у процесі охолодження зразків відсутня вплив основних шумових чинників калориметричного дослідження.

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

Проведені дослідження показують, що значення питомої ефективної ізобарної теплоємності твердої фази парафіну істотно перевищують довідкові значення. Цей ефект пов'язаний як із наявністю фазових переходів компонентів технічних парафінів, і з поглинанням тепла при деаерації парафіну як і твердої фази. При цьому амплітуда та розташування піків та западин на температурних залежностях ефективної теплоємності різні для всіх об'єктів дослідження. Ці ефекти можуть свідчити про те, що  $C_{60}$  та розширений графіт у парафіні по-різному впливають на ступінь модифікації внутрішньої структури парафіну та вміст розчиненого повітря у досліджуваному зразку.

Присутність ТРГ у парафіні сприяє незначному зменшенню температури початку і кінця фазового переходу (0.5...2.0 °С), присутність  $C_{60}$  мало впливає ці параметри. Повна ентальпія фазового переходу для парафін/ТРГ була на 15...21% менше, а для парафін/ $C_{60}$  на 7...16% вище, ніж для парафіну. Присутність ТРГ сприяє зниженню теплоємності рідкої фази парафіну на 10...16%, присутність  $C_{60}$  - збільшенню теплоємності на 7...15%. Отримані ефекти можна пояснити як присутністю самих вуглецевих наноструктур, і зміною структури парафіну.

Отриманий результат дозволяє провести порівняльний аналіз впливу різних вуглецевих наноструктур на калоричні властивості композиційних ТАМ із використанням запропонованої в даній доповіді експериментальної установки.

У роботі показано доцільність подальших досліджень композитних ТАМ на основі парафіну та вуглецевих наноструктур для підтвердження доцільності застосування фулерену  $C_{60}$  та ТРГ у композиційних ТАМ

---

УДК 621.565.4

## **ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ РІШЕНЬ ДЛЯ АМІАЧНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ МОЛОКОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

*Доцент Желіба Ю.О., магістрант ІХКЭ Кашигін Є.О., Рімашевський Ю.С., Науково-інженерне об'єднання Холод, Желіба Т.О., ОНПУ*

Будь-яке підприємство – те, що проектується, чи вже діюче, - має певний потенціал енергоресурсозбереження. Він залежить від значної кількості факторів, відповідно, існує багато засобів підвищення енергетичної та ресурсної ефективності холодильних систем та установок.

Метою дослідницької роботи було визначення детального переліку засобів та заходів, спрямованих на заощадження ресурсів та енергії, що витрачаються для забезпечення роботи холодильної системи чи установки без урахування особливостей технологічних процесів виробництва. Для кожного заходу, що розглядався, проведено орієнтовне оцінювання потенційної економії та можливість а доцільність його застосування в системах холодопостачання молокопереробної промисловості. У разі багатоваріантних технічних рішень конкретної задачі критерієм вибору були мінімальні приведені витрати.

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

Заходи з енергоресурсозбереження були розділені на організаційні та технічні. Технічні заходи, в свою чергу, ділились на такі, що покращують характеристики термодинамічних циклів холодильних систем, і такі, що підвищують ефективність окремих її складових.

У цьому дослідженні зроблено порівняльний розрахунок холодильної системи, що не використовує жодних додаткових засобів енергозбереження (традиційне звичне схемне рішення) і холодильної системи, що використовує низку засобів та технологій енергозбереження, визнаних доцільними для холодильних установок молокопереробних підприємств.

Дослідження були проведені для конкретно обраного об'єкта – молокопереробного підприємства потужністю 200 тонн переробки молочної сировини за зміну.

У підсумку на підставі проведених технічних та технологічних розрахунків та результатів моделювання отримані такі практично значущі висновки:

1. Найбільш ефективними заходами з енергозбереження є використання двигунів зі змінною частотою обертання, правильний підбір компресорного обладнання, оптимізація температурного режиму роботи системи з урахуванням градації холодильного обладнання та необхідної потужності.

2. Найменш затратними заходами з енергозбереження є своєчасне видалення води і повітря з системи, правильне налаштування автоматизованого процесу відтаювання приладів охолодження, тобто експлуатаційні чинники.

3. Найбільш ефективними заходами з ресурсозбереження є використання вторинних енергоресурсів (теплоти охолодження мастила, теплоти перегрітої пари, теплоти конденсації) холодильної системи для зменшення витрат природного газу (енергії) на підігрів води на підприємстві для технологічних та комерційних цілей.

---

## **ЕНЕРГОМОДЕЛЮВАННЯ, ЯК ВАЖЛИВА СКЛАДОВА ПІД ЧАС ЕКОЕФЕКТИВНОГО ПРОЕКТУВАННЯ**

*Р.В. Грищенко, канд. тех. наук, доц. каф. ТЕХТ, ННІТІ, НУХТ, м. Київ,  
М.О. Кривошеєв, BREEAM Assessor, Edge expert, МК Sustainable Eng., м. Київ,  
А.В. Форсюк, канд. тех. наук, проф. каф. ТЕХТ, ННІТІ, НУХТ, м. Київ  
В.С. Калита, студ. каф. ТЕХТ, ННІТІ, НУХТ, м. Київ*

*«It doesn't necessarily cost more,  
Sometimes it costs a lot less.»  
David Callan, PE,  
Syska's national director of sustainable design*

Сучасна тенденція екологізації не тільки охоплює питання забезпечення повсякденного життя людини, але також має значний вплив на політику розвитку будівельної та енергетичної галузей, та підприємств.

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

«Зелене» будівництво — це комплекс заходів в проектуванні, будівництві та експлуатації, що зменшує або усуває негативний і може створювати позитивний вплив на наш клімат і навколишнє середовище. Зелені будівлі зберігають дорогоцінні природні ресурси та покращують якість нашого життя. Ефективне використання енергії, води та інших ресурсів, використання відновлюваної енергії (наприклад, сонячної енергії), використання нетоксичних, етичних і екологічно чистих матеріалів, можливість повторного використання та переробки, якість повітря в приміщенні, зменшення використання ОРР (використання природних холодоагентів), врахування особливостей навколишнього середовища при проектуванні, будівництві та експлуатації, всі ці заходи є визнаною основою для опису екологічних характеристик будівель, а також екоефективного проектування.

Частково завдяки програмам оцінки відповідності та кодексам зеленого будівництва (BREEAM, LEED, Edge, GreenShip, Green Building Index, Green Key Global, GreenSL, GRESB, HQE, ICP, і т.д.), енергетичне моделювання будівлі, що проектується, стало більш поширеним протягом останніх двох десятиліть.

Основними факторами, що визначають стабільну «продуктивність» будівлі, є кількість енергії, яку вона споживає, і кількість цієї енергії з відновлюваних джерел. Архітектори довго поклалися на інженерів для виконання складних оцінок споживання енергії та вибору механічних систем. Ця залежність тепер перетворюється на співпрацю, оскільки інженерів запрошують на ранні етапи проектування – стадія концепції, та навіть стадія формулювання вимог до будівлі, щоб допомогти команді прийняти рішення. Багато тематичних досліджень показують, як робота інженерів із енергомоделювання (Computer-aided engineering) впливає на ці рішення.

Програмне забезпечення для моделювання (наприклад британський програмний комплекс IES VE) надає детальне уявлення про динамічні теплові характеристики будівлі, що дає змогу інженерам обрати та розмістити обладнання, яке є «розумнішим», компактним і часто менш дорогим. Наприклад, холодні, але ясні зимові дні можуть забезпечити будівлю надзвичайно великою кількістю сонячної радіації. Виникають пікові навантаження на охолодження під час максимального світлового дня, що може замінити частину або все електричне навантаження на освітлення. Економайзери можуть використовувати відносно прохолодне зовнішнє повітря замість деякого механічного охолодження. Розгляд усіх цих факторів та їх складних взаємодій відоме як «whole-building simulation». Оптимізація продуктивності будівлі призводить до значної економії коштів та сприяє зменшенню CO<sub>2</sub> сліду будівлі.

Програмний комплекс IES VE йде ще далі, дозволяє розрахувати викиди вуглецю та забезпечити обчислювальний гідродинамічний (CFD) аналіз повітряного потоку між тепловими зонами. Більшість програмного забезпечення для моделювання енергії підтримує порівняння споживання енергії між різними сценаріями, щоб остаточно допомогти у виборі найбільш оптимального варіанту дизайну та технічних компонентів будівлі.

Важливо зазначити, що жодне моделювання не є ідеальним відображенням реальності, і будь-який прогноз спирається на припущення щодо умов, які впливатимуть на експлуатацію будівлі. Вихідні результати цих програм корисні для оцінки варіантів проектування, але їх здатність передбачати фактичне використання енергії обмежена і має бути закріплена здоровим глуздом, професійним досвідом інженерів та фактичними даними.

Підсумовуючи вище написане, можна зробити висновок, що наявність сучасних програмних комплексів з енергомоделювання дозволяє по новому підійти до екоефективного проектування і повинен застосовуватись на ранніх етапах проектування будівель будь-якого призначення.



## **ВПЛИВ СХЕМНОГО РІШЕННЯ ТЕПЛООВОГО НАСОСУ ТИПУ «ВОДА-ВОДА» НА ЙОГО ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ**

*О.Ю. Пилипенко, канд. тех. наук, доц. каф. ТЕХТ, ННІТІ, НУХТ, м. Київ, [alex.1@i.ua](mailto:alex.1@i.ua)*

*Д.М. Степаніщев, студ. каф. ТЕХТ, ННІТІ, НУХТ, м. Київ*

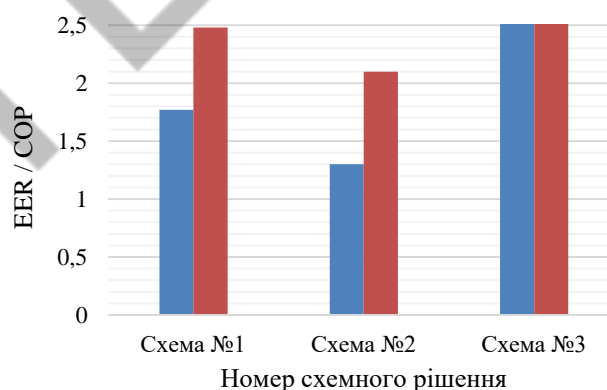
Теплові насоси типу «вода-вода» розроблені за класичної схемою мають прийнятні енергетичні показники. Проте, значна витрата води зі свердловини обмежує можливості використання такого насосу. Видається можливим підвищити енергетичну ефективність теплового насосу типу «вода-вода» за рахунок використання регенеративних теплообмінників різного призначення, а також зменшити витрату джерельної води.

Перед усім виконано широкий аналітичний огляд літературних джерел. Розроблено три принципові схеми водо-водяних теплових насосів (ТН) та виконано теплові розрахунки цих схем за умови їх роботи на холодильних агентах R22, R134a, R290, R507a. Проведено математичне моделювання та аналіз зміни витрати води зі свердловини за різних режимних параметрів роботи ТН.

До розрахунку були прийняті такі схеми водо-водяних ТН: класична, з регенеративним теплообмінником типу «хладон-хладон» (внутрішньо циклова регенерація), з регенеративним теплообмінником типу «теплоносій-хладон» (зовнішньо циклова регенерація). Також розрахунок кожної схеми виконано на такі холодильні агенти як:

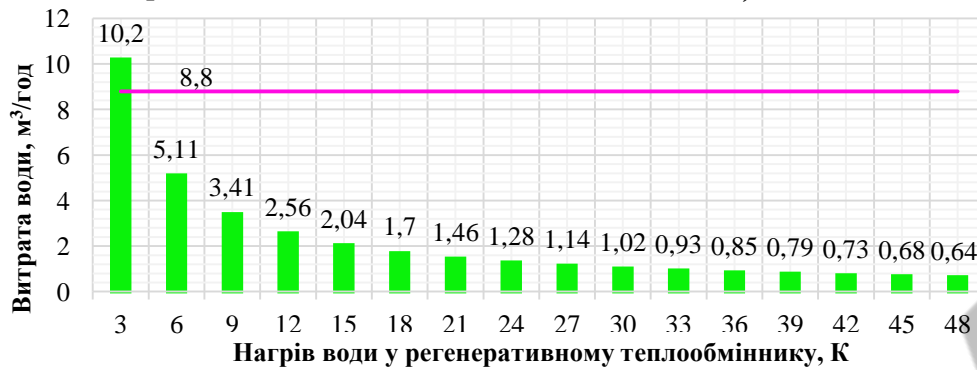
Аналітичне дослідження проведені за вихідних даних: тепла потужність 150 кВт, температура джерельної води 12 °С, температура води що повертається до свердловини 2 °С, температура теплоносія на зворотному та подавальному патрубках – 50 °С та 55 °С відповідно, температура кипіння 0 °С, температура конденсації 60 °С.

Аналіз результатів теплових розрахунків циклів рис. 1 показав, що використання регенеративного теплообмінника типу «хладон-хладон» не призводить до збільшення енергетичної ефективності ТН у порівнянні з класичною схемою. Використання зовнішньо циклова регенерація незначно підвищує енергетичну ефективність ТН лише за рахунок зменшення споживання електроенергії насосом що подає воду зі свердловини.



*Рис. 1 – Зміна EER та COP схем ТН працюючих на хладоні R290*

Принципова схема №1 (класична) за вказаних вихідних параметрів має витрату води зі свердловини 8,8м<sup>3</sup>/год, що прийнято за базову лінію на рис. 2.



*Рис. 2 – Залежність витрати джерельної води від нагріву у теплообміннику*

Регенеративний теплообмінник у схемі №3 нагріває джерельну воду перед її надходженням до випарника за рахунок переохолодження рідкого фреону після конденсатору.

Інтенсивна динаміка зменшення необхідної витрати джерельної води спостерігається до її нагріву у регенеративному теплообміннику до  $\Delta t=27\div 33$  К. Надалі збільшувати нагрів не доцільно, оскільки кожні наступні 3 К заощаджують менше 0,1 м<sup>3</sup>/год витрати, а площа необхідного для такого нагріву теплообмінника значно зростає.

Ускладнення схеми водо-водяного ТН призводить до незначного зростання COP, що обумовлено зменшенням споживання джерельної води. Проте використання регенеративного теплообмінника типу «теплоносій-хладон» є доцільним лише за нагріву води від 6 К до 24 К.

**УДК 536.248.2**

## **ПРО ДЕЯКІ НАПРЯМКИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ ТРУБ**

*Воїнов О.П., професор, Коновалов Д.В., професор, Самохвалов В.С., доцент,  
ХННІ НУК ім. адмірала Макарова, Херсон, dimitriyko79@gmail.com*

В останні десятиліття зростання світового валового внутрішнього продукту досягається за рахунок виснаження природних ресурсів, які складають природний капітал. Різке загострення екологічної проблеми потребує зміни ставлення людини до природи. Висунуті останнім часом глобальні екологічні ініціативи сприяють збереженню та збільшенню природного капіталу шляхом узгодження промислової та екологічної політики, технологічного переозброєння виробництва. Необхідними є рішення щодо розвитку виробництва, які повинні сприяти зменшенню шкоди, яку воно завдає природному середовищу, при цьому природоохоронні рішення повинні сприяти розвитку виробництва.

Для цього потрібні безпечні для природи промислові технології, які забезпечували б задоволення потреб суспільства, але при цьому не виснажували природні ресурси, не руйнували навколишнє середовище.

Одним із таких напрямків є широкий розвиток технології передачі теплоти від однієї точки до іншої за принципом замкненого випарно-конденсаційного циклу теплоносія у порожнині теплової труби.

Як відомо, у тепловій трубі відбувається перенесення теплоти пароутворення за допомогою випаровування рідини в зоні надходження теплоти та конденсації пари в області тепловідведення.

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

Теплові труби набули широкого поширення при будівництві каналів ефективного теплообміну, при необхідності поділу джерела теплоти та її споживача, в системах опалення будинків, у технологічних схемах охолодження компонентів сучасних комп'ютерів (процесорів, відеокарт), лазерних та світлодіодних матриць, приладів силової електроніки, космічної. електроніки, електричних машин та ін.

До основних переваг теплових труб перед традиційними елементами теплопередаючих систем відносяться такі: простота та компактність конструкції, висока відмовостійкість; відсутність рухливих деталей та безшумність роботи; вигідні масогабаритні характеристики; відсутність витрат енергії на переміщення теплоносія; висока надійність роботи та довговічність; висока еквівалентна теплопровідність.

Параметрами теплової труби можна керувати, змінюючи в ній тиск, що дає можливість здійснювати перехід теплоносія з однієї фази в іншу в температурному режимі. Перспективним є застосування теплових труб шляхом розробки на їх основі ресурсозберігаючих систем, зокрема геліосистем.

В деяких конструкціях сонячних колекторів можуть використовуватись теплові труби. Їх застосування дає можливість знизити гідравлічний опір контуру робочої рідини в сонячному колекторі більше ніж у два рази та забезпечити модульність конструкції та простоту складання.

Сонячні колектори на основі алюмінієвих теплових труб доцільно використовувати в сонячних енергетичних установках для самостійного гарячого водопостачання та забезпечення електрикою в сезонний період, а також можливе і доцільне використання в сонячних енергетичних установках впродовж року з метою попереднього підігріву води для традиційних систем гарячого водопостачання будинків і систем нагріву води в басейнах [1]. Теплові труби як теплоприймаючі і теплопередаючі елементи акумуляційних сонячних енергетичних систем ліквідують недоліки традиційних сонячних водонагрівальних установок.

Теплосприймаюча поверхня сонячних колекторів з тепловими трубами є ізотермічною; в них відсутня нерівномірність течії рідини; вони мають низькі термічний та гідравлічний опір.

Теплові труби можуть бути використані як пасивний елемент сонячного колектору та служити для ефективної передачі адсорбованого сонячного теплового потоку до теплоносія контуру геліосистеми.

Використання теплових труб дозволяє створювати модульні конструкції геліосистем різного виду та форми. Це значно полегшує застосування не тільки автономних сонячних колекторів, наприклад, на дахах, але й геліосистем на фасадах будівель, а також використовувати теплові труби безпосередньо як частини будівельних конструкцій. Крім того, при модернізації сонячних колекторів з тепловими трубами у складі геліосистеми або їх ремонті немає необхідності видалення теплоносія з контуру геліосистеми і можна робити ці операції без її зупинки та переадресування.

Фасадні сонячні колектори на основі теплових труб підходять для встановлення на стінах підприємств роздрібною торгівлі, промислових, складських та логістичних будівель. Високу надійність та ефективність теплового режиму фотоелементів забезпечує використання теплових труб у сонячних фотоелектричних системах з концентрацією сонячної енергії [2].

При побудові теплообмінників для утилізації теплоти викидних газів котлів та систем

вентиляції і кондиціонування актуальною є задача зменшити їх габарити, гідравлічний опір та забезпечити відсутність перетікання потоків газів з одного каналу до іншого. У такому випадку можуть також успішно використовуватись, як теплопередаючий елемент, теплові труби [3].

Теплові труби перспективно використовувати також в системах забезпечення теплових режимів радіо-електронної апаратури в наступних випадках:

- якщо джерело теплоти (електронний елемент або група електронних елементів) знаходиться на відстані від місця, де необхідно забезпечити відведення тепла;
- необхідно підвищити компактність і знизити масо-енергетичні характеристики системи забезпечення теплового режиму і всього виробу.

При використанні теплових труб в системах, що можуть змінювати свою орієнтацію в просторі, наприклад, в системах морського призначення чи радіолокаційних станціях, необхідно опрацьовувати більш складну конструкцію теплових труб чи системи на її основі. В системах забезпечення теплових режимів силової електроніки теплові труби можуть успішно використовуватись як елемент радіатора і виконувати роль засобу для збільшення площини поверхні для тепловідводу.

Вкрай актуальним сьогодні є використання теплових труб в системах забезпечення теплового режиму комп'ютерної техніки, а саме в системі повітряного охолодження на основі теплових труб для теплонавантажених елементів персонального комп'ютера [4].

Ще одним актуальним напрямком застосування теплових труб є системи охолодження складних електронно-обчислювальних і радіотехнічних приладів як стаціонарного використання, так і рухомих об'єктів, наприклад, для морської та авіаційної техніки.

Одним з важливих напрямків також є розробка та застосування системи охолодження світлодіодних освітлювальних приладів з використанням теплових труб [5].

#### **Список інформаційних джерел**

1. С.М. Хайрмасов. Використання теплових труб в сонячних енергетичних системах: системи з концентрацією сонячної енергії, сонячні стіни, сонячні плити / Відновлювана енергетика, 2015, № 4.- С. 28-35.
2. Гибридная солнечная система кровли с тепловыми трубками (Електронний ресурс), 2015 .- URL: <https://facepla.net/the-news/energy-news-mnu/5216-гибридная-солнечная-система.html>
3. Дан П.Д., Рей Д.А. Тепловые трубы. – М.: Энергия, 1979.- 272с.
4. Ніколаєнко Ю.Є. Засоби забезпечення теплових режимів на основі теплових труб для пристроїв обчислювальної техніки та керування [Текст] : автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.14.06 / Ніколаєнко Ю.Є. ; НАН України, Ін-т техн. теплофізики. - К., 2009. - 36 с.
5. Д.В. Пекур, Ю.Є. Ніколаєнко, В.М. Сорокін Нова конструкція світлодіодного світильника з тепловими трубами / Технологія та конструювання в електронній апаратурі, 2019, № 5—6.- С.34-42



## **DEVELOPMENT OF THE MARINE ENGINE CONTACT COOLING SYSTEM BY USING A THERMOPRESSOR**

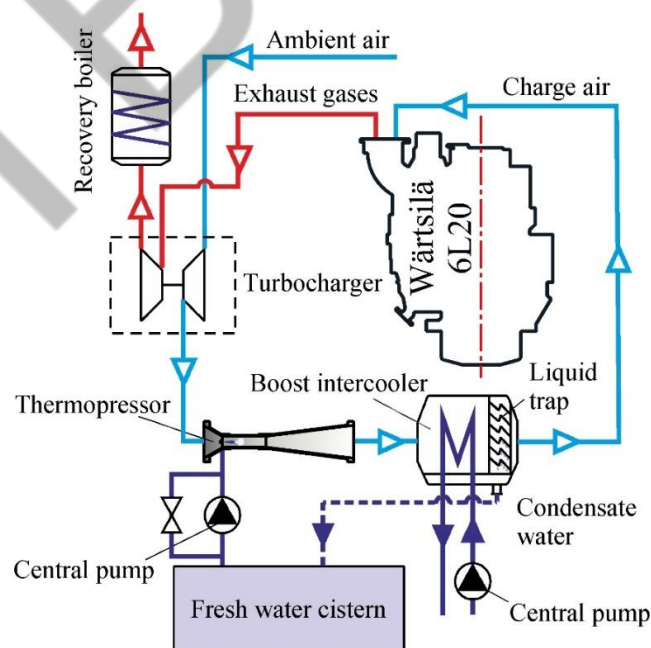
*Dmytro Sydorenko, Student, Illia Nadtochii, Student*

*Halina Kobalava, Associate Professor of the Thermal Engineering Department, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson Educational-Scientific Institute, Ukraine*

There are many areas for further improvement of internal combustion engines in order to increase their efficiency, despite the high economic parameters, which are the result of a fairly high organization of the working processes of modern engines [1]. In this case, a rational reserve for increasing efficiency is to improve systems serving the internal combustion engine, for example, the charge air cooling system improving. Today, there are several approaches to charge air cooling, on the one hand it is the use of surface air coolers. The heat exchange surface of such air coolers is a tubular-lamellar or tubular-finned structure. On the other hand, it can be applying of the contact cooling method: the forced air enters the humidification tower, in which water is injected by several nozzles to lower the air temperature and humidify it [2].

The authors propose to use thermopressor systems for charge air cooling. The effect of thermo-gas-dynamic compression occurs when the air is cooled in the thermopressor [3, 4]. This effect consists in increasing the gas pressure in the process of instantaneous evaporation of water injected into the air flow, which is accelerated to a speed close to sonic. At the same time, heat from the charge air is removed for water evaporation, as a result of which the air temperature decreases [5]. The thermopressor is a compact jet device, which in terms of dimensions significantly outperforms other surface and contact type coolers, in addition, provides a certain pressure increase [4].

For modern marine medium-speed engines, as a rule, a three-circuit cooling system is used. A diagram using a thermopressor as a charge air cooler for the main turbocharger is illustrated in Fig. 1.



*Fig. 1. Cooling system of a medium-speed main marine engine using a thermopressor*

Air is sucked in by a single-stage turbocharger and compressed to a pressure less than the pressure at the inlet to the internal combustion engine cylinders. After that, the air with high temperature and pressure enters for evaporative cooling in the thermopressor. At the same time, due to the effect of thermo-gas-dynamic compression, the air temperature is significantly reduced, and the pressure rises to the required value corresponding to the engine inlet. The final temperature reduction is carried out in the charge air cooler.

The calculation of the thermopressor system was made for the main ship's marine engine of Wärtsilä (Finland) brand 6L20 ( $N_e = 1200 \text{ kW}$ ,  $n = 1000 \text{ min}^{-1}$ ).

An analysis of the study results of the use of a thermopressor in charge air cooling systems (Fig. 2, 3) shows that the total air pressure at the "real" thermopressor outlet is  $P_{tp} = 2.2 \dots 4.4 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ , and the total air pressure without friction losses is  $P'_{tp} = 2.3 \dots 4.6 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  at a water temperature for injection at the inlet of the thermopressor  $t_{w1} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ , at the air velocity at the inlet to the evaporation chamber  $M = 0.85$ . The air temperature at the thermopressor inlet is  $t_{air1} = 106 \dots 196 \text{ }^\circ\text{C}$ , the air temperature at the thermopressor outlet is  $t_{air2} = 50 \dots 65 \text{ }^\circ\text{C}$ .

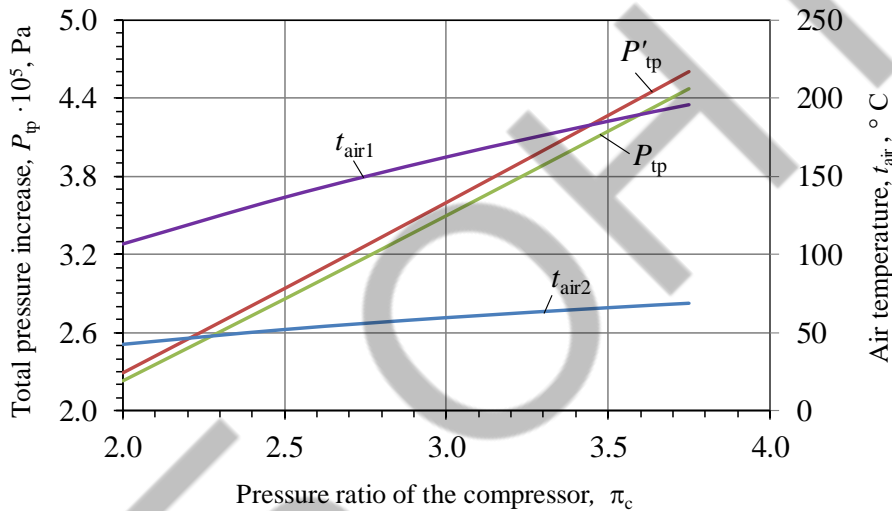


Fig. 2. Dependences of the total air pressure at the thermopressor outlet without friction losses  $P'_{tp}$ , the total air pressure at the "real" thermopressor outlet  $P_{tp}$ , air temperature  $t_{air}$  on the pressure ratio in the turbocharger  $\pi_c$

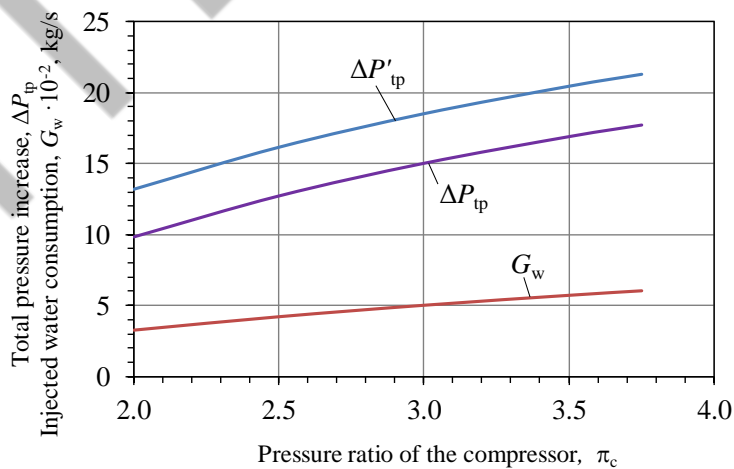
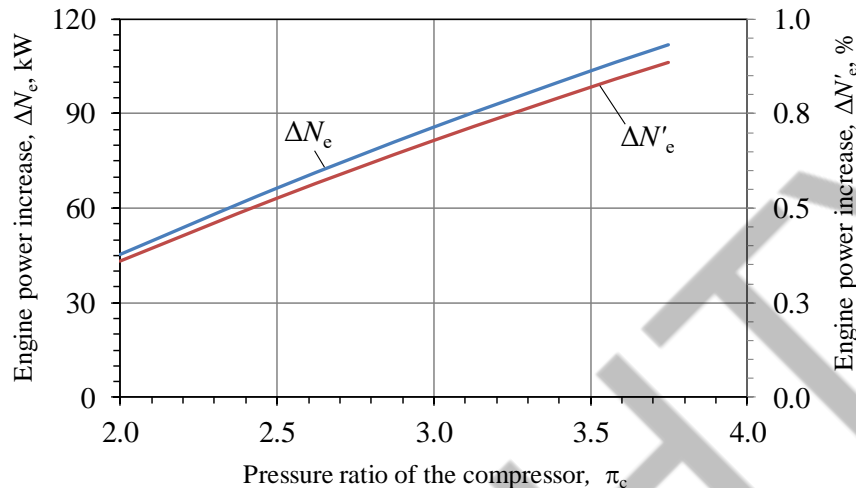


Fig. 3. Dependences of the air pressure increase at the thermopressor outlet without friction losses  $\Delta P'_{tp}$ , the air pressure increase at the "real" thermopressor outlet  $\Delta P_{tp}$ , injected water consumption  $G_w$  on the pressure ratio in the turbocharger  $\pi_c$

Cooling of the charge air with a thermopressor reduces the power consumed by the supercharged compressor and, accordingly, the power of the internal combustion engine increases. Thus, the engine power increased by  $\Delta N_e = 38 \dots 109$  kW (0.4...1.0%) for the air velocity at the inlet to the evaporation chamber  $M = 0.85$  (Fig. 4).



*Fig. 4. Dependence of the engine power increase  $\Delta N_e$ ,  $\Delta N'_e$  at the injected water temperature  $t_{w1} = 25$  °C on the pressure ratio in the turbocharger  $\pi_c$*

Thus, the use of a thermopressor in charge air cooling systems makes it possible to reduce the power consumed by compressors by 1–17%, thereby increasing the power of the internal combustion engine up to 1%.

#### **Conclusion.**

The principle of cooling the charge air of the internal combustion engine with a simultaneous increase in pressure is proposed, which makes it possible to reduce the power consumption of the standard turbocharger while maintaining the total compression ratio.

For the purpose of contact cooling of the charge air as well as environmental humidification of the charge air at the inlet to the ICE cylinders (in order to reduce the emission of nitrogen oxides  $\text{NO}_x$ ), a method of fine water spraying in the charge air by a thermopressor is proposed. This technology makes it possible to eliminate the need for complex water spray systems with nozzles located throughout the entire flow section.

The use of a thermopressor in charge air cooling systems makes it possible to reduce the power consumed by compressors by 1–17%, thereby increasing the power of the internal combustion engine up to 1%.

#### **References**

1. Steffens D. (2003). The diesel engine and the environment. Cole Engineering Conference Proceedings. Houston, Texas.
2. Iyer A. A., Rane I. P., Upasani K. S., Bhosale Y. P. & Gawande S. H. (2017). Experimental Study on the Effect of Water Injection in an Internal Combustion Engine. International Review of Mechanical Engineering, No. 11(6), 379-386.
3. Kobalava H., Konovalov, D., Radchenko, R., Forduy, S., & Maksymov, V. (2021). Numerical Simulation of an Aerothermopressor with Incomplete Evaporation for Intercooling of the Gas Turbine Engine. Kobalava H. Integrated Computer Technologies

4. Konovalov D., Radchenko M., Kobalava H., Radchenko A., Radchenko R., Kornienko V., & Maksymov V. (2021). Research of characteristics of the flow part of an aerothermopressor for gas turbine intercooling air. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy. doi:10.1177/09576509211057952.
5. Shi X., Jiang G., Gao J. (2019). Heat transfer comparison investigation of mist/steam two-phase flow and steam in a square smooth channel. Proc. IMechE, Part A: J Power and Energy, 233(7), pp. 877–889.

УДК 621.181. 62:620.193.519.8

## КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

*Корнієнко В.С., доцент кафедри теплотехніки,  
Херсонська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Херсон,  
[kornienkovika1987@gmail.com](mailto:kornienkovika1987@gmail.com)*

Необхідність виконання усіх вимог міжнародних організацій в області охорони навколишнього середовища, необхідність зменшення теплових втрат при спалюванні органічних палив, вартість яких зростає, підвищення економічності і надійності роботи усіх елементів суднової енергетичної установки зумовлюють необхідність розгляду всіх можливостей виконання вказаних задач у запропонованій комплексній технології. Ця технологія включає етапи: підготовка палива до спалювання, процес горіння, процеси тепломасообміну, зниження швидкості низькотемпературної сірчаноокислотної корозії (НТК), очищення газів від токсичних інгредієнтів. Це вимагає відповідної організації фізико-хімічних процесів, які забезпечать можливість виконання цих задач.

Відомі способи очищення відхідних газів від токсичних сірчистих сполук [1]. На думку спеціалістів фірми MAN [2] вимоги ІМО (ІІІ рівень з емісії SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>) можливо виконати за допомогою технологій: Water in Fuel emulsion, Scavenge Air Moistening, Exhaust Gas Recirculation, Selective Catalytic Reduction. В гібридній системі очищення Alfa Laval і Aalborg Industries [3] першою стадією очищення вважається утилізаційний котел (УК), в якому вихлопні гази охолоджуються від 350 °С до 160...180 °С і має місце забруднення поверхонь УК, що може розглядатися як етап очищення від твердих часток. На другій стадії очищення за рахунок використання скрубера Вентурі при впорскуванні води продовжується зниження температури вихлопних газів і очищення від твердих часток за рахунок їх зволоження. В системі очищення селективного каталітичного відновлення (СКВ або SCR) [4] здійснюється тільки очищення від NO<sub>x</sub> за допомогою дорогих каталізаторів і введення в якості відновлювача розчину сечовини і аміаку. Систему SCR (поглинання тільки NO<sub>x</sub> з відхідних газів) обов'язково треба супроводжувати скрубєрною технологією очищення від SO<sub>x</sub>.

До радикальних і достатньо простих способів зниження сірчистих сполук належить очищення відхідних газів за допомогою скрубєрних технологій, де оксиди сірки, азоту,  $\text{CO}_2$  та зважені частки з газового потоку поглинаються морською водою.

В основу технології поставлено задачі: 1) збільшення глибини очищення димових газів від токсичних речовин; 2) інтенсифікація абсорбції  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  водою; 3) підвищення абсорбційної активності димових газів по відношенню до  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ; 4) зменшення викидів твердих зольних і сажових часток в результаті горіння; 5) зниження інтенсивності НТК; 6) зменшення втрат теплоти з відхідними газами за рахунок встановлення конденсаційних поверхонь нагріву (КПН) на виході газів з УК.

Можливість вирішення поставлених задач у запропонованій технології забезпечується спалюванням водопаливних емульсій (ВПЕ) з конкретно рекомендованим значенням водовмісту ( $W^r=30\%$ ), бо такий склад ВПЕ суттєво впливає не тільки на проходження теплових і фізико-хімічних процесів по всьому тракту паливоспалюючих агрегатів (починаючи із зони горіння і до зрізу димової труби), а й спрямовує їх у необхідному напрямку.

Для виконання поставлених задач в технології запропонованого способу для забезпечення вирішення задач з підвищення економічної ефективності, покращення екологічних показників і надійності, передбачається 5 етапів технологічного процесу:

1) спалювання ВПЕ відповідної якості з водовмістом біля  $W^r=30\%$  призводить до створення еквімолярного або близького до нього співвідношення  $\text{NO}_2 : \text{NO}$  в димових газах на виході із зони горіння (що підтверджено патентом [5] і забезпечує зниження НТК), а також зниження емісії  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ;

2) встановлення КПН, на поверхні яких створені умови пасивації металу і різкого зниження інтенсивності НТК, а також умови зі сторони газів і в конденсаті для інтенсифікації абсорбції  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ;

3) продовження інтенсифікації абсорбції на конденсаційних поверхнях газоходів до скрубєрної частини (при забезпеченні умов надійної роботи їх металу) або підтримання температури металу цих газоходів вище температури точки роси (ТТР)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  без абсорбції  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , але при забезпеченні надійності роботи (при низькому рівні НТК);

4) застосування скрубєрних технологій із застосуванням процесів активізації абсорбції  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  (різні варіанти);

5) захист металу газоходів після скрубєрної частини.

На всіх вище вказаних етапах створюються умови не тільки для проходження процесів, що забезпечують виконання задач етапу, а і забезпечуються необхідні умови для відповідного проходження фізико-хімічних процесів на наступному етапі.

Для виконання задачі активізації абсорбційних властивостей димових газів необхідно забезпечити еквімолярне (або близьке до нього) співвідношення  $\text{NO}_2 : \text{NO}$  в газах. Як показали наші наукові дослідження, таке співвідношення (або близьке до нього) природно створюється в кінці зони горіння ВПЕ з водовмістом біля  $W^r=30\%$  внаслідок впливу інтенсивної турбулентності, що створюється при мікробибухах крапель ВПЕ в зоні активного горіння. При цих умовах проходить пасивація поверхні металу з температурою нижче ТТР  $\text{H}_2\text{SO}_4$  і тому з'являється можливість суттєвого зниження НТК конденсаційної поверхні, що підтверджується отриманим патентом [6]. Це дає можливість встановити на

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

виході з УК після двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) КПН з температурою поверхні нижче ТТР пари сірчаної кислоти (температура стінки  $t_{ст}$  може підтримуватись в діапазоні 130...70 °С). Внаслідок цього вся поверхня, наприклад, економайзера є конденсаційною, вкритою шаром мокрих (від конденсату кислоти) забруднень. Причому концентрація сірчаної кислоти в цьому діапазоні  $t_{ст}$  також природно (внаслідок відповідного проходження фізико-хімічних процесів) встановлюється на рівні 57 %, при якому спостерігається максимум абсорбції  $SO_2$ .

На інтенсивність абсорбційних процесів в конденсаті на КПН в котлах і газоходах впливає наявність забруднень на цих поверхнях. В зволоженому кислотою шарі забруднень буде проходити додатково процес адсорбції пари і вологи осідаючими на КПН коксовими і сажовими частками. Тому важливо, як розвиваються процеси забруднень поверхонь нагріву і газоходів при спалюванні ВПЕ. В шарі зволжених кислотою забруднень відбувається активізація процесу абсорбції  $NO_x$  і особливо  $SO_2$  розчином сірчаної кислоти, що мається в забрудненнях. Крім того має місце адсорбція цих газів зольними і особливо сажовими пористими частками.

Забезпечення процесу абсорбції оксидів  $NO_x$ ,  $SO_2$  і  $CO_2$  конденсатом сірчаної кислоти на КПН котлів розглядається як другий етап очищення відхідних газів від токсичних інгредієнтів. Після КПН, що встановлена на виході з УК, димові гази потрапляють в газохід. Після КПН концентрація пари кислоти в газах стане нижче і відповідно знизиться її ТТР  $H_2SO_4$ , що полегшує захист металу газоходу після КПН.

Важливим для здійснення наступних етапів очищення димових газів, оцінки їх корозійного впливу на метал газоходів пари  $H_2SO_4$  і  $H_2O$  є те, що в ході фізико-хімічних процесів в шарі конденсату і забруднень, що мають на КПН, знижується не тільки концентрація  $NO_x$  і, що важливо, збільшується вміст в них  $NO_2$ , що забезпечує еквімолярне співвідношення  $NO : NO_2$  в потоці газів після КПН котла. Значить з'являється можливість при наявності конденсату  $H_2SO_4$  на внутрішній металевій поверхні газоходу забезпечити пасивацію поверхні металу газоходу при подальшому процесі очищення димових газів від  $NO_x$ ,  $SO_2$  по тому ж механізму, що і в попередній КПН на виході з котла. Таким чином, вказані процеси забезпечують третій етап очищення димових газів.

Щоб забезпечити кінцеве очищення димових газів від  $NO_x$  і  $SO_2$  до рівня, що запланований нормативними документами ІМО на 2016 рік, необхідне використання скрубєрних технологій. З метою очищення відхідних газів за допомогою скрубєрних технологій після виходу газів із УК після ГД встановлюється на газоході скрубєрна установка - мокрий скрубєр послідовного очищення газів ГД від  $SO_2$ ,  $NO_x$  та  $CO_2$  при спалюванні високосірчистих палив (четвертий етап).

У випадку спалювання ВПЕ на основі високосірчистого мазуту, коли створюється найбільша кількість  $SO_2$ ,  $NO_x$ , рекомендується встановлення скрубєра з насадкою, яку можливо і необхідно виконати із некорозійного матеріалу (кераміка, кислотостійка пластмаса). Насадка зрошується тим же розчином католіту, що активована в кавітаторі для інтенсифікації процесу абсорбції. Температура цього католіту повинна бути на рівні температури забортної води – обов'язково нижче ТТР водяної пари, що знаходиться в димових газах (при спалюванні ВПЕ з  $W^r=30\%$  її значення знаходиться на рівні 48-50 °С в залежності від водовмісту емульсії). В цьому випадку буде забезпечена конденсація водяної пари газів, що буде супроводжуватися виділенням великої кількості теплоти. Внаслідок цього вода на виході із насадки після перемішування з потоком газів підігріється до 80-90 °С

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

(рівень температури забезпечується регулюванням витрати католіту на зрошення насадки при забезпеченні необхідного рівня абсорбції  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ).

Внаслідок суттєвого зниження температури (нижче  $50\text{ }^\circ\text{C}$ ) вихлопних газів в скруберах після ДВЗ (ГТД) і котла, в яких є пара води з кислотними властивостями, що відповідає кількості водяної пари, можливо при цих умовах їх конденсація на внутрішній поверхні газоходів після скрубєрів. Так як температура газів близька до ТТР водяної пари, то внаслідок конденсації цієї пари (хоча їх кількість суттєво знизиться після конденсації в скрубєрі) погіршаться умови роботи металу вихідної частини газоходів і димових труб. Тому необхідно застосувати підсушку вологих вихлопних газів (п'ятий етап). Підсушка вологих газів після скрубєра проводиться за рахунок установки підсушника (повітропідігрівача). У трубках цих плівкових теплообмінників рухається плівка розчину, а впоперек трубок зовні – повітря.

Проведені експериментальні дослідження показали, що  $1\text{ м}^2$  КПН абсорбує  $3,4\text{ мг/м}^3$   $\text{NO}_x$  та  $0,89\text{ мг/м}^3$   $\text{SO}_2$ , що дає можливість в залежності від величини КПН знизити концентрацію  $\text{NO}_x$  в 1,55 рази та  $\text{SO}_2$  - в 1,5 рази. При цьому важливо, що додатково має місце процес осадження токсичних твердих зольних і сажових часток: з  $150\dots170\text{ мг/м}^3$  (на виході з топки при спалюванні ВПЕ з  $W^r=30\%$ ) до  $50\dots60\text{ мг/м}^3$  після КПН.

**Висновки.** При спалюванні ВПЕ з водовмістом 30 % знижується інтенсивність НТК, що дозволяє встановити КПН в УК. Установка КПН знижує вміст в газах  $\text{NO}_x$  на 55 %,  $\text{SO}_2$  - на 50 %, а вміст твердих часток - в 3 рази.

#### Список інформаційних джерел:

1. Ecospec CSNO<sub>x</sub>TM Brochure [Online]. – Available at: <http://www.ecospec.com/resources/ck/files/CSNOx.pdf>. – 23.07.2019.
2. Skeltved O. CIMAC NMA. [Online]. – Available at: <http://sintef.net/upload/MARINTEK/CIMAC2010/MAN%20Ole%20Skeltved.pdf>. – 04.09.2018.
3. PureSO<sub>x</sub> Exhaust gas cleaning [Online]. – Available at: <https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/microsites/puresox/mdd00107enlowres.pdf>. – 23.07.2019).
4. Горбов, В. М. Енциклопедія суднової енергетики: підручник. – Миколаїв: НУК, 2010. – 624с.
5. Пат. 99408 Україна, МПК С23F 11/10, F22B 37/00, F23J 15/00. Спосіб захисту металу низькотемпературних поверхонь нагріву котла від сірчаноокислої корозії / В. Ю. Горячкін, А. В. Горячкін, О. В. Акімов, В. С. Корнієнко; заявник НУК. – №a201110299; заявл. 23.08.11; опубл. 10.08.2012, Бюл. №15. – 8 с.

## **ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ УМОВ РОБОТИ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА В СИСТЕМІ ПЕРЕДПУСКОВОЇ ПІДГОТОВКИ АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА**

*К.В. Луняка, професор, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Херсонська філія, просп. Ушакова, 44, Херсон, 73022, Україна*

*С.А. Русанов, к.т.н, Херсонський національний технічний університет, Бериславське шосе, 24, Херсон, 73028, Україна*

*О.І. Ключев, к.т.н, Херсонський національний технічний університет, Бериславське шосе, 24, Херсон, 73028, Україна*

*О.О. Ключева, аспірантка, Херсонський національний технічний університет, Бериславське шосе, 24, Херсон, 73028, Україна, kluevaaleksandra64@gmail.com*

Використання методу факторного експерименту запропонував ще у 1935 р. Р. Фішер [1]. Цей метод дозволяє за допомогою отриманого рівняння регресії оцінити одночасний вплив багатьох чинників на деяку величину, яку назвали параметром оптимізації. Незважаючи на широкі можливості, метод факторного експерименту мав обмеження в плані розрахунків. Так, у вказаний період досить легко вирішувались рівняння регресії для двофакторного, дещо складніше – для трифакторного, а для чотирьох і більше факторів отримання рівняння регресії ставало досить проблематичним.

Наявність доступної обчислюваної техніки і програмного забезпечення [2] дозволило у наш час повернутись до використання методу факторного експерименту у різних галузях – будівництві, енергозбереженні, обробці матеріалів, автомобільному транспорті, сільському господарстві, харчовій промисловості, військовій сфері [3] та ін. [4,5].

При використанні теплоаккумулятору (ТА) в системі передпускової підготовки автомобільного двигуна з метою прискорення запуску двигуна при низьких температурах оточуючого середовища найважливішим показником роботи ТА є час його розрядження. Тривалий час розрядження дозволяє залишати автомобіль на відкритому повітрі на досить тривалий час, зокрема, на ніч.

Під час розрядження ТА залежить від температури зовнішнього середовища, маси теплоакмулюючого матеріалу (ТАМ) і товщини шару теплоізоляції. Для прогнозування одночасної дії названих чинників на час розрядження ТА використовували повний факторний експеримент. При цьому час розрядження ми прийняли за параметр оптимізації у.

Оскільки при проведенні експериментів змінні фактори неоднорідні й мають різні одиниці вимірювання, приводимо їх до єдиної системи шляхом переходу від дійсних значень до кодованих.

Відповідно до вимог регресійного аналізу дисперсії рядків матриці повинні бути однорідними. Однорідність дисперсій перевіряється за критерієм Кохрена G:

$$G = \frac{S_{j \max}^2}{\sum_{j=1}^N S_j^2},$$

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

де  $S_{j \max}^2$  – найбільша з дисперсій, розрахованих як  $S_j = \frac{\sum_{n=1}^n (\bar{\tau} - \tau)^2}{k-1}$ ; k – кількість

паралельних дослідів (у даному випадку 2).

$$G = \frac{12800}{22400} = 0,571.$$

Дисперсія вважається однорідною, якщо розраховане за наведеним рівнянням значення критерію Кохрена задовольняє умові:

$$G < G_{\text{табл}},$$

де  $G_{\text{табл}}$  – табличне значення критерію Кохрена при даному N і числі степенів свободи f, причому  $f=k-1$ . У нашому випадку  $f=2-1=1$ .

Табличне значення  $G_{\text{табл}}$ , що відповідає довірчій вірогідності 0,95, дорівнює 0,6798. Оскільки  $G (0,571) < G_{\text{табл}} (0,6798)$ , дисперсія однорідна.

Для оцінки значущості коефіцієнтів регресії була розрахована дисперсія відтворності:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N S_j^2 = \frac{1}{8} 22400 = 2800.$$

і похибка її визначення  $S_b$

$$S_b = \sqrt{\frac{S_y^2}{Nk}} = \sqrt{\frac{2800}{8 \cdot 2}} = 13,23.$$

Значущість коефіцієнтів регресії встановлюється за даними похибки її визначення і критерієм Стьюдента  $t_p$ . Якщо виконується умова  $t_p \leq b/S_b$ , то коефіцієнт регресії є значущим. При вірогідності 95 % і  $N = 8$   $t_p = 2,31$ .

Визначення величин  $b/S_b$  для членів рівняння і порівняння розрахованого значення з табличним значенням критерію Стьюдента дозволило нам відкинути останній член рівняння регресії, який враховує сумісний вплив на час розрядження акумулятора маси озокериту, температури зовнішнього середовища і товщини шару ізоляції.

Адекватність рівняння експерименту перевіряємо за критерієм Фішера. Дисперсію адекватності розраховуємо за даними табл. 3 зі співвідношення:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{2}{N-B} \sum_{j=1}^N (\bar{\tau} - \tau_{\text{розр.}})^2 = \frac{2}{8-7} 341 = 682,$$

де B – кількість значущих коефіцієнтів у рівнянні регресії.

Розрахункове значення F-відношення обчислюють як відношення дисперсій адекватності й відтворності, причому, у чисельник F-відношення ставлять більшу з дисперсій. Таким чином:

$$F = \frac{S_y^2}{S_{\text{ад}}^2} = \frac{2800}{682} = 4,11.$$

Якщо набуто по цьому співвідношенню значення критерію Фішера не перевищує табличної величини ( $F_{\text{табл}}$ ) при даному числі ступенів свободи, рівняння регресії є адекватним і умова адекватності має вигляд  $F \leq F_{\text{табл}}$ . Для  $P = 0,95$ ,  $f_1 = N - B = 8 - 7 = 1$  і

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

$f_2 = N(k-1) = 8(2 - 1) = 8$  критерій Фішера дорівнює 5,3, тобто  $F < F_{\text{табл}}$ . Отже, отримане нами рівняння регресії адекватне експерименту.

Оскільки ТА являє собою прилад, що має певні характеристики, такі як маса озокериту в ньому (визначається розмірами ТА) і товщина теплоізоляції, то в реальних умовах ці величини є незмінними. Факторний експеримент надає можливість встановити їхні оптимальні значення, які беруться до уваги при виготовленні теплоаккумулятора для певного автомобіля. Використання методу факторного експерименту при дослідженні умов роботи теплоаккумулятора в системі передпускової підготовки автомобільного двигуна з отриманням рівняння регресії, що характеризує сумісний вплив маси теплоакуючого матеріалу, зовнішньої температури і товщини шару теплоізоляції на час розрядження теплоаккумулятора, дає можливість реалізації тривалого простою автомобіля з наступним полегшеним запуском двигуна.

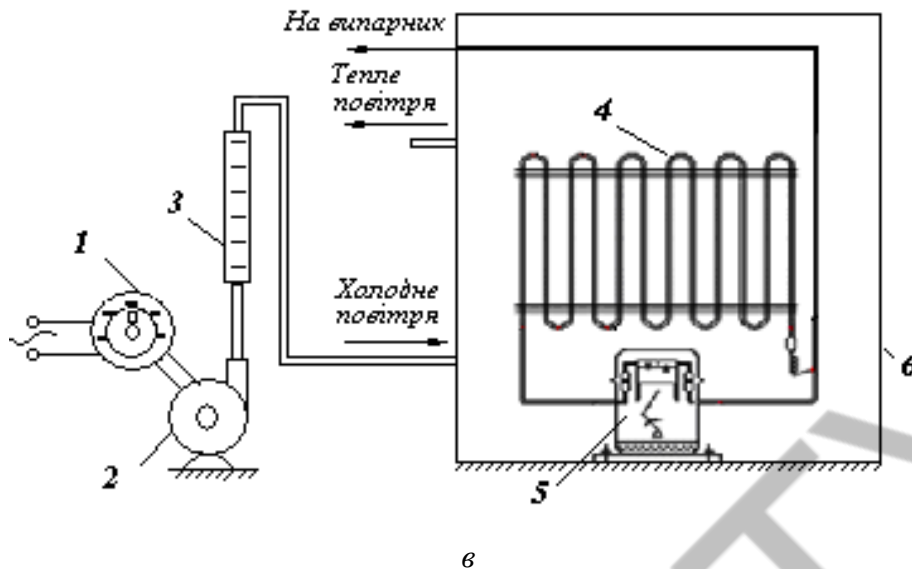
### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:**

1. R. A. Fisher. The Design of Experiments. 6-th ed, London, Oliver and Boyd, 1951. – P. 34-38.
2. Fumo N., Biswas M.A.R. Regression analysis for prediction of residential energy consumption. Renewable Sustainable Energy Reviews. 47 – 2015. – P. 322-343.
3. Adamchuk V., Dmytriv V., Dmytriv I. Experimental studies of duration of air pumping out from the „TEAT CUP – PULSATOR” system. Econtechmod: an International quarterly journal on economics in technology new technologies and modeling processes. Lublin : Rzeszow, 2015. Vol. 4, № 4. P. 3-6.
4. Box G.E.P. Response surfaces, mixtures, and ridge analyses, 1st ed. / G. E. P. Box, N. R. Draper. – Hoboken, N.J.: John Wiley, 2007. – 857 p.
5. Darlington R.B., Haves A.F. Regression Analysis and Linear Models: Concepts, Application and Implementation. New York: Guilford Press. – 2017. – P. 58–63.

## **СТВОРЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ТА ОРИМАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗНИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ**

*Д.т.н., професор Луняка К.В, студент Лецов Є.М.  
Херсонська філія Національного університету кораблебудування  
імені адмірала Макарова*

Метою дослідження було створення експериментальної установки для дослідження системи охолодження компресора холодильника. Дослідження проводились на стенді (рис. 1).



*Рис. 1. Стенд для дослідження повітряного охолодження компресору: 1 – ЛАТР; 2 – вентилятор; 3 – ротаметр; 4 – конденсатор холодильника; 5 – дросельна холодильна камера; 6 – корпус шафи-термостата.*

Використовували повітряну, водяну та хладонову системи охолодження.

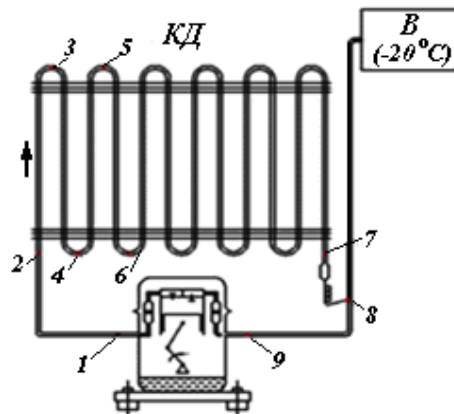
Повітряне охолодження компресору термостаті досліджувалось у шафі-термостаті. При проведенні цих досліджень шафа закривалась дверцятами, які мали отвори для шлангу подачі повітря від вентилятора, встановленого поза шафою, і отвір для виходу повітря.

При дослідженні водяної системи охолодження компресор поміщали в термостат з зовнішньою оболонкою, в яку подавалась охолодна вода. Хладонова система охолодження досліджувалась безпосередньо на холодильній установці.

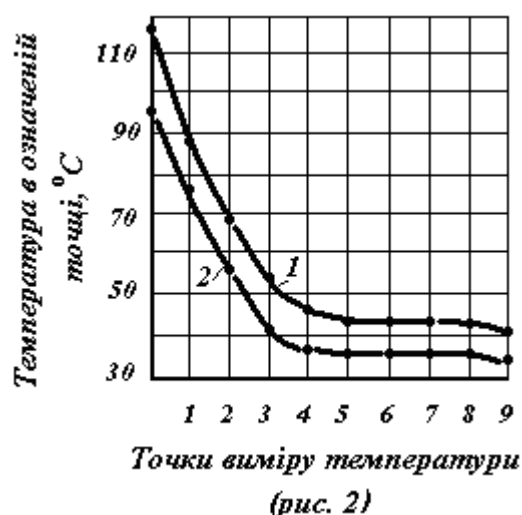
Випробуванням піддавалася холодильна машина, виконана в чотирьох модифікаціях:

- без системи охолодження;
- з системою повітряного охолодження;
- з системою водяного охолодження (компресора);
- холодильний агрегат включає компресор з головкою охолодження хладоном.

Точки вимірювання температур для побудови температурного поля холодильника, який працює без системи охолодження і з повітряним охолодженням показані на рис. 2, а на рис. 3 представлені графіки, що відображають температурні поля холодильного агрегату.



*Рис. 2. Точки вимірювання температур для побудови температурного поля холодильника, який працює без системи охолодження і з повітряним охолодженням. КД – конденсатор; В – випарник. Цифрами показані точки виміру температури.*



*Рис. 3. Температурне поле холодильного агрегату, що працює: 1 – без системи охолодження; 2 – з повітряним охолодженням.*

Аналогічні дослідження були проведені для холодильної машини з системою водяного і хладонового охолодження компресора.

Отримані результати дозволяють зробити висновок щодо ефективності використання тієї чи іншої системи охолодження компресора холодильної машини.



УДК 621.56

## **СУМІШІ ХОЛОДОАГЕНТІВ ЯК ЗАМІНА РОБОЧИХ ТІЛ З ВИСОКИМ GWP**

*Дудко О.М., аспірант ОНАХТ, Хмельнюк М.Г., професор ОНАХТ*

Кігальська поправка до Монреальського протоколу, яка передбачає поетапне скорочення виробництва гідрофторуглеводневих (ГФУ) холодоагентів, набула чинності 1 січня 2019 року. Але ще до того, як ця віха була досягнута, численні регіональні та національні правила щодо використання ГФУ були досягнуті. вже на місці. Наприклад, нормативи «F-газ» в Європейському Союзі (European Environment Agency, 2014) передбачають максимальні значення GWP (потенціал глобального потепління) для холодоагентів у різних сферах застосування, а також визначають вимоги до навчання та звітності.

Парокомпресійні холодильні системи можуть використовувати ряд рідин, таких як діоксид вуглецю, аміак, вуглеводні та фторовані молекули, такі як CFC (хлорфторвуглеці), HFC (гідрофторвуглеці) та HFO (гідрофторолефіни). Перші молекули, які були використані, були найбільш доступними, але представляли проблеми з експлуатаційними характеристиками, займистістю або токсичністю.

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

Аміак дешевий, але менш ефективний, ніж CO<sub>2</sub>, крім того, він токсичний, легко спалахує і несумісний з кольоровими металами. Вуглеводні, такі як пропан або ізобутан, є ефективними холодоагентами, однак мають високий ризик займання. Єдиним реальним фактором, що перешкоджає застосуванню вуглеводневих холодоагентів у холодильному обладнанні та кондиціонуванні повітря, є проблема безпеки під час роботи з відносно великими обсягами заправки вуглеводнями; Безумовно, потрібні спеціальні методи встановлення та процедури звернення.

Тим не менш, CO<sub>2</sub>, аміак та вуглеводні в даний час широко використовуються в холодильних установках з великою продуктивністю та ризики можна ефективно контролювати; однак залишається багато холодильних установок, у яких бажаний баланс між безпекою, продуктивністю та вартістю, наприклад, автомобільне кондиціонування повітря або торговельне обладнання.

Порівняно з CFC, HCFC, HFC і HFO вуглеводневі холодоагенти мають нульовий ODP і надзвичайно низький GWP, а щодо своїх характеристик вони в цілому пропонують: високу ефективність, менші обсяги заправки, хороша змішуваність з мінеральними маслами (синтетичні мастильні матеріали не потрібні), нижчі температури нагнітання компресора і трохи краща теплопередача в теплообмінниках.

Хоча майбутня заміна синтетичних холодоагентів природними холодоагентами значною мірою залежить від обмежень використання (або можливої заборони) HFC, необхідно розробити ці стандарти для забезпечення їх безпечного використання до їх можливого впровадження у значно ширших масштабах. На даний момент використання робочих тіл класу A3 обмежено, в даний час стандарти безпеки, такі як IEC 60335-2-40, за якими заправка не може перевищувати 150гр. у приміщеннях загального користування. Робочі тіла, які можуть замінити HFC з високим GWP повинні дотримуватися балансу між продуктивністю, безпекою та вартістю, а також високими експлуатаційними властивостями. Високі термодинамічні властивості включають критичну температуру вище температури навколишнього середовища, високу нормальну температуру кипіння та високу теплоту пароутворення. Хороші фізичні властивості включають:

- низька питома теплоємність;
- малий питомий обсяг;
- низька в'язкість;
- висока теплопровідність.

Це дуже довгий список якостей, і жоден із нинішніх холодоагентів не можна вважати ідеальним холодоагентом, придатним для всіх застосувань. Використання вуглеводнів може застосовуватися як хороша заміна існуючим галогеновмісним холодоагентам з точки зору впливу на довкілля та споживання енергії. Однак необхідно зосередитись на виборі холодоагенту для конкретного застосування на основі загальної оцінки.

Кількість доступних чистих вуглеводнів, що мають відповідні властивості для забезпечення альтернатив існуючим традиційним галогенованим холодоагентам, дуже обмежена. Змішування двох або більше цих холодоагентів разом може поліпшити експлуатаційні характеристики робочих рідин, що охолоджують, такі як об'єм пари, ступінь стиснення компресора і температура нагнітання. Відповідно до Європейських правил з фторвмісних газів, які передбачають використання робочих рідин з GWP нижче 150 у побутових холодильниках, теоретично оцінювалися характеристики п'яти нових сумішей холодоагентів з низьким GWP як довгострокових екологічно чистих замінників звичайний

**Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.**

холодоагент (R134a) у побутових холодильниках. Розглянуто нові суміші холодоагентів: R440A(R-290/134a/152a), R441A(R-170/290/600a/600), R444A(R-32/152a/1234ze(E)), R445A(R-744/134a/1234ze(E)) та R451A(R-1234yf/134a) (ANSI/ASHRAE Standard 34-2019). Всі вони мають нульовий ODP і дуже низький GWP, що дорівнює 144, 5, 89, 118 та 133 відповідно.

GWP всіх цих холодоагентів становить менше 150 і відповідає правилам ЄС щодо фторвмісних газів для постійних заміників холодоагентів, передбачених для побутових холодильних систем.

Параметри	Холодоагенти					
	R134a	R440A	R441A	R444A	R445A	R451A
Озоноруйнівний потенціал ( <i>ODP</i> )	0	0	0	0	0	0
Потенціал Глобального Потепління ( <i>GWP</i> )	1430	144	5	89	118	133
Критична температура ( <i>C°</i> )	101.1	112.7	188.5	102.2	109.4	105.4
Критичний тиск ( <i>Bar</i> )	41	45	45	42	50	3.4
Критична в'язкість ( <i>kg/m<sup>3</sup></i> )	511.9	368.8	222	481.9	367.7	479
В'язкість рідкої фази - <i>kg/m<sup>3</sup></i> при 25 C°	1206.7	897.6	897	1100.8	915.4	1102.9
В'язкість парової фази - <i>kg/m<sup>3</sup></i> при 25 C°	32.4	18.7	18.7	29.0	20.3	37.3
Молярна маса ( <i>kg/kmol</i> )	102	66.2	48.3	96.7	66.2	112.7
Прихована теплота при -15 C° ( <i>kJ/kg</i> )	209	327.2	262.9	223.5	256.3	222.8

У пошуках робочих рідин з прийнятним та низьким GWP для побутових холодильних систем нові суміші холодоагентів R440A, R441A, R444A, R445A та R451A з прийнятним низьким GWP ( $GWP \leq 150$ ) для оцінки їх придатності як довгострокові екологічно чисті замітники звичайного холодоагенту зокрема R134a.

**Висновки:**

- Суміші R451A, R440A і R444A мають аналогічні питомі об'ємні характеристики з R134a і можуть служити заміниками в системах R134a, в той час як R441A і R445A мають вищі зміни питомого обсягу і не може ідеально працювати в системах R134a без модифікацій.
- Подібність характеристик тиск-температура сумішей R451A, R440A і R444A з R134a підтвердило можливість їх використання як заміну R134a.
- Крім займистості цих двох холодоагентів, при використанні яких необхідно дотримуватися встановлених правил і положень з техніки безпеки, вони можуть бути довгостроковою екологічно чистою заміною холодоагента R134a в побутових холодильниках.

**Список інформаційних джерел:**

1. General framework for revising class A3 refrigerant charge limits –a discussion/ D. Colbourne, K.O. Suen, T.-X. Li, I. Vince, A. Vonsild; [c.2];
2. ANSI/ASHRAE Standard 34-2019, [c.10;11];
3. Vapor–liquid equilibria for binary system of 2,3,3,3-tetrafluoroprop-1-ene (HFO-1234yf) + isobutane (HC-600a), [c.4].

УДК 621.56/.59:623.8.01/.08

## **ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ НА СУДНАХ ВОДНОГО ТРАСПОРТУ**

*Ялама В.В., аспірант ОНАХТ, Хмельнюк М.Г., професор ОНАХТ*

*e-mail: a - [yalama9410@gmail.com](mailto:yalama9410@gmail.com);*

Загальноприйнятим критерієм якості проектних рішень для сучасних енергетичних систем транспортних суден є їх енергетична ефективність, яка наряду з впливом на навколишнє середовище має головне значення і служить критерієм при проектуванні і експлуатації холодильних машин. За даними Міжнародної морської організації (ІМО), викиди парникових газів (ПГ) від судноплавства зросли на 9,6% з 977 мільйонів тон у 2012 році до понад мільярда в 2018 році. ІМО прагне скоротити викиди вуглецю від міжнародних перевезень на 40% до 2030 р. порівняно з 2008 р. [1,2].

Розглянуто вплив якості води використовуючих в конденсаторів холодильних системах на ефективність рефрижераторів. Перешкоду ефективній роботі створюють зовнішні впливи, наприклад, біологічні відкладення, наріст, утворений (бактеріями, водоростей, безхребетних тварин) і мінеральними частинками. Існує багато способів боротися з такими забрудненнями. З основних: механічна, хімічна чистка, зворотнім потоком води. Статистика показала, що забруднення виникають з періодичністю один раз на місяць, та не викликають порушення графіку роботи персоналу. Біологічні на відміну від пластикових забруднень нарастають шарами за деякий проміжок часу. Наростання по всій поверхні теплообмінного апарату рівномірне. Виявлено що при переходах судна з прісної води в солону або в зворотному напрямку біологічних відкладів не виникає.

На сьогодні неминучою проблемою роботи судна вздовж акваторії країн третього світу – є пластикові відходи. Пластик зразу викликає закупорку трубок трубної решітки та робочої поверхні водяного насосу. Це призводить до зменшення об'єму охолоджуючої речовини та до зменшення коефіцієнта теплопередавання апарату.

По даним Всесвітнього фонду дикої природи (англ. World Wide Found for Nature) від 5 до 12 млн. тон пластику викидається в Світовий океан щорічно [3-5].

Отже на підставі огляду технічної інформації в системі необхідно вводити захисні заходи для мінімізації забруднень і витрат на їх ліквідацію.

Результати аналізу забруднень є корисною інформацією для розробки методів інженерних розрахунків, які дозволяють на стадії проектування і в процесі експлуатації контролювати і визначати процес зростання відкладів, тим самим забезпечити згодом стабільність роботи всієї системи.

Проведенні експериментальні дослідження системи охолодження конденсаторів в процесі експлуатації холодильній установці в реальних умовах.

Об'єктом дослідження є система охолодження конденсаторів суднової холодильної машини забортною водою. Холодильна машина працює в усіх кліматичних зонах. Температура конденсації підтримується в заданому діапазоні рециркуляцією води через теплообмінні

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

апарати автоматичними клапанами. Для очищення від крупних забруднень води є водяний фільтр

Суднова холодильна установка працює за циклом одноступеневого стиснення. Робочою речовиною в машині є R-404a. Граничний температурний діапазон роботи холодильної машини по технічній документації: Температура конденсації  $T_K = (+35) ^\circ\text{C}$  Температура кипіння холодильного агенту  $T_0 = (-34) ^\circ\text{C}$ .

Елементи стенду : Гвинтові компресора – марки SAB 110 LF. Характеристика: Геометрична ступінь стиснення 1.8 – 4.5, діаметр ротора 110,  $\Delta P_{max} = P_{наг} - P_{вс} = 20 \text{ бар}$ , часовий об'єм  $V_h * 10^2 = 4,86 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ .

Кожухотрубний конденсатор – марки МКТНР 125. Характеристика: двоходовий, теплообмінна поверхня – 250 м<sup>2</sup> виконана зі сплаву кольорових металів. Циркуляцію води забезпечує відцентровий насос – марки VNF 4/300. Обладнання відсікається клапанами типу – батерфляй. Присутні автоматизовані клапана марки – LTB 100/80. Та відсічні клапани типу батерфляй.

Установка обладнана контрольно-вимірювальними приладами. Температури вимірюються за допомогою штатних температурних сенсорів марки XS 102/4 з класом точності 0,10 та використанням пірометра марки Refco LP-88 з класом точності +/-2% від показника.

Забруднення системи проходило в природних умовах роботи судна. Визначалися характеристики і параметри роботи холодильної машини до критичної роботи установки.

Під час дослідження увагу привернуло те що забруднення виникає саме на трубної решітці конденсатора (рис.1).

#### **Висновки**

Згідно з отриманих параметрів холодильної установки теплове навантаження збільшилося на 15%.

Приріст теплового навантаження на машину є динамічним і залежить викликано районом плавання.

Для більш точних даних потребується звірити данні з інших типів транспортних рефрижераторів.

Потребується посилення заходів по виконанню міжнародних домовленостей по збереженню довколишньої середи.

Необхідно встановлення потужних систем очищення забортної води..



*Рисунок 1 – Теплообмінна поверхня конденсатора та робоча частина насосу під час проведення експерименту*

*a) чиста поверхня; б) забруднення після проходження плавання*

## Література

1. *International Marine Organization* [Електронний ресурс] – Режим доступа к журн.: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/20-marinelitteractionmep73.aspx>
2. *United nations* [Електронний ресурс] – Режим доступа к журн.: <https://news.un.org/ru/story/2017/06/1305751>
3. **Mostafa, M. Awad.** Fouling of heat transfer surfaces, heat transfer – theoretical analysis, experimental investigations and industrial systems [Text] / prof. Aziz Belmiloudi (Ed.). – 2011. – ISBN: 978-953-307-226-5, InTech. – Available from: <http://www.intechopen.com/books/heat-transfer-theoretical-analysis-experimentalinvestigations-and-industrial-systems/fouling-of-heat-transfer-surface>.
4. **Sarfraz Omer, Bach Christian.** A literature review on heat exchanger air side fouling in heating, ventilation and airconditioning (HVAC) applications [Text] / Omer Sarfraz, Christian Bach // International refrigeration and air conditioning conference. – Purdue, USA, 2016.
5. **Breuker, M. S., Braun, J. E.** Common faults and their impacts for rooftop air conditioners. HVAC and R Research / M.S. Breuker, J.E. Braun. – 1998. – 4(3). – p. 303–317.

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОРОЗИЛЬНОЇ СКРИНІ НА РІЗНИХ ХОЛОДОАГЕНТАХ

Константинов І.М., аспірант ОНАХТ, Хмельнюк М.Г., професор ОНАХТ

З розвитком технологій, підвищенням потреб та з огляду на вимоги сучасного стану холодоагентів виробники кліматичного обладнання виробники змушені в період від 2020 до 2030 років повністю відмовитися від використання хлор- та бром містких газів. Крім того, потреби що диктує ринок комерційного обладнання завжди базується на енергоефективності. З 2015 року регулювання F-Gas (517/2014) в Європі і ЕРА (Агентство з охорони навколишнього середовища) в Сполучених Штатах Америки поступово обмежує використання холодоагентів з високим GWP (парниковий потенціал потепління) протягом наступних років, включаючи R404A і R134a в індустрії холодильного обладнання та кондиціонування повітря.

- З 1 січня 2020 року HFC з GWP 2500 або більш будуть заборонені в герметично закритих холодильниках і морозильних камерах для комерційного використання.

- З 1 січня 2022 року HFC з GWP 150 або більше будуть заборонені в герметично закритих холодильниках і морозильних камерах для комерційного використання.

Проведено порівняння R404a (GWP= 3260) з новим аналогом R452a (GWP= 2141) та природнім газом R290 propane (GWP= 0).

Було вибрано морозильну скриню M200V тмТОВ «ЮКА-Інвест». Дана модель виконана з двома холодильними системами працюючими на R404a та R290.

Для проведення лабораторного дослідження було виконано аналіз холодильних систем з урахуванням теплових навантажень спричинених конструкційними особливостями холодильної системи.

Основні результати розрахунку занесені до порівняльної таблиці .

Таблиця  
Розрахункові параметри холодильної системи

Холодильний агент	R404a	R290
$Q_0$ - Сумарне теплове навантаження	0,091 кВт	0,094 кВт
$Q_{км}$ - Розрахункова потужність компресора	0,128 кВт	0,119 кВт
$Q_{РТО}$ - Потужність РТО	0,011 кВт	0,009 кВт
$Q_B$ - Навантаження на випарник	0,092 кВт	0,093 кВт
$Q_{ПКД}$ - Потужність предконденсатора	0,193 кВт	0,174 кВт
$Q_{КД}$ - Потужність конденсатора	0,027 кВт	0,038 кВт
$M_{хол.аг}$ – кількість хол.агенту в системі	0,134 кг	0,068 кг
$C_d$ – пропускна здатність капілярної трубки	5,37 Літри/хв.	7,45 Літри/хв.

Для створення уніфікованого науково-дослідницького стенду було оцінено дві холодильні системи що працюють на різних холодильних агентах.

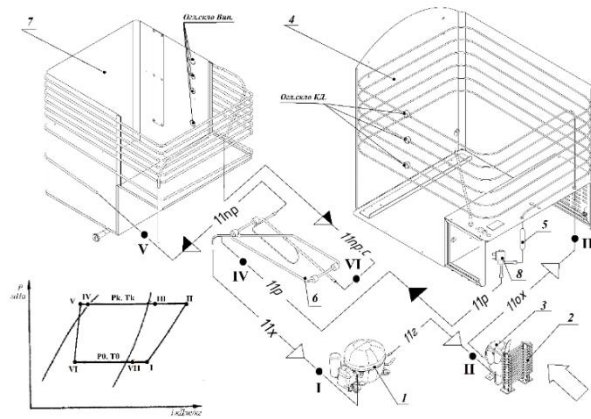


Рис 1. Схема уніфікованої холодильної системи науково- дослідницького стенду M200V.

Елементи системи:

1. - Компресор; 2.- Предконденсатор; 3. - Вентилятор; 4. - Листотрубний випарник; 5- . Фільтр-осушувач; 6. - РТО; 7.- Листотрубний випарник; 8.-Соленійний клапан.

В ході порівняння визначено що в вузлі РТО (R290), для запобігання потрапляння до кожуха компресора холодильного агента в рідкій фазі, встановлено буфер, про те в системі що працює на R404a випарник має на один виток більше що також збільшує об'єм лінії низького тиску та теплообмінну площу. З огляду на призначення цих теплообмінників в стенд замонтовано випарник на 8 витків, а докіпач рідини вилучено з системи (рис.1).

В Холодильну систему почергово заправлялися холодильні агенти в послідовності (R404a - R452a - R290), та після задання параметрів роботи холодильний агрегат вмикався в мережу.

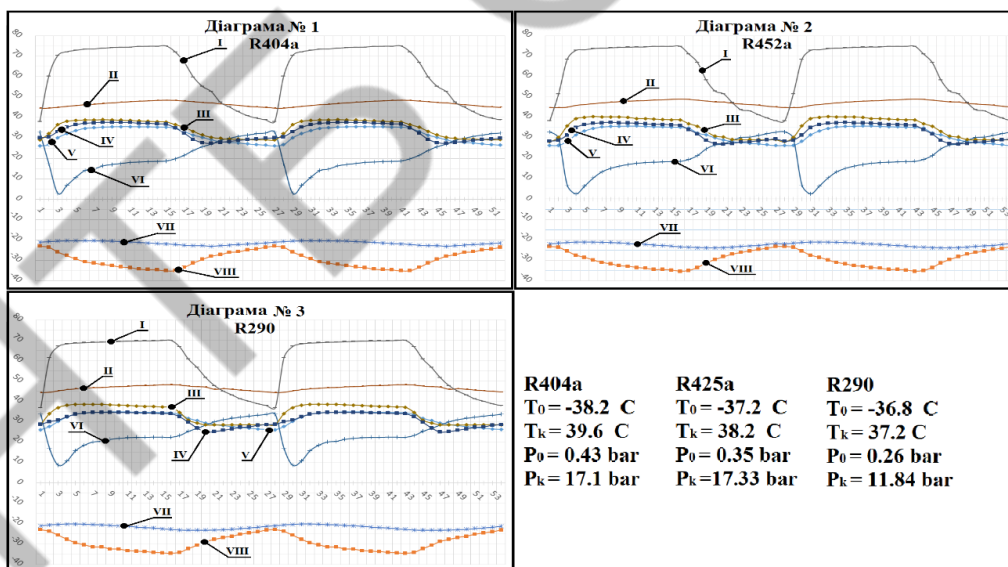


Рис.2. – Параметри роботи стенда на досліджуваних холодильних агентах.

I – Графік зміни температури нагнітання (T наг); II – Графік зміни температури мастила компресора (T км); III – Графік зміни температури початку конденсації (T п.к.); IV – Графік зміни середнього значення температури конденсатора (T кд.); V – Графік зміни температури кінця конденсації (T к.к.); VI – Графік зміни температури всмоктування в компресор (T всм); VII – Графік зміни температури в охолоджуваному об'ємі (T кам); VIII – Графік зміни середнього значення температур випарника (T вип).

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

В ході проведених дослідів були визначені експериментальні температурні та енергетичні порівняння холодильних агентів різних типів. В результаті аналізу отриманих показників виявлено позитивні та негативні фактори кожного з них (рис.2,3).

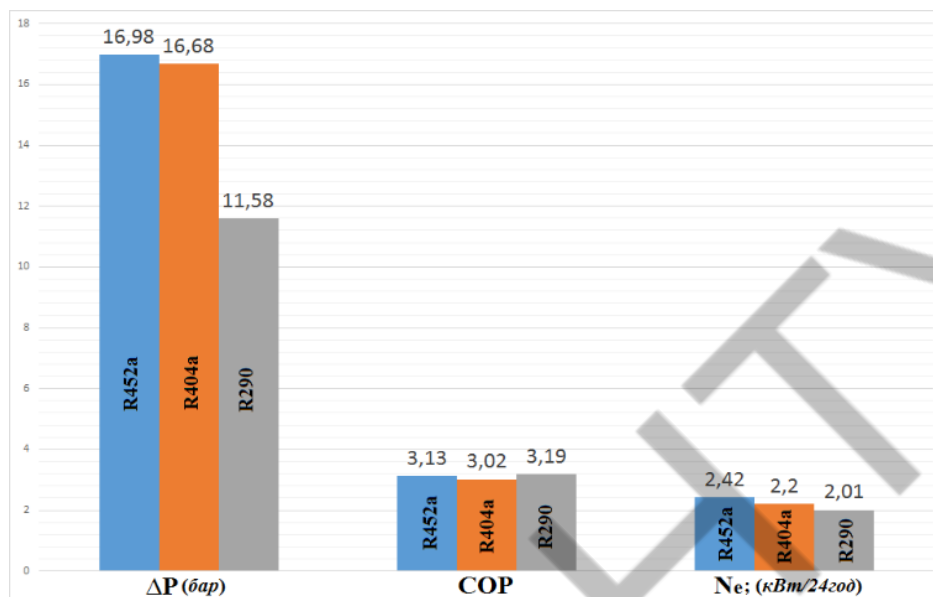


Рис. 3. – Порівняльний аналіз холодильних агентів

### Висновки

Висновком такого дослідження стає підтвердження можливості повного переходу на природні аналоги з GWP= 0. Паралельно виявлено порівняно низьку енергоефективність холодильного агента R404a. R452a хоч і відповідає повній взаємозаміні з R404a без зміни мастил чи компресорів та не являється енергоефективним холодильним агентом. Окрім того R452a являється високовартісним холодильним агентом з GWP= 2141, що свідчить про заборону його використання з 2022 року.

Порівнюючи R290 очевидна його перевага по енергоефективності та собівартості. До переваг R290 також можна віднести його моногамність, а отже, як показує дослід, і рівність його, температури в рідкій фазі, в об'ємі теплообмінника. Однак до його недоліків при переході можна віднести потребу в заміні мастил в системі та вибухонебезпечність. Ще одним недоліком пропану є обмеження по його кількості в системі та потребу в дотриманні норм безпеки при конструюванні і експлуатації.

Незважаючи на перераховані недоліки R290 залишається найперспективнішим аналогом R404a в низькотемпературній техніці. В сфері торгового холодильного обладнання не виявлено значних проблем при заміні холодильних агентів а отже, як показує дослід, і рівність його, температури в рідкій фазі, в об'ємі теплообмінника капілярні холодильні системи залишаються перспективними на світовому ринку холодильного обладнання.



## **ВИБІР ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ АЛЬТЕРНАТИВИ ТРАДИЦІЙНИМ ХЛАДОАГЕНТАМ**

*Борецький Ю.О., СВО бакалавр ОНАХТ*

Вибір екологічно безпечної альтернативи традиційним хладоагентам для використання в холодильному обладнанні та системах кондиціонування є непростим завданням. Найбільш розумним є підбирати певний хладоагент для кожного конкретного типу обладнання. Однак і тут доведеться зіткнутися із певними труднощами. Справа в тому, що для деяких сфер застосування зараз пропонується не одна, а кілька речовин.

В даний час в кондиціонерах повітря найчастіше застосовується хладоагент R410A. Однак через високий ПГП (потенціал глобального потепління), що дорівнює приблизно 2090, ця речовина повинна піти з ринку. Як альтернатива пропонується безліч хладоагентів як природного походження, таких як діоксид вуглецю, аміак і пропан, так і розроблених в лабораторіях хімічних концернів. Компанія Honeywell створила кілька хладоагентів, призначених для заміни R410A. Серед них суміш гідрофторолефінів R447A, що отримала комерційне найменування Solstice L 41. ПГП цього хладоагента дорівнює 572. У жовтні 2015 року підрозділ хімічного синтезу DuPont, перетворений на компанію Chemours, випустив хладоагент Opteon XL5.

Згідно з опублікованими даними, безпосередня заміна R410A хладоагентом DR 55 у дахових кондиціонерах, що працюють при високій зовнішній температурі, призводить до зростання показників енергоефективності та продуктивності (EER та COP) на 5%.

Таке випробування було проведено в Центрі досліджень і розробок Lennox, розташованому в місті Карролтон, штат Техас. Він був частиною програми вивчення альтернативних хладоагентів з низьким ПГП, організованої Інститутом кондиціонування, опалення та холодильних систем (AHRI). Для випробувань використовувався напівпромисловий кондиціонер даховий продуктивністю 5 холодильних тонн (17,6 кВт).

DR 55 є сумішшю хладоагентів R32, R125 і R1234yf, ПГП якої дорівнює 675. Випробування показали, що цей хладоагент відрізняється більш низькою температурою нагнітання і меншою займистістю, ніж R32.

При зовнішній температурі 52°C температура нагнітання R410A дорівнювала 97°C, а DR 55–110°C.

На противагу компанії DuPont, провідні японські виробники на чолі з Daikin зосередилися на впровадженні у промислове виробництво R32 як основна заміна R410A.

У результаті це стало вирішальним фактором, через що на Європейському ринку всі побутові та напівпромислові системи кондиціонування до 25 кВт по холоду перейшли на R32 до 2020 року, а R410A на сьогодні повністю заборонено до використання. Слідом за японськими і китайськими виробниками змушені були підтримати новий тренд і почали масово переходити на R32. Крім цього, дуже перспективним R32 виявився в сегменті теплових насосів "повітря-вода" і "повітря-повітря" через кращу продуктивність у режимі нагріву в порівнянні з аналогами на R410A і можливістю отримувати вищу температуру теплоносія (до 650 С на виході по 550 С для одноконтурних систем "повітря-вода"). Наступним кроком для розширення застосування R32 є використання його для чилерів продуктивністю до 300 кВт зі

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

спіральними компресорами та мультизональними системами кондиціонування (VRF), де досі в пріоритеті залишається R410A. Якщо моноблочних чиллерів перехід на R32 дався відносно легко, то VRF систем через можливих витоків поруч із великим обсягом заправки ця проблема вирішується нині.

Що являє собою хладагент R-32?

R-32 = HFC-32 = CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub> "дифторметан", однокомпонентний HFC. Вже використовується як компонент суміші R-410A. У Аркуші даних безпеки і для балонів холодоагенту, R-32 класифікується як "надзвичайно легкозаймистий", подібно до класифікації R-290 (пропан). Насправді, займистість R-32 та інших холодоагентів групи 2L є дуже низькою. Швидкість горіння ( $\leq 10$  см/с) занадто мала, щоб викликати поширення полум'я по горизонталі або вибуху. Коли R-32 паливної концентрації входить у контакт з полум'ям, то холодоагент просто згорятиме в відносно обмеженому полум'ї. Він не вибухне, як, наприклад, пропан. R32 також випробовувався в рамках програми Інституту кондиціонування, опалення та холодильних систем (AHRI). Крім того, порівняння характеристик обладнання, заправленого R410A і R32, проведене компанією Zamil Air Conditioners (Саудівська Аравія), показало, що R32 дозволяє досягти більш високої продуктивності за високої температури зовнішнього повітря.

Для порівняння використовувалися стандартний спіральний компресор Copeland, розрахований на роботу з R410A, та прототип компресора для R32. Прототип відрізнявся трохи більшими габаритами, при цьому обсяг заправки хладагента у нього був на 12% менше, проте для роботи з R32 потрібно на 34% більше мастила.

Підвищення температури зовнішнього повітря призвело до зниження продуктивності компресорів, що працюють як на R32, так і на R410A, але при цьому коефіцієнт продуктивності пристрою

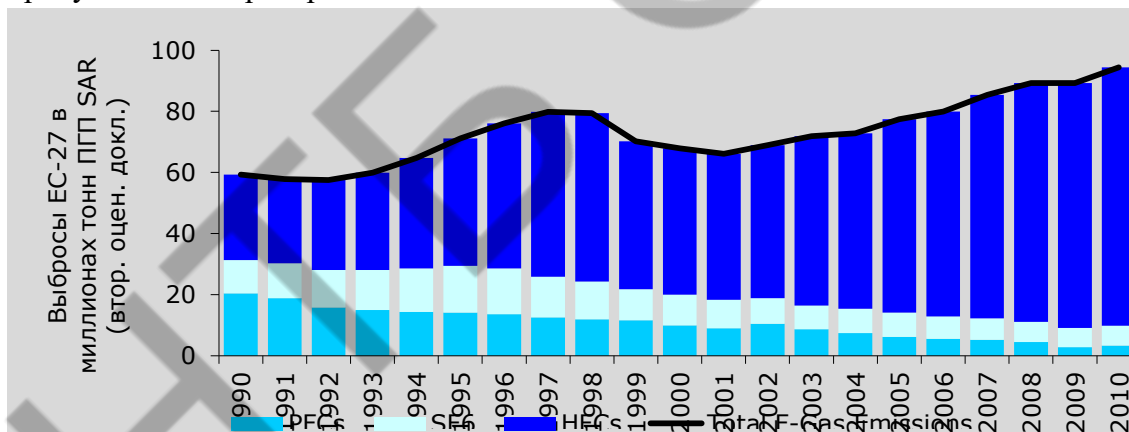
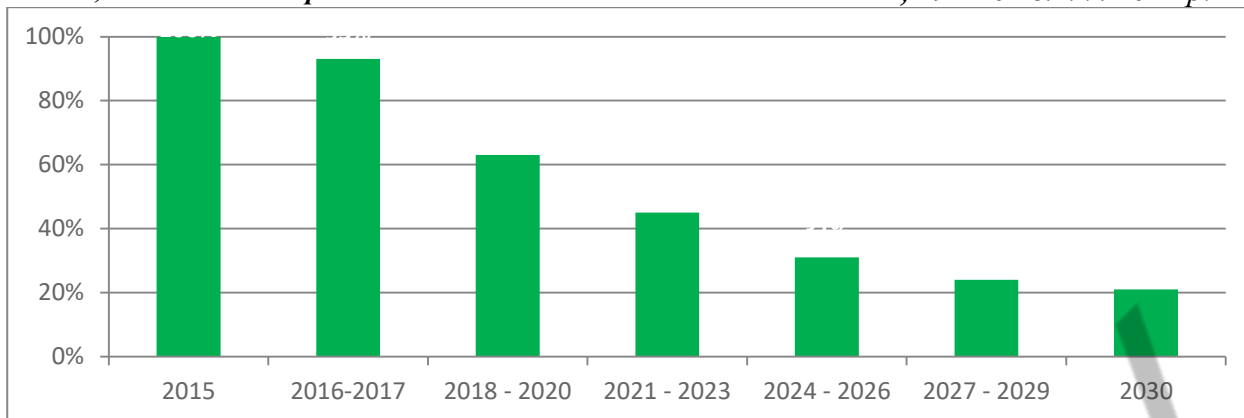


Рис 1. Графік поетапного скорочення використання HFC (ДФУ)

Дані наведено в еквіваленті CO<sub>2</sub> (кг x ПГП)

Вимоги мають виконуватися з 2015 року

Зростає ризик можливого дефіциту поставок та відповідного зростання витрат



*Рис 2. Як добитися поетапного скорочення використання HFC/ДФУ?*

- ✓ Перехід на інші холодоагенти:
  - ГФУ/HFC-холодоагенти з нижчими ПГП
  - Холодоагенти, що не містять-HFC/ДФУ
- ✓ Зниження кількості ГФУ/HFC-холодоагентів
- ✓ Відновлення та повторне використання ДФУ/HFC

Незалежно від холодоагенту, роботи з монтажу та заправки обладнання повинен проводити кваліфікований персонал. Це означає, що монтажники повинні мати сертифікати для роботи з фторсодержащими газами і бути навченими роботі з обладнанням та холодоагентами, які вони встановлюють. Оскільки R32 давно використовувався у складі R410A, зміни у процедурі монтажу незначні.

Але необхідно звертати особливу увагу на організацію вентиляції у приміщенні, де виконуються роботи. В принципі вентиляція необхідна і при роботі з традиційними холодоагентами, проте у випадку R32 її відсутність може призвести до неприємних наслідків.

R32, будучи важким газом, має властивість накопичуватися в поглибленнях підлоги, тому бажано чимось їх закрити перед початком робіт. Також при виконанні будь-яких робіт, пов'язаних з паянням на холодильному контурі, необхідно переконатися, що в ньому не залишилося холодоагенту. Це правило справедливе і для традиційних холодоагентів, при нагріванні яких утворюється отруйний газ, проте у випадку R32 перевірку слід проводити ретельніше.

Загалом нічого особливого, крім високої уважності і акуратності, від монтажника не потрібно.

Для роботи з R32 слід оновити набір інструментів. Зважаючи на те, що характеристика «тиск – температура» R32 відрізняється від R410A, потрібно придбати спеціальний манометричний колектор. Також для роботи з R32 потрібна станція евакуації з безщітковим двигуном компресора, який виключає утворення іскор при роботі. Слід мати на увазі, що R32, як будь-який горючий газ, поставляється в балонах з лівим різьбленням. Для використання стандартних шлангів з правим різьбленням необхідно придбати або виготовити відповідний перехідник. Решту інших інструментів міняти не потрібно.

*Науковий керівник доц к.т.н. Жихарєва Н.В.*



## **ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВІЗОРІВ В СКП**

*Березнюк Д.В., СВО бакалавр ОНАХТ, Кюсе О.В., СВО бакалавр ОТФТК*

Тепловізори, завдяки своїй здатності швидко і найголовніше точно забезпечити вимірювання температури, не в одній конкретній, зафіксованій точці, а, але і на великих площах, що робить їх використання практично необхідним там, де різниця температур має значення. Вони практично ідеально підходять, коли потрібно провести обстеження об'єктів і механізмів, що рухаються, важкодоступних або потенційно небезпечних місць, електричного обладнання. Стануть в нагоді вони і для загального моніторингу за станом механізмів або поверхонь. За допомогою цих приладів легко можна простежити загальний розвиток ситуації і навіть забезпечити себе додатковим захистом від гарантійних претензій або судових позовів.

Однак завжди слід пам'ятати, що тепловізор лише вимірює температуру поверхні у заданих точках. Для правильних висновків про всі процеси, що відбуваються всередині об'єкта, людина, що розшифровує зображення, повинен розуміти те, що відбувається. Цифрові фотографії тих місць, які робить тепловізор, мають значення не лише для загального огляду об'єкта, але й для знаходження на зображеннях матеріалів, що мають різні коефіцієнти випромінювання.

Ми розглянули практичне застосування тепловізорів у системах вентиляції та кондиціонування. Виявлення витоків повітря із ізольованих труб або у стінах. Якщо труби вентиляційної системи розташовані поза кондиціонованою зоною, виток охолодженого повітря не настільки вже й нешкідливий. Це створює умови для появи конденсату, що сприяє появі цвілі в системі труб або на самих трубах, а іноді і всередині стін, де вони прокладені. Наслідки такого явища аналогічні до тих, що виникають при невідрегульованій системі вентиляції повітря.

Для виявлення місць витоків повітря за допомогою тепловізора вам потрібно включити систему на охолодження або обігрів. Коефіцієнт випромінювання встановлюється 0,2 для фольгової ізоляції, або 0,95 для ізоляції, що має покриття з вінілу або ПВХ. Після цього за допомогою тепловізора проведіть сканування всієї системи. На екрані приладу в міру їх виникнення в режимі реального часу відобразатиметься весь процес зміни температури на поверхні ізоляції труб.

Місця витоків будуть видні у вигляді зон з підвищеною температурою в місці витоків, з наступним плавним переходом від гарячої зони до областей з близькою температурою або рівною температурі навколишнього середовища.

Тепловізор, при необхідності, так само може і записати відібрані зображення, що викликають особливий інтерес для їх подальшого завантаження та перегляду. Знаходження витоків повітря із труб вентиляційної системи прихованих за стінами чи перегородками. Виконайте за допомогою тепловізора початковий огляд стін, що закривають труби вентиляційної системи при вентиляторах обдуву, що не працюють. Увімкніть вентилятор та повторіть початковий огляд. Порівняйте результати огляду при відключених та працюючих вентиляторах подачі повітря.

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

Помітні відмінності температури говорять про так звані зворотні витікання повітря, що викликаються існуючою різницею тиску повітря між стінами, що стимулює приплив зовнішнього повітря та появу вологи.

Зупиніть роботу обладнання, що охолоджує або обігріває. Повторіть сканування стін.

Також необхідно досліджувати показання температури на стінах, сусідніх із трубопровідною системою.

Якщо градієнти температури нерівномірні або розмазані, це може говорити про наявний витік у каналах вентиляційної системи.

Слід уважно переглянути температурні показання навколо отворів та вздовж плінтусів.

У разі необхідності ІЧ-камера зможе записати вам відібрані зображення, що викликають особливий інтерес для їх подальшого завантаження та перегляду. Перевірка нагнітальної труби дифузора та поверхневої температури стелі. Зупиніть роботу обладнання, що охолоджує або обігріває. Проскануйте зовнішню поверхню дифузора вздовж стелі у напрямку до кутів приміщення.

Простежте поверхневі зміни температури стелі, щоб оцінити розподіл тепла. Простежте зміни температури в кутах приміщення та примикання стін до стелі. Це забезпечить вам дані для попереднього аналізу ситуації, перш ніж ви приступите до установки обладнання для точного визначення ефективності роботи системи. Нормальною вважається ефективність дифузора, якщо величина його викиду дорівнює 75% до 110% відстані від дифузора до примикання стіни та стелі.

Також за допомогою тепловізора можна обстежити ізоляцію будь-яких інших об'єктів для пошуку місць витоків та втрат тепла. А саме: технологічне обладнання, ізоляція бойлерів, проточних водонагрівачів. Стін, що поділяють не кондиціоновані та кондиціоновані приміщення. Ізоляцію будь-яких каналів та труб. На екрані тепловізора вищі температури мають зміщення до білого кольору, а низькі температури до чорного кольору. Оглядати стіни та стелі кондиціонованих приміщень з метою перевірки однорідності температур.

В лабораторії кондиціонування ОНАХТ проводимо дослідження системи кондиціонування повітря завдяки тепловізору.

*Наукові керівники доц Жихарева Н.В., доц.Когут В.О.*

---

## **ТРЬОХСТУПЕНЕВІ АМІАЧНІ СХЕМИ**

*Матюшко А.С., магістрант ІХКЕ ОНАХТ, м. Одеса  
Керівник доцент Піщанська Н.О.*

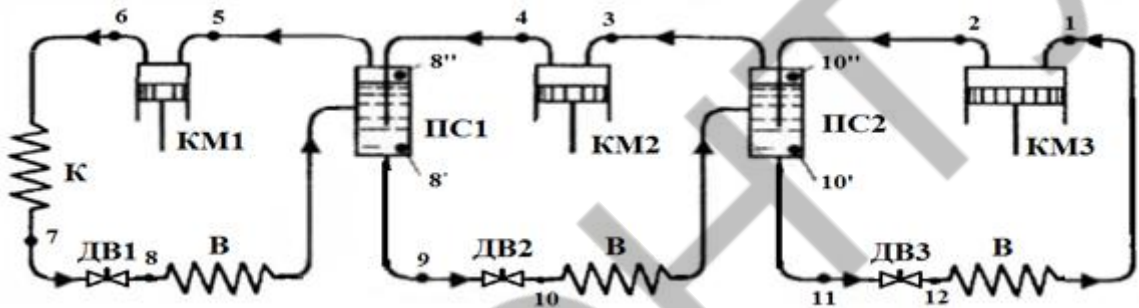
Об'єкт дослідження виступили цикли та схеми аміачних холодильних установок, які працюють на три температури кипіння.

Метою роботи стала необхідність провести аналіз цих схем, та обрати найбільш ефективну з точки зору термодинаміки та економічності.

Схеми холодильних установок можна представити скомпонованими з декількох характерних вузлів зі своїми специфічними особливостями. Такі вузли можуть бути утворені з елементів холодильної установки по їх функціональному призначенню. Вузли устаткування відрізняються деякими особливостями, обумовленими застосуванням різних способів охолодження (безпосереднього або непрямого), різним числом ступенів стиснення і температур кипіння, типом встановленого устаткування і кількістю встановлених одиниць. В нашому варіанті холодильна установка має три температури кипіння. Розглянемо три аміачні схеми, які можуть забезпечити ці режими. Децентралізовані схеми не розглядалися.

Традиційна трьохступенева аміачна схема.

Сама холодильна схема представлена на рис.1.

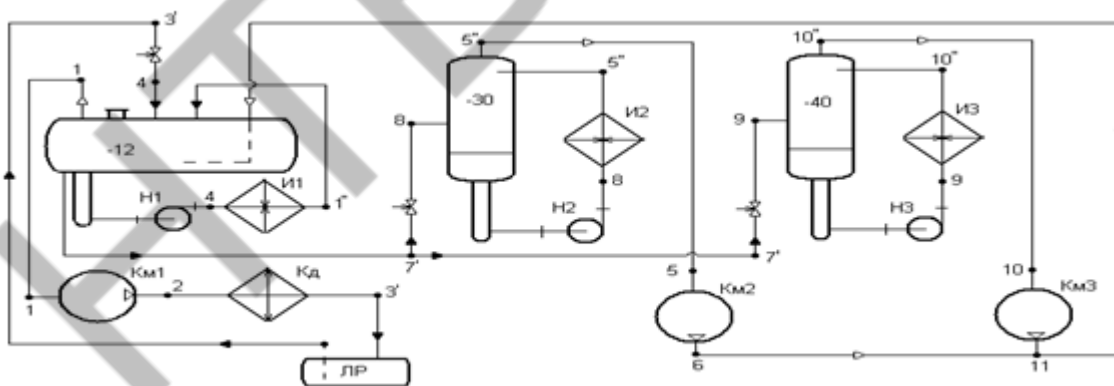


*Рис.1 Схема трьохступеневої аміачної холодильної установки*

Ця схема – безнасосна. Кипіння холодильного агенту здійснюється в кожухотрубних випарниках. За допомогою насосно циркуляційної схеми з проміжним холодоносієм забезпечується температурний режим в холодильних камерах.

Компаундна аміачна схема.

Сама схема представлена на рис.2.



*Рис.2. Компаундна схема*

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

Ця схема являється насосно циркуляційною з безпосереднім кипінням холодильного агенту в приборах охолодження. Функції проміжного сосу́ду і циркуляційного ресиверу виконує один апарат ( температура кипіння  $-12^{\circ}\text{C}$ ).

Схема з використанням регуляторів тиску (до себе) на три температури кипіння. Сама схема представлена на рис.3.

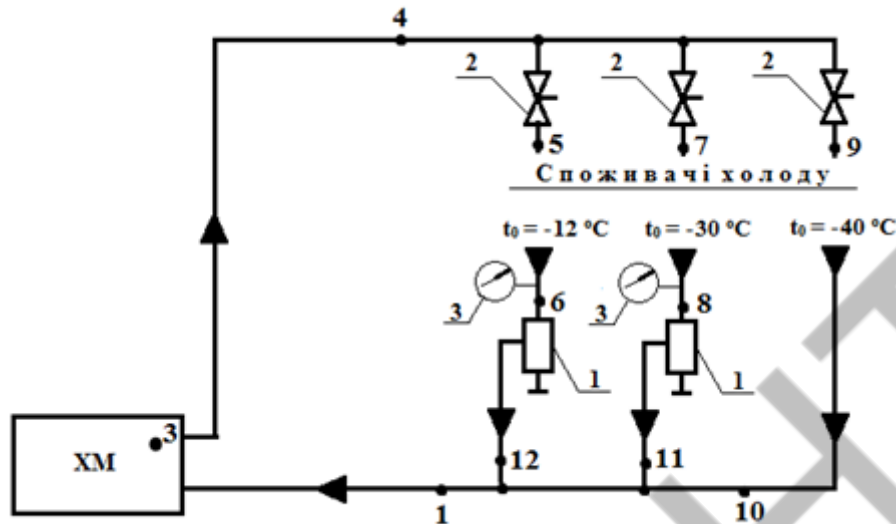


Рис.3. Схема з використанням регуляторів тиску (до себе) на три температури кипіння

Ця схема – безнасосна. Кипіння холодильного агенту здійснюється в приборах охолодження. За допомогою регуляторів тиску (до себе) забезпечується температурний режим в холодильних камерах.

УДК 621.565.4

## ОСОБЛИВСТІ ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ТОРГІВЕЛЬНОГО ЦЕНТРУ

*Харітонов М.А., СВО бакалавр ОНАХТ, Федянін М. О., СВО бакалавр*

Основними етапами розробки та використання великої системи кондиціонування повітря є проектування, будівництво, введення в експлуатацію, експлуатація, підвищення енергоефективності та технічне обслуговування.

Метою дослідницької роботи було визначення переліку засобів та заходів, спрямованих на заощадження ресурсів та енергії, що витрачаються на проектування та подальшого мотажу систем кондиціонування. Для кожного заходу проведено орієнтовне оцінювання потенційної економії і можливість його застосування в системах.

Етапи проектування розділені на ескізний проект, проект узгоджений та узгоджена робоча документація. Між етапом узгодженим проектом та узгодженої робочої документації

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

також розташовуються такі етапи, як їх розробка, експертиза та узгодження з усіма технічними та іншими нормативами.

Дослідження були проведені для конкретно обраного об'єкта – торговельний центр «City-Center».

У підсумку отримані такі практично значущі висновки:

1. Найбільш ефективними заходами з енергозбереження є використання централізованих систем, своєчасне обслуговування систем, та розташування блоків кондиціонерів з розрахунком на найбільшу ефективність.
2. Найменш затратними заходами з енергозбереження є своєчасне видалення льоду та очищення внутрішніх та зовнішніх блоків.
3. Найбільш ефективними заходами з ресурсозбереження є використання систем кондиціонування з інвертором для зменшення витрат та застосування рекуператорів у комплексі із системами кондиціонування та опалення.

*Наукові керівники доц Жихарева Н.В., доц.Козут В.О.*

УДК 621.565.4

## **ЗАСТОСУВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ В КОНДИЦІОНУВАННІ ПОВІТРЯ**

*Горяченко Р.Р., СВО бакалавр ОНАХТ, Свящук В. О., СВО бакалавр*

Роботу сучасних підприємств, заводів, фабрик, торгових чи офісних центрів неможливо уявити без промислових систем підготовки, подачі та контролю температури повітря. Сучасні промислові кондиціонери та холодильна техніка – це сукупність високих технологій та складних механізмів. Вони повинні забезпечувати безперервну роботу за будь-якої погоди для підтримання ідеальної температури у виробничих, офісних та складських приміщеннях.

Однак, підтримання оптимальних умов для роботи або зберігання продукції ґрунтується на споживанні великої кількості енергії.

На ринку є широкий вибір вимірювальних приладів для якісного налаштування та енергоефективної роботи холодильної техніки: манометричні колектори, вакуумметри та детектори витоків фреонів.

Комплект Смарт манометричного колектора, з вакуумметром та бездротовими зондами температури формують бездротову вимірювальну систему, яка вирішує всі основні завдання з налаштування та обслуговування складних промислових систем кондиціонування та охолодження. Всі важливі параметри одночасно відображаються на великому графічному дисплеї колектора манометричного.

Комбінація термогігрометра, струмових кліщів, термометра разом з манометричним колектором формують потужну вимірювальну систему, призначену для вирішення будь-яких завдань з налаштування холодильної техніки.

Опціонально манометричні колектори testo керуються на відстані до 100 метрів за допомогою Програми, і дозволяє здійснити весь комплекс робіт з пуско-налагодження промислової холодильної техніки. Перевірка герметичності всіх з'єднань у магістралях високого та низького тиску

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*  
здійснюється детектором витоків хладагентів Завдяки приладам можливе точне протестування систем кондиціонування повітря

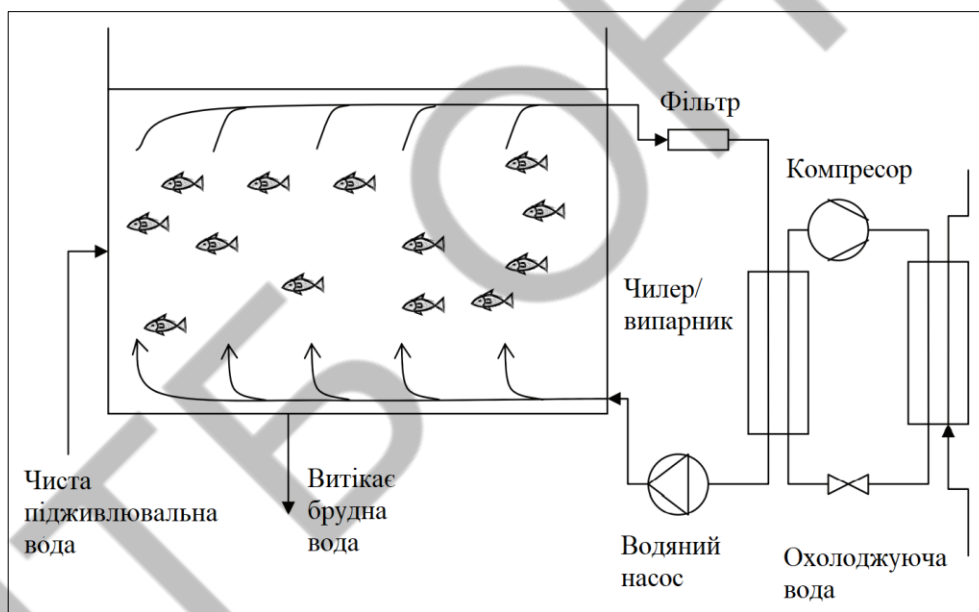
*Наукові керівники доц Жихарева Н.В., доц.Козут В.О.*

УДК 621.565.4

## ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ З ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИМИ ХОЛОДИЛЬНИМИ АГЕНТАМИ НА РИБОЛОВЕЦЬКИХ СУДАХ

*Заруба Г.Г., студент магістр, м. Одеса, ОНАХТ, tezsonaft2021@gmail.com*

Сьогоднішні тенденції на впровадження екологічно чистих холодильних агентів у різні сфери холодильної промисловості не змогли пройти і повз галузь рибальських судів. Вибір упав на використання чилера-генератора з рециркуляцією морської води (РМВ система, рис. 1), який працює на вуглекислому газі – одному з екологічно безпечних холодильних агентів.



*Рис. 1. Спрощений вид системи РМВ. Риба підвішена висхідним потоком води. Частина потоку води може бути видалена та замінена чистою морською водою для підтримки чистоти.*

Низька критична температура вуглекислого газу встановлює верхню межу температури конденсації. Якщо необхідно відвести тепло при вищій температурі, тиск перевищить критичну точку (31.1 °C, 73.8 бар). Тиск вище за критичний визначається як надкритичний. У цьому випадку розсіювання тепла відбуватиметься не у вигляді конденсації за постійної температури, а при температурному глайді. Дана система переважно працює в докритичному діапазоні. Але система спроектована для роботи під високим тиском, що дає дві великі переваги:

**Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.**

1. Система здатна впоратися практично з будь-якими умовами експлуатації, від повного навантаження в транскритичному діапазоні до нижчого навантаження з більш простими засобами управління та без ризику залягання рідини,
2. Немає потреби в деяких досить трудомістких компонентах, таких як розширювальні баки.

Діоксид вуглецю вже застосовувався як холодильний агент у кінець 19 століття, оскільки він був легко доступний, проте обладнання, здатне витримувати високий тиск CO<sub>2</sub>, було великим та важким. Охолодження на основі аміаку з низьким тиском і низьким енергоспоживанням ставало все більш популярним, незважаючи на його запах та токсичність при витіканні. У морській холодильній техніці CO<sub>2</sub> був найпоширенішим холодоагентом до 1950-х років. Після появи фреонів у 1940-х роках популярність діоксиду вуглецю різко впала.

Оскільки надалі виявилось, що CFC агенти шкідливі для довкілля, почалися пошуки нових альтернатив. Природні холодоагенти знову привернули увагу, і в 1990 Густав Лоренцен заново відкрив діоксид вуглецю, коли шукав природний, безпечний холодоагент для використання в автомобільних кондиціонерах. Це нове відкриття призвело до величезних зусиль з дослідження того, як покращити технологію, щоб подолати проблеми, пов'язані з використанням CO<sub>2</sub> у холодильних цілях, та зробити його конкурентоспроможним порівняно з іншими холодоагентами.

До переваг використання діоксиду вуглецю, як холодильного агента можна віднести:

- Високу об'ємну продуктивність, що означає невелику об'ємну витрату, необхідну для певної холодопродуктивності; обсяг всмоктування компресора може становити лише 20-25% від необхідного для інших холодоагентів.
- Високий тиск, але низький коефіцієнт стиснення, що призводить до високого об'ємного ККД.
- Низька в'язкість, що у поєднанні з невеликою об'ємною витратою надає можливість зменшити труби за рахунок невеликих перепадів тиску.
- Невелике значення  $dT/dP$  означає, що зниження тиску призводить лише до незначного падіння температури, що означає, що ми можемо допустити вищі втрати тиску або підвищити ефективність. Низьке  $dT/dP$  також означає високе  $dP/dT$ , тому для утворення бульбашок необхідний низький перегрів.
- Нетоксичний.
- Не спалахує.
- Низький поверхневий натяг для рідкого CO<sub>2</sub>, що призводить до дуже ефективної теплопередачі при кипінні.

**Інформаційні джерела:**

1. Trygve, M. E. RSW Systems with CO<sub>2</sub> as Refrigerant / M. E. Trygve // Norwegian University of Science and Technology. – Sondre Sætrang. – 2009. – 123 p.
2. BOCK. Reference CO<sub>2</sub> fishtrawler [Електронний ресурс]. – URL: <https://bock.de/en/reference/reference-co2-fishtrawler?msclkid=012059d1ba8411ecb92b5570774f10fb> (дата звернення: 04.12.22).

*Науковий керівник: Хмельнюк М.Г., д.т.н., професор, завідувач кафедри холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАХТ*

*Яковлева О.Ю., к.т.н., доцент кафедри холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАХТ*

## **ОСОБЛИВОСТІ ФІЛЬТРАЦІЇ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ДЛЯ ЧИСТИХ ПРИМІЩЕНЬ**

*Скачко І.М., СВО магістр ОНАХТ, Драгнєв М СВО бакалавр*

Сьогодні енергоефективність стала однією з найважливіших характеристик будь-якого проекту. Енергозберігаючій техніці і технологіям присвячуються цілі розділи техніко-комерційних пропозицій, а в проектній документації енергозберігаючим рішенням відводять окремий розділ з докладними описами і розрахунками.

Розглянуті шляхи підвищення підтримки оптимальних параметрів повітря при використанні, деякі технології і елементи, вдосконалення яких безпосередньо підвищує поліпшення умов праці людей і навколишнього середовища

Для приміщень необхідний температурний режим і рівні вологості. Для досягнення потрібного рівня потрібно проводити фільтрацію повітря приміщень, як одне з основних вимог для організації необхідних умов.

Фільтрація повітря для приміщень - дуже важливий етап забезпечення чистих приміщень, їх класу, тому її проектування і забезпечення необхідно продумати заздалегідь і надати професіоналам.

Для якісного очищення повітря в приміщенні застосовується три рівня його фільтрації:

1. Первинна. Використовується фільтр для очищення зовнішнього повітря, що подається в спеціальний кондиціонер.
- Вторинна фільтрація – це кондиціювання повітря з метою захисту фінішних фільтрів. Якщо даний етап опустити, то можуть виникнути певні труднощі, а саме: неможливо досягти необхідного класу чистоти; постійна заміна фінішних фільтрів, що вельми фінансово не вигідно; забруднення продукту мікроорганізмами і частками, що вкрай небажано.

Фінішна фільтрація необхідна для досягнення необхідного класу чистоти повітря.

Варто зазначити, що кількість рівнів фільтрації може бути збільшено в залежності від поставлених завдань. На кожному етапі використовуються фільтри, які вибирають по держстандарту.

Щоб фільтрація повітря для приміщень була на належному рівні необхідно правильно підібрати фільтри, попередньо вивчивши їх характеристики для кожного рівня очищення. Потрібно приділити увагу фільтрам, які усувають молекулярні і хімічні забруднення, а також фільтрують витяжне повітря.

Для скорочення витрат на електроенергію можна зменшити використання повітря в той час, коли не ведуться роботи. Однак при відключенні системи важливо брати до уваги той факт, що виникає небезпека забруднення приміщення до неприпустимого рівня.

Важливо встановлювати стаціонарні фільтри вже після проведення всіх монтажних робіт. При необхідності на період виконання робіт, а також приймання приміщення використовувати «непридатні» фільтри, призначені для тимчасового використання.

Специфікація повітряних фільтрів для критичних застосувань

У середовищах підвищеного ризику, що включають лабораторії, лікарні, ізоляційні приміщення та карантинні зони, використання вискоєфективних фільтрів дрібного очищення є обов'язковим!.

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

Фільтри повинні бути ефективні для фільтрації вірусів і бактерій, однак самі можуть стати розсадниками забруднень через вологість і матеріали. Регулярне знезараження за допомогою фумігації вентиляційної системи та вентиляованого простору допомагає підтримувати фільтри та вентиляційні системи в належному стані. Варто слідкувати, що приплив повітря в поодинокі приміщення відмикається від систем обробки повітря під час процесу. Контакт з експертами забезпечує відповідні поради для здійснення процедури.

У приміщеннях без будь-якої або з відповідною системою вентиляції, наприклад, приміщення, обладнані кондиціонерами типу спліт, рекомендується використовувати окрему систему очищення повітря, включаючи фільтрацію. Така система поєднує фільтри для твердих частинок, газофазні касети та високоефективні фільтри для видалення повітряних частинок, вірусів, бактерій, грибів та цвілі. Система також забезпечує комплексне рішення з очищення повітря, видаляючи як повітряні частинки, так і газоподібні забруднення.

Нами розглянуті лише деякі технології і елементи, вдосконалення яких безпосередньо підвищує ефективність та забезпечує підтримку оптимальних параметрів повітря з використанням фільтрації. Ми вирішуємо проблему – фільтрація та очищення в приміщенні при жорсткому дотриманні нормативних вимог до комфортному середовищі проживання в житлових, громадських і промислових об'єктах, неухильне дотримання технологічних вимог у виробничих процесах і мінімізацію шкідливого впливу на екологію навколишнього

Розроблена методика може бути використана для спільного вибору агрегату прямої системи кондиціонування повітря для чистих приміщень, інверторного кондиціонера і конструкції відповідних зовнішніх огорожень на ранній стадії проектування. Результати математичного моделювання дозволяють визначити енергоефективне обладнання багатозональних систем кондиціонування повітря чистих приміщень при врахуванні чинників та параметрів оптимізації.

*Науковий керівник: Жихарева Н.В., к.т.н., доцент кафедри холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАПТ*

УДК 621.564

## **ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ ТА ЕКОЛОГІЯ**

*Андрій Сазанський, аспірант каф.ХУКП  
Руслан Талибли, аспірант каф.ХУКП  
Юрій Желіба, доц.каф.ХУКП*

Незалежно від того, який би холодоагент не використовувався в холодильній установці, він має дуже великий вплив на довкілля. Комплексна система холодильних установок працює як за схемою з безпосереднім кипінням холодоагенту, так і за непрямую схемою з вторинним холодильним контуром з холодоносієм.

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

В холодильних установках можливо зменшити вплив на довкілля за рахунок підвищення енергоефективності (зменшення «непрямих» викидів CO<sub>2</sub>), які викликані виробленням електроенергії та зниження заправки холодильної системи.

В каскадних холодильних установках, наприклад:

холодоагент верхнього каскаду, який використовується для виконання роботи з відведення тепла із системи, може являти собою будь-який з широкого спектра холодоагентів, включаючи гідрофторвуглеці (HFC), гідрофторолефіни (HFO), а також природні холодоагенти, такі як R717 та R290;

холодоагент нижнього каскаду, R744 з низьким GWP як для середньотемпературних, так і для низькотемпературних холодильних систем, охолоджується і розподіляється при необхідності.

Кількість холодоагенту верхнього каскаду можливо запропонувати зменшити до 70% і більше, а також кількість трубопроводів, що використовуються для холодоагенту верхнього каскаду, є можливість істотно скоротити, що може допомогти запобігти викидам CO<sub>2</sub> за рахунок зниження витоків холодоагенту в системі.

Зменшення заправки холодоагенту в системі дозволить вирішити економічні питання та екологічні. Нові альтернативи холодоагентів, що розробляються компаніями-виробниками, матимуть надбавку до ціни, що залежить від невеликої кількості постачальників і конкуренції при виводі нового продукту на ринок холодоагентів. Поряд з економічними питаннями можливо знизити ризики для компанії-виробника пов'язані з динамічністю ринка в залежності від часу. Зниження заправки системи також може значно покращити гнучкість холодильної установки. Зменшена заправка може означати, що для холодоагентів класу безпеки A2L, A2 та A3 з'явиться можливість до використання у більш широкому діапазоні налаштувань, що відповідає стандартам, як EN 378:2016[1] з посиланнями на стандарти EN 378-1:2016, EN 378-2:2016, EN 378-3:2016, EN 378-4:2016 та ISO 5149:2014. Менша заправка системи також спрощує її експлуатацію, зменшує час на обслуговування та підвищує безпеку системи, в свою чергу знижує загальну вартість системи та забезпечує конкурентну перевагу.

В даний час є безліч альтернатив HFC[2], звичайно в залежності від конкретної сфери застосування. Це і «природні холодоагенти», які тільки зараз у тренді через посилення обмежень встановлених міжнародними протоколами, вимогами та контрольованими екологічними проблемами, пов'язаними з синтетичними холодоагентами. Приклади включають R744, R717, водяну пару та вуглеводні, такі як пропани. Виникають нові типи систем призначених до виконання конкретних завдань.

Вуглеводні: холодильні системи на R-290, R-1270 (пропен або пропілен) а також на R-600a. Холодоагенти мають вкрай низький GWP і ODP, озоноруйнуючий потенціал, рівний нулю, а також є значні переваги з боку енергоефективності порівняно з HFC холодоагентами при вирішенні великого спектру завдань. Оскільки вуглеводні легко спалахують, холодильне обладнання має чітко відповідати зазначеним стандартам UL.

Одним із основних ризиків, пов'язаних з обладнанням UL 60335-2-40 [3] – витік холодоагенту. Важливим чинником зниження ризику витоків холодоагенту – спеціалізована система його виявлення. Детектори витоків холодоагенту, які призначені для виявлення втрат тиску, необхідні для всіх систем у просторі, що перевищують приписану межу заправки холодоагентом, який зазвичай становить приблизно 1,8кг холодоагенту для більшості стаціонарних систем.

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

Спеціалізовані системи виявлення витоків холодоагенту обладнані датчиками, та електронікою керуючої логіки, яка призначена для запуску вентилятора випарника і може використовувати циркулююче повітря для швидкого розсіювання та розведення холодоагенту при нагоді його витоків із системи, що призначається для попередження утворення критичних концентрацій холодоагенту. Системи обмежені на ринку для використання, в торгових автоматах, а також в автономних вітринах комерційного обладнання. На даний момент такі системи можна використовувати у великих автономних пристроях з водяним охолодженням у супермаркетах, а також представлені низка пілотних проектів Європою та США, де надається можливість вирішення комплексних проектів для торгівлі. Вуглеводні широко використовуються для мікророзподілених систем середньотемпературного та низькотемпературного рівня.

R717. Перевага аміаку в тому, що він є енергоефективним і рекомендується нормативно-правовою базою для розробки екологічно-безпечних холодильних систем — на жаль, він токсичний, що обмежувало його використання. Нові технології, що прийшли на ринок, дозволяють зменшити розмір холодильної системи, плюс засоби управління системою підвищують її безпеку і покращують можливості її застосування, розширюючи потенціал. Системи з низьким вмістом аміаку доступні сьогодні в широкому доступі для вирішення низки різноманітних завдань із позитивними звітами виробників у процесі тестування та моніторингу роботи систем після їхньої здачі замовникам.

R744: транскритичні системи з CO<sub>2</sub> найчастіше використовуються в супермаркетах у холоднішому кліматі через необхідність розсіювання відпрацьованого тепла. У Європі тисячі комерційних систем на R744 при значному зростанні частки ринку Північної Америки. Також широко використовуються в південних кліматичних умовах як для нас суші так і для суднових холодильних систем.

HFO: мають дуже низький GWP через їх короткий життєвий цикл в атмосфері. За низького рівня займистості, класу небезпеки A2L, ряд HFO схвалено SNAP (Significant New Alternatives Policy) [4], програмою «розглядає загальні ризики для здоров'я людини та навколишнього середовища, пов'язані з існуючими та новими замінниками, публікує списки та пропагує використання допустимих речовин, а також надає інформацію громадськості». R-1234yf з аналогічними експлуатаційними властивостями R-134a, що використовується в чилерах, є компонентом сумішей HFO-HFC, зеотропна суміш R-448A (R-32 / R-125 / R-134a / R-1234ze/ R-1234yf) GWP 1273 [5] та незеотропна суміш R-449A (R32/R125/R1234yf/R134a) з GWP 1400, використовуються для модифікації HFC систем. У процесі дослідження перебувають показники продуктивності та енергоефективність. Ряд екологічних завдань пов'язаних з HFO холодоагентами все ще потребують вирішення.

#### Література

Introduction to Refrigeration Standard EN 378. AREA. 2016, viewed April 4, 2022 < [https://area-eur.be/sites/default/files/2019-07/AREA%20Introduction%20to%20EN%20378%20-%20for%20Publication\\_0.pdf](https://area-eur.be/sites/default/files/2019-07/AREA%20Introduction%20to%20EN%20378%20-%20for%20Publication_0.pdf)>

Climate-friendly alternatives to HFCs. Climate action. 2022, viewed April 4, 2022 < [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/fluorinated-greenhouse-gases/climate-friendly-alternatives-hfcs\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/fluorinated-greenhouse-gases/climate-friendly-alternatives-hfcs_en)>

Understanding UL 60335-2-40 Refrigerant Detector Requirements 2019. UL, viewed April 4, 2022 < [ul.com/news/understanding-ul-60335-2-40-refrigerant-detector-requirements](http://ul.com/news/understanding-ul-60335-2-40-refrigerant-detector-requirements)>

Significant New Alternatives Policy (SNAP) Program. United States Environmental Protection Agency. viewed April 4, 2022 < <https://www.epa.gov/snap/overview-snap> >

УДК 621.564; УДК 658.18

## НОВІТНІ ТЕНДЕНЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

*Віктор Ялама, аспірант каф. ХУКП  
Ольга Яковлева, доц.каф. ХУКП  
Володимир Грандафілов, доц.каф. ХУКП*

Сучасні фахівці інженерних професій на динамічному ринку робіт показують себе з кращого боку, якщо можуть надати знання політики, умов регулювання, вимог до якості продукту, екологічних аспектів, правил, стандартів відповідно до зміни політичного курсу.

Європейський “GREEN DEAL”(зелений курс)[1], заклав основу для створення змін. 27 держав-членів Євросоюзу підписалися під завданням перетворити Європу на перший кліматично-нейтральний континент до 2050 року. І тому вони зобов'язалися скоротити викиди на 55% до 2030 року порівняно з рівнем 1990 року. Компанії, дослідні лабораторії представляють низку технологій та інновацій здатних зробити істотний внесок в інфраструктуру. Завдання та його вирішення не з легких. Для запобігання глобальному потеплінню нижче 2 градусів Цельсія, і щоб зменшити техногенний вплив на навколишнє середовище, потрібно застосовувати системний підхід, що дозволить ефективно використовувати, як інноваційні технології так і інтегровані рішення, для відмови від існуючих методів з боку промисловості, яка використовує холод, а також це дозволить розробити нові технології для підтримки сценарію сталого розвитку.

**Холод та кріогеніка.** Що стосується холоду (процеси охолодження та заморожування), кріогеніки – це сектори переважно міждисциплінарні, оскільки холод та кріогеніка несуть у собі вирішення пріоритетних завдань значення яких відображається у ланцюжках створення вартості низки бізнесу з розробки продукту або надання послуги. Сюди відносяться всілякі медичні програми, а також центри обробки даних, агропромисловий сектор, хімія та металургія. З дослідження вчених IEA (міжнародного енергетичного агентства) не секрет, що найближчим часом буде спостерігатися зростання попиту на холод, і навіть з можливістю, що перевищить попит на опалення. Звідси впливає завдання розробки холодильної ланцюга відповідно до сценарію сталого розвитку за адекватності технічного та економічного прогресу.

В даний час існуючі холодильні та кріогенні системи та відповідні технології зарекомендували себе, як здатні надати високоякісні продукти та сервіси, але, проте, не було представлено з їхнього боку будь-яких інновацій, здатних зробити прорив у своїй галузі. Існує потреба в інтелектуальних рішеннях та інтегрованих рішеннях, щоб розширити можливості надання інтегрованих рішень мережі електропостачання і опалення та охолодження від конкретних будівель до комплексів та районів у найсуворіших умовах і з усіма постачальниками. Як приклад можна навести реверсивні інфраструктури опалення та охолодження або надання можливості щодо перетворення холоду на електроенергію з відпрацьованим теплом та утилізацією потоків холодної енергії (перетворення попутних

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.* «відпрацьованих газів» та пари резервуарів у продукт з доданою вартістю) промислових процесів, кондиціонування будівель.

Ряд областей вимагають себе особливо пильної уваги, щоб провести дослідження для можливого поштовху з допомогою проривних інновацій. Штучний інтелект та його використання у секторах холоду та кріогеніки може підвищити енергоефективність енергетичних систем. Також послужить ключовим фактором у розробці матеріалів, що відповідають сталому сценарію розвитку. Якщо говоримо про термомеханічні рішення для зберігання, то наявність інтелектуальних систем і можливість інтегрування технологій здатні зробити внесок у розвиток сектора холоду. Використання штучного інтелекту для реалізації технологій із призначенням у промисловості та будівельному секторі, заснованих на вуглецево-нейтральних рішеннях здатне вирішити ряд завдань. Нетрадиційні принципи твердотілого охолодження з нульовим енергоспоживанням, де твердотіле охолодження [2] полягає у впливі зовнішніх полів таких як магнітне, електричне, а також механічне на калоричні матеріали, які здатні термічно реагувати в результаті індукованих фазових перетворень. З боку енергоефективності, подібні механокалоричні сполуки, де фазові переходи викликаються механічними напруженнями, можуть бути найбільш бажаним типом калоричних матеріалів. Використання інноваційних концепції для CCUS[3] (Вловлення, використання та зберігання вуглецю) відноситься до технологій, здатних відіграти істотну роль при досягненні довгострокових цілей на світовому ринку в галузі енергетики та клімату, при використанні холодних та кріогенних технологій. Для реалізації вище обумовлених технологій та їх інтегрованих рішень, на допомогу будуть сучасні технологічні тренди такі як: нанопроводи та оптоелектроніка, тут же може бути використана гнучка електроніка, гідрогелі, а також різні метаматеріали.

#### **Декарбонізація та зменшення техногенного впливу на навколишнє середовище.**

Глобальне потепління, а також техногенний вплив на навколишнє середовище є невідкладними завданнями для фахівців усіх галузей промисловості. Ключові підходи до вирішення проблем для зменшення наслідків зміни клімату є основою використання:

- методів зниження виробництва аміаку;
- методів декарбонізації металургійної промисловості з використанням електропечей;
- методів використання екологічно чистого водню,
- методів використання вторинних енергоресурсів (промислових потоків CO<sub>2</sub>),
- вихід на майже нульовий рівень виробництва аміаку та використання міждисциплінарних підходів до їх інтеграції.

Інтегровані рішення, здатні зробити прорив, спрямовані на зміну поточних промислових процесів, зміну напрямів використання людством джерел енергії, і навіть на зменшення використання природних ресурсів. Регулювання вуглекислого газу та підвищення його цінності, включаючи азот – один із високопріоритетних факторів, допоможе знизити кількість викидів парникових газів та азоту. Використання вуглецево-нейтрального циклу, що включає перетворення вуглекислоти з джерел у паливо з високою щільністю енергії, а також енергоносії, вуглецево-нейтральні матеріали для потреб промисловості. Уловлювання вуглекислоти з повітря за допомогою фотосинтетичних або біологічних процесів, як приклад роботи такого циклу. Уловлювання за допомогою біофізичних процесів вуглекислоти, зберігання вуглекислоти за допомогою біогенних процесів або зберігання CO<sub>2</sub> у геологічних резервуарах з метою подальшого підвищення цінності у продуктах з доданою вартістю.

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

Використання економіки замкнутого циклу допоможе виключити, а також звести до мінімальних показників викиди CO<sub>2</sub>, як результат відпрацьованих матеріалів з промислових процесів. Утилізація вуглекислоти можлива під час використання фізичних чи біологічних систем. Переробка вуглекислоти та її використання, як аміачне паливо. При декарбонізації промисловості з метою зменшення техногенного впливу на навколишнє середовище використовуються сучасні технології та тенденції їх розвитку: вуглецеві нанотрубки, біопластик, мікробні паливні елементи, біоелектроніка, уловлювання та секвестрація вуглецю, розщеплення вуглекислого газу, гнучкі технології. електроніка, метаматеріали, м'який робот [4] (це спроектована мобільна машина, яка здебільшого складається з м'яких матеріалів.)

**Збір енергії, рекуперація, перетворення та зберігання.** Збір енергії — це перетворення енергії у навколишньому середовищі в електричну енергію [5] для живлення бездротових пристроїв, у разі, коли батареї застосовувати немає сенсу (мережі датчиків тіла, видалені системи з обмеженим доступом). Кількість виробленої енергії в діапазоні від десятків мікроватів до декількох ватів. Такий збір енергії використовується як альтернатива батареям, доповнення до них. Рекуперація енергії – перетворення непереробних відходів на тепло, електричну енергію, паливо, придатних від використання. Рекуперація енергії протікає за допомогою низки процесів, спалювання, газифікації, піролізації, анаеробне зброджування та утилізації звалищного газу[6]. Цей процес часто називають шляхом перетворення від відходів до енергії.). Збір, рекуперація енергії, зберігання та перетворення енергії сприяють гнучкості енергетичних систем для проходження сценарію сталого розвитку, у відношенні промислових процесів. Взаємодія між секторами промисловості та великий внесок у шлях переходу до екологічно безпечного середовища також наслідок вище обумовлених дій.

Реальне вимагає як розробки і прийняття недорогих, ефективних, системно-інтегрованих рішень із високим рівнем надійності, щоб можна було використовуватиме оперативних і стратегічних завдань збереження енергії. Засновані на підходах життєвого циклу та спеціалізованого циклічного мислення і без критичної сировини - тих видів сировини, які економічно та стратегічно важливі для економіки, але мають високий ризик, пов'язаний з їх постачанням. Однак, як і у випадку з їх підходом до сталого розвитку, багато фахівців мають вузьке уявлення про циклічність, не враховують належним чином цінність циклічного мислення, а натомість віддають перевагу скороченню відходів та ефективності використання ресурсів. Концепція економіки замкнутого циклу полягає у розбивці 100% успіху досягнення сталого розвитку [7]на секторі: реалізувати бізнес-моделі з метою забезпечити економічне використання продуктів, зацікавити організації інвестувати в екологічні рішення, зменшити видобутку природних ресурсів, скоротити відходи, забезпечити переробку продукції, звести до мінімуму вилучення нових матеріалів та скорочення відходів, скоротити вуглецевий слід, замінити викопне паливо та з використанням системного підходу інтегрувати у будь-який сектор промисловості, що є ключовим елементом стійких енергетичних систем.

Можна позначити такі технології як - метал-повітряні батареї, перетворення енергії на тепло, накопичення енергії на основі реактивних металів, хімічний цикл, молекулярне зберігання. В галузі акумулювання енергії (тепло, холод) або спеціалізованих інтегрованих рішень, що використовуються в будинках, теплицях за допомогою розроблених матеріалів, рішень з інноваційним проривом, призначених для зберігання. Довгострокове зберігання на

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

молекулярній основі змушує задуматися про широкі можливості у майбутньому. Нові тенденції в технологіях включають отримання енергії на основі алюмінію, реактор на розплавлених солях, метаматеріали, матеріали, гідрогелі, водневе паливо, суднобудування плюс технології енергії припливу і відливу, розумні вікна, термоелектрична фарба, вилучення поживних речовин зі стічних вод і багато інших.

Для реалізації інновацій необхідно розробити програму діяльності щодо створення потоків фінансування як для інструментарію, так і для навчальних продуктів для вишів, промисловості та практикуючих фахівців. При чіткому розумінні всіх можливостей і вимог, які необхідно виконати, необхідні пропозиції з високою якістю їх реалізації.

## Література

1. Delivering the European Green Deal. European Commission. 2021, viewed April 6, 2022, <[https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en) >
2. Claudio Cazorla, Novel Mechanocaloric Materials for Solid-State Cooling Applications, 2019, School of Materials Science and Engineering, UNSW Sydney, NSW 2052, Australia, viewed April 6, 2022 <<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1906/1906.02363.pdf>>
3. About CCUS. IEA, 2021 viewed April 6, 2022 <<https://www.iea.org/reports/about-ccus>>
4. Matteo Cianchetti, Embodied Intelligence in Soft Robotics Through Hardware Multifunctionality 2021 viewed April 6, 2022 <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2021.724056/full>>
5. M.E. Kiziroglou, E.M. Yeatman, Materials and techniques for energy harvesting, Functional Materials for Sustainable Energy Applications, 2012 viewed April 6, 2022, <<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/energy-harvesting>>
6. Energy Recovery from the Combustion of Municipal Solid Waste (MSW), EPA United State Environmental Protection Agency 2022 viewed April 6, 2022, <<https://www.epa.gov/smm/energy-recovery-combustion-municipal-solid-waste-msw>>

Opportunity and disruption: How circular thinking could change US business models, ING Financial Holdings Corporation, 2020, viewed April 6, 2022, <<https://www.ing.com/MediaEditPage/Opportunity-and-disruption-How-circular-thinking-could-change-US-business-models.htm> >

УДК 621.564

## ВУГЛЕВОДНІ СЬОГОДНІ

*Віктор Ялама, аспірант каф. ХУКП  
Сергій Ткач, аспірант каф. ХУКП  
Ольга Яковлева, доц. каф. ХУКП*

Згідно з дослідженнями Йозефа Седляка компанії Nides, можна простежити, чому вуглеводні є одним з найкращих варіантів для створення стійкої холодильної промисловості сьогодні з боку екологічної безпеки. Якщо говорити про викиди вуглецю (CO<sub>2</sub>) на глобальній арені, а також вплив CO<sub>2</sub> викидів на глобальне потепління, холодильна

**Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.**

промисловість відіграє важливу роль. Для якісного зберігання продуктів харчування, ліків, вакцин, та вирішення важливих для людства аспектів для підтримання рівня життя та забезпечення благополуччя людини. Розвиток ринку вуглеводнів та прогноз можливо побачити на Рис.1 згідно дослідженням проведеним компаніями [1].

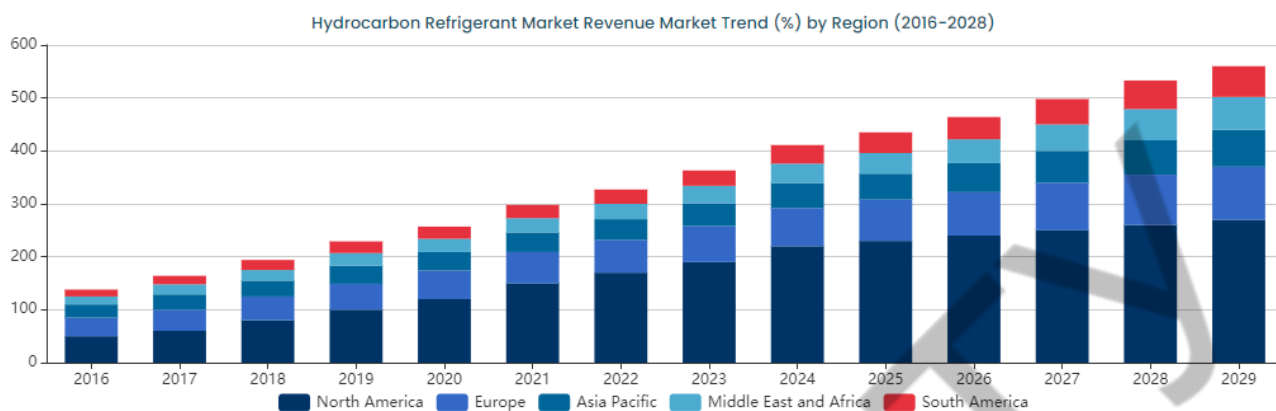


Рис.1 Ринок вуглеводнів.

(*Ресурс: Airgas Refrigerants Inc. Global Hydrocarbon Refrigerant Market Report 2022*)

З 2016 до 2029 майже у 4 рази зросте ринкова виручка ринкова тенденція з продажу вуглеводнів.

Виходячи з оцінок, отриманих Бірмінгемським університетом [2], на частку холодильної промисловості припадає приблизно 10% глобальних викидів CO<sub>2</sub>, де вчені відзначають, що від 20% до 25% викидів CO<sub>2</sub> у секторі холоду викликані витокami гідрофторвуглецевих (ГФУ) холодоагентів та 75% CO<sub>2</sub> викидів пов'язані зі споживанням енергії.

Якщо розглядати вуглеводні (табл.1), то за класом небезпеки вони відносяться до А3 (сильно-горючі), за впливом на навколишнє середовище з дуже низьким GWP і з низькою вартістю, а також нижчим температурним режимом компресора, при цьому у вуглеводнів більш висока енергоефективність порівняно з HFC холодоагентами з високим і низьким GWP. Межа заправки для автономних герметичних систем (IEC/EN), IEC 13LFL (допустимі межі займистості) згідно з міжнародним стандартом, заправка EN 150грам.

Таблиця 1. Критерії холодоагентів.

	вуглеводні	гідрофторвуглеці з низьким GWP
Клас небезпеки	A3	A2L
Вплив на довкілля	дуже низький	низький
Вартість холодоагенту	нижче	дуже висока
Температурний режим компресора	нижче	висока
Енергоефективність системи	багато вище	вище
Межа заправки для автономних герметичних систем (IEC/EN)	IEC 13LFL EN 150 гр	IEC 1,2кг EN 150 гр

(Ресурс: Jozef Sedliak, Embraco, 2021)

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

Nidec Global Appliance вирішили підрахувати, наскільки перехід на природні холодоагенти дозволить зменшити вплив на довкілля. За останні 10 років, компресора Embraco, та їх перехід від гідрофторвуглеців до природних холодоагентів дозволило скоротити потенційні викиди на 1,6 млн. тон еквівалента CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>e) від загального викиду в атмосферу.

Розглядаються основні типи ДФУ - R404A, R134a для холодильного обладнання в комерційному та побутовому холоді:

- R404A з GWP 3920 переведення на вуглеводень R290 GWP 3;
- R134a GWP 1430 переведення на вуглеводень R600a GWP 3.

Embraco компресора, що працюють на природних холодоагентах (вуглеводнях), їх продаж зріс з 40% у 2010 році до 57% на 2021 рік. З 2019 року від 49% зростання продажів показало плюс вісім одиниць всього за два роки, що характеризує тенденцію використання вуглеводнів, що в свою чергу показує намагання сектора холодильної промисловості зробити свій внесок у сталий розвиток із екологічного погляду. Таким чином можна зробити висновок, що сектор холоду працює з двох напрямків на сценарій сталого розвитку: за рахунок зниження власного впливу на навколишнє середовище, а також пропонує можливість придбання обладнання, що дозволяє знизити викиди.

Мета Паризької угоди у тому, щоб обмежити глобальне потепління нижче 2оС, бажано 1,5оС, проти доіндустріальним рівнем. А також працюють світового значення та регіональні договори та правила, спрямовані на зниження викидів ДФУ – Кігалійська поправка до Монреальського протоколу, 2019, де пропонується країнам поступово скорочувати використання ДФУ до 2047. У ЄС також діє регламент «F-Gas», де обумовлено поступове обмеження використання ДФУ з 2006 року.

Компанія Nidec Global Appliance скоротивши використання ДФУ та підвищивши енергоефективність своїх продуктів, прагне скоротити як прямі (внаслідок витоків холодоагенту або неправильної кінцевої утилізації компресора), так і непрямі (у процесі виробництва енергії для споживання холодильним обладнанням) викиди CO<sub>2</sub>. Вже 28 років компанія Embraco працює з природними холодоагентами, одні з яких – вуглеводні. Через низький GWP у вуглеводнів, зменшення викидів CO<sub>2</sub>-еквівалента значно. Підвищення енергоефективності досліджень видно, що перехід з R404A на R290 в середньому дає до 10% економії енергії. Поряд із природними холодоагентами в даний час на ринку доступні нові синтетичні суміші класу небезпеки A1 з низьким ПГП також відомі як A2L [3]:

**– на заміну R134a GWP 1430**

**клас небезпеки A1** (R1234ze(E)/134a GWP 604, R32/1234ze(E)/134a GWP 687, R1234yf/134a GWP 631, R1234ze(E)/227ea GWP 293, R1234ze(E)/1336mzz(E)/227ea GWP 148);

**клас небезпеки A2L** (R32/152a/1234ze(E) GWP 92, R1234yf/R152a/R134a GWP 142, **R1234yf GWP 4, R1234ze(E) GWP 7).**

**– на заміну R404A/R507A GWP 3922/3985 (R22/R407c)**

**клас небезпеки A1** з низьким GWP (R32/125/1234yf/1234ze(E)/134a GWP1387, R32/125/1234yf/134a GWP 1397, R32/125/1234yf GWP 2140),

**клас небезпеки A2L** (R32/1234yf GWP 239, R32/1234yf/152a GWP 251, R32/1234yf GWP 148, R32/1234yf/CO<sub>2</sub> GWP 148, R32/1234yf/152a GWP 139, R32/1234yf/1132a GWP 148) и

**клас небезпеки A2** (R32/1234yf/290 GWP 145)

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

– на заміну **R22/R407C GWP 1810/1774**

*клас небезпеки A1* (R32/125/1234yf/134a GWP 1251)

– на заміну **R410A GWP 2088**

*клас небезпеки A2L* (R32 GWP 675, R32/125/1234yf GWP 698, R32/1234yf GWP 466),

*клас небезпеки A1* (R32/125/1234yf/134a/CO<sub>2</sub> GWP 1494, R32/125/13I1(CF<sub>3</sub>I) GWP 733)

Питання безпеки холодоагентів продовжуватимуть поширюватися зі збільшенням щільності населення. Але зараз вчені рекомендують компаніям-виробникам холодоагентів зосередити увагу на оптимізації всіх параметрів: термодинамічних, хімічних, фізичних, екологічних також економічних. Частка виробників виводять на ринок суміші галогенованих сполук з натуральними сполуками для різних галузей застосування [4]. Проте їхній вплив на навколишнє середовище ще має бути повністю вивчити.

У табл.1 представлені критерії, які слід враховувати при прийнятті рішення щодо переведення обладнання на вуглеводні. Температурний режим роботи компресора у природних холодоагентів краще, тобто не так сильно нагрівається компресор, як у холодоагентів класу небезпеки A2L, що сприяє енергоефективності так само, як і надійності компресора.

Питання займистості вуглеводнів залишається найчастіше обговорюваним, необхідно зазначити, що займистість добре контролюється стандартами безпеки при виробництві та обслуговуванні холодильних систем. Перехід на вуглеводні у побутовому холодильному обладнанні в ЄС, R600a з низькою заправкою – успішний та безпечний.

Для зменшення непрямих викидів CO<sub>2</sub> непогано справляється «регульована швидкість». Перевага в енергоефективності порівняно з фіксованою швидкістю (включення-вимкнення), що традиційно використовується у холодильному устаткуванні. Двопозиційний компресор працює з постійною швидкістю, постійно перемикаючись між включенням та вимкненням для задоволення потреб холодильного обладнання в охолодженні. Цей режим роботи потребує різних навантажень під час запуску; в результаті компресор підтримує максимальну швидкість протягом усього періоду роботи незалежно від теплового навантаження, що призводить до втрати енергії. У компресори з регульованою швидкістю вбудовані технології, що дозволяють знижувати робочу швидкість компресора при досягненні заданої температури, а також збільшувати при необхідності великого відведення тепла без включення та вимкнення компресора. Це дозволяє компресору використовувати необхідну кількість енергії, необхідну на певний проміжок часу без перевитрати, що призводить до економії енергії. З досліджень фахівцями компресорів Embraco "The use of natural refrigerant R290 adds to these applications an energy economy of another 15%, reaching the whole 55% of consumption reduction. It also brings to the applications a major sustainability gain, because R290 does no harm to the ozone layer and has low GWP (Global Warming Potential)"[5]. Представлені факти зміцнюють і підтримують тенденцію розширення застосування вуглеводнів у різних секторах. Деякі проекти окупаються до шести місяців.

При використанні технології підвищення енергоефективності та переведення холодильного обладнання, установок на природні холодоагенти дозволить на 0,4°C [6] від основного прогнозу запобігти глобальному потеплінню.

## Література

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

1. Air Liquide (Airgas Refrigerants Inc.), Global Hydrocarbon Refrigerant Market Report 2022., /Linde Group, Sinochem Group, A Gas International, Harp International Ltd., Tazzetti S.P.A., Oz Chill Refrigerants, Shandong Yueon Chemical Industry Ltd., Puyang Zhongwei Fine Chemical Co. Ltd., Zhejiang Fotech International Co Ltd/ viewed April 2, 2022, < <https://www.cognitivemarketresearch.com/hydrocarbon-refrigerant-market-report>>
2. Jozef Sedliak, Hydrocarbons mean double gain for green, Technical information, Embraco, 2021, viewed April 2, 2022 <<https://refrigerationclub.com/hydrocarbons-mean-double-gain-green/>>
3. Refrigerant report. “LOW GWP” HFO AND HFO/HFC BLENDS. Aspects on the development of HFO and HFO/HFC refrigerants 2021, viewed April 2, 2022 < <https://www.bitzer-refrigerantreport.com/refrigerants/low-gwp-hfos-and-hfohfc-blends>>.
4. ZunipaRoy, GopinathHalder, Replacement of halogenated refrigerants towards sustainable cooling system: A review 2020, viewed April 2, 2022 < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666821120300272> >
5. Vinícius Delmônego. Embraco and Fricon partnership take energy efficiency to a whole new level. 2020, viewed April 2, 2022
6. EIA. Climate change and cooling 2022, viewed April 2, 2022 <<https://eia-international.org/climate/climate-change/>>



## **ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ПРИ ПІКОВИХ НАВАНТАЖЕННЯХ (ЗИМОВИЙ ПЕРІОД)**

*Афанасенко В.О, СВО магістр ОНАХТ, Хоцяновський .С.Ю. СВО магістр ОНАХТ*

Традиційні системи кондиціонування повітря на промислових підприємствах та створення комфортних умов загалом відповідають поставленим завданням. Однак при зміні навантажень доводиться при проектуванні підбирати обладнання з більшою потужністю за відомо збільшуючи капіталовкладення, тим самим знижуючи енергоефективність установки. Розробка систем кондиціонування повітря блочного типу із застосуванням контактних теплообмінників для стабілізації роботи при зміні навантажень дозволяє використовувати стандартне обладнання

Розробка відноситься галузі кондиціонування повітря, а саме до установок та пристроїв для нагрівання повітря у виробничих приміщеннях, де потрібне зональне нагрівання повітря робочої зони.

Установка містить нагнітач повітря, вихід якого сполучений з конфузором контактного теплообмінника ежекційного типу (КТЕТ). КТЕТ містить конфузор, камеру змішування та дифузор. Дифузор КТЕТ сполучений з розділовою ємністю (РЄ). Перший вихід РЄ сполучений з повітропроводом для подачі нагрітого повітря до робочої зони, а другий вихід – з насосом для циркуляції води, який сполучений з основним

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

теплообмінником для нагрівання води (ОТВ). Вихід ОТВ сполучений з входом допоміжного теплообмінника для нагрівання води (ДТВ). ДТВ сполучений з баком для води, вихід якого сполучений трубопроводом з форсункою, встановленою на вході камери змішування КТЕТ.

Всередині РС встановлені перфоровані елементи з отворами діаметром 10-60 мкм. При цьому ОТВ виконаний у вигляді сонячного вакуумного теплового трубчатого колектора. Розробка забезпечує зниження енергетичних та економічних витрат при роботі установки, в тому числі, і за рахунок зменшення витрат води.

*Наукові керівники доц Жихарева Н.В., доц.Козут В.О.*

## **ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ПРИ ПІКОВИХ НАВАНТАЖЕННЯХ (ЛІТНІЙ ПЕРІОД)**

*Остапенко Д.В, СВО магістр ОНАХТ, Зуб М.Г., СВО магістр ОНАХТ*

Традиційні системи кондиціювання повітря на промислових підприємствах та створення комфортних умов загалом відповідають поставленим завданням. Однак при зміні навантажень доводиться при проектуванні підбирати обладнання з більшою потужністю за відомо збільшуючи капіталовкладення, тим самим знижуючи енергоефективність установки. Розробка систем кондиціювання повітря блочного типу із застосуванням контактних теплообмінників для стабілізації роботи при зміні навантажень дозволяє використовувати стандартне обладнання

Розроблений спосіб охолодження повітря виробничих приміщень, що передбачає подачу повітря у вузол обробки повітря та розпилення в потік повітря охолоджуючого агенту у вузлі обробки повітря, який відрізняється тим, що потік повітря прискорюють нагнітачем до 15-20 м/с, подають до 15 конфузора ежекційного пристрою, в якому прискорюють до 45-60 м/с, потім подають до камери змішування ежекційного пристрою, де в повітря розпилюють холодну воду, зволожене і охолоджене повітря подають до дифузора ежекційного пристрою, де потік повітря гальмується та, за рахунок адіабатичного розширення, доохолоджується. Охолоджене та зволожене повітря подають до робочої зони виробничого приміщення

Пристрій Охолодження та зволоження забезпечує зниження енергетичних витрат та досягнення температури повітря, необхідної для підтримання в робочій зоні заданих параметрів технологічного кондиціювання.

Продуктивність пристрою регулюють швидкістю обертання нагнітача, а також контролем подачі охолоджуючої води. Отримання зазначеного технічного результату можливо завдяки спеціальній конструкції ежекційного пристрою, використання охолодження за рахунок розпилення води в потоці повітря, та доохолодження його за рахунок адіабатичного розширення

*Наукові керівники доц Жихарева Н.В., доц.Козут В.О.*

УДК 621.56/.59:623.8.01/.08

## **РОЛЬ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ(GWP, TEWI) У ВИБОРІ ХОЛОДОАГЕНТУ З НИЗЬКИМ ПОТЕНЦІАЛОМ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ**

*Сазанський А.Р., аспірант, Желіба Ю.О.к.тн.доц. ІКХЕ, ОНАХТ*

Екологічні проблеми завжди були рушійною силою в розробці екологічно чистих холодоагентів. Активні дослідження в області оптимізації конструкції систем, підвищення енергоефективності, пошуку нових холодоагентів та ефективного використання старих систем важливі як для теплових насосів, так і для холодильних систем. Хоча вплив людини на кліматичні системи очевидний, важливо мати прозорі та прості у використанні методи при проектуванні енергетичної системи з низьким впливом на навколишнє середовище.

У процесі вибору холодоагенту в основному використовуються такі екологічні показники: GWP, TEWI. У той час як кожен з них служить однакової меті, кількісної оцінки впливу холодоагентів на глобальне потепління, їх використання може призвести до різних висновків.

TEWI – це показник впливу обладнання на глобальне потепління, що ґрунтується на сумарних пов'язаних викидах парникових газів під час роботи обладнання та утилізації робочих рідин наприкінці терміну служби. TEWI враховує як прямі неконтрольовані викиди, так і непрямі викиди, що утворюються за рахунок енергії, спожитої під час роботи обладнання. TEWI вимірюється в одиницях маси в кг еквіваленту вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>). TEWI розраховується як сума двох частин, це:

1. холодоагент, що виділяється протягом терміну служби обладнання, включаючи невідшкодовані втрати при остаточному утилізації.

2. вплив викидів CO<sub>2</sub> від викопного палива, що використовується для виробництва енергії для роботи обладнання. протягом усього свого життя.

$TEWI = \text{прямі викиди} + \text{непрямі викиди} = (GWP \times L \times N) + (E_a \times \beta \times n)$

Де:

L – річний коефіцієнт витoku в системі, кг

N – термін служби системи

n – час роботи системи за рік

E<sub>a</sub> – споживання енергії, кВт·рік

β – коефіцієнт викидів двоокису вуглецю, CO<sub>2</sub>-екв. викиди на кВт/рік

GWP є, мабуть, найбільш часто використовуваним екологічним показником. GWP – це індекс, який порівнює вплив викидів парникових газів на глобальне потепління з впливом викидів аналогічної кількості CO<sub>2</sub>. Вплив оцінюється протягом періоду часу. Часовий горизонт у 100 років найбільш прийнятний і зазвичай припускається, коли не надається інформація про часовий горизонт. GWP — це простий у використанні показник. Чим менше ПП, тим менший внесок речовини в глобальне потепління.

У центрі уваги цього дослідження є вибір холодоагенту для вітрини зберігання мороженої їжі та морозива потужністю 2кВт, терміном використання 10 років там вмістом

**Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.**

холодильного агенту 0.4кг.Для розрахунку були вибрані наступні холодильні агенти R134a,R290,R1234yf,R152a. Нижче в таблиці 1. показані показники GWP для кожного з них.

Таблиця 1.

Холодильний агент	R134a	R152a	R1234yf	R290	R744
GWP(100)	1530	164	0.501	0.02	1

Виходячи з критеріїв GWP,R290,R1234yf та R744 можна вважати найбільш екологічно чистими холодоагентами, тоді як R152a є менш сприятливим, а R134a має найгірший показник із усіх.

З точки зору TEWI, найбільш екологічно чистим холодоагентом є R290 із CO<sub>2</sub> еквівалентом викидів 47,752 кг. Значення TEWI R1234yf та R744 дуже близькі до значення R290 (див. таблицю 2).Холодоагент R134A, у свою чергу, має найбільше значення TEWI, що здебільшого обумовлено високим внеском прямих ефектів, викликаних його високим значенням GWP.

Таблиця 2.

Холодильний агент	R134a	R152a	R1234yf	R290	R744
TEWI CO <sub>2</sub> кг	48,070	47,793	47,768	47,752	47,781

GWP є корисним показником для порівняння різних холодоагентів. Однак це може переоцінити переваги холодоагенту з низьким ПГП для навколишнього середовища, оскільки він не враховує багато інших факторів впливу. TEWI як екологічний показник є більш доцільним для використання ніж GWP, при виборі екологічно чистого холодоагенту з низьким GWP. TEWI чутливий до енергетичних характеристик системи. З цього виходить, що холодоагенти R290, R1234yf і R744 можна вважати однаково хорошими з екологічної точки зору у використанні в холодильному обладнанні.

**Список використаної літератури:**

1. Methods of calculating Total Equivalent Warming Impact (TEWI) 2012 ([https://www.airah.org.au/Content\\_Files/BestPracticeGuides/Best\\_Practice\\_Tewi\\_June2012.pdf](https://www.airah.org.au/Content_Files/BestPracticeGuides/Best_Practice_Tewi_June2012.pdf)) IPCC AR6, “Climate Change 2021: (<https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>)

## ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ СИСТЕМ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ МІКРОКЛІМАТУ В ПРИМІЩЕННЯХ

*Крушельницький Д.О., аспірант ОНАХТ,*

Вентиляція та кондиціонування виробничих приміщень необхідні для створення сприятливого мікроклімату у великих об'єктах, де є багато людей. Щоб підтримувати задану температуру та вологість повітря, потрібні чималі енерговитрати. Обладнання, що використовується в системах кондиціонування, виділяє тепло, яке потрібно видалити. Виробники випускають такі установки різної потужності.

При виконанні технологічних процесів у повітряне середовище приміщень потрапляють виділення у великих кількостях, що негативно впливають на людей та обладнання:

- пил оброблюваних матеріалів, аерозолі;
- хімічні гази та пари;
- продукти горіння;
- волога;
- надмірне тепло.

Системи кондиціонування повітря підтримують параметри мікроклімату, що найбільш точно відповідають вимогам виробництва. Але якщо там присутні люди, то обов'язково дотримуються санітарно-гігієнічних вимог для повітряного середовища.

Системи створення мікроклімату приміщень компенсують шкідливі фактори виробництва та підтримують задані параметри повітря. Це важливо не тільки для комфортного перебування працюючих, але іноді потрібне для правильного функціонування обладнання, виконання технологічних процесів або зберігання готової продукції. Сприятливі умови у приміщеннях збільшують продуктивність праці, збільшують культуру виробництва.

Види промислових кондиціонерів

### 1 Мультizonальні VRV та VRF системи

При такому пристрої кондиціонування внутрішні блоки підключають за допомогою трубопроводів одного зовнішнього. Одночасно можна з'єднати до 30 елементів. Це полегшує монтаж, зменшує вартість робіт, дозволяє у майбутньому розширити систему. Зовнішній блок розміщують у будь-якому місці: у підвалі, на даху, в іншій будівлі. Управління внутрішніми модулями здійснюється бездротовими пультами, а також центральним пристроєм. Особливість такого типу кондиціонування – наявність теплорегулюючих вентилів, що забезпечують контроль та регулювання обсягу холодоагенту, що надходить на внутрішні блоки. Цим вдалося підтримувати теплові параметри із високою точністю. Тут неможливі різкі температурні зміни, що призводять до дискомфорту.

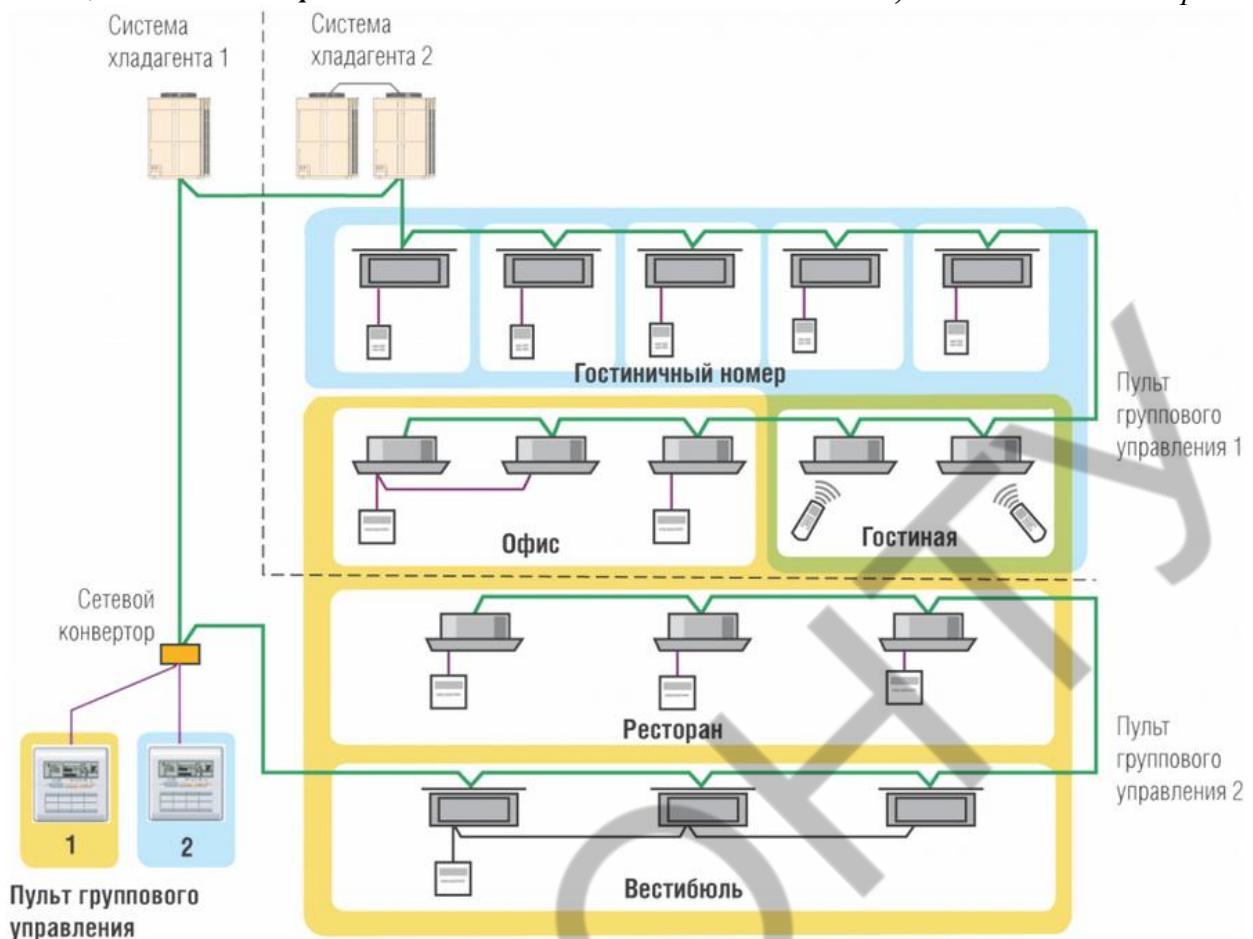


Рис 1. VRF системи

## 2 Системи чилер – фанкойл

У трубопроводах, що з'єднують чилер із фанкойлами, циркулює не фреон, а вода. Холодильна машина охолоджує рідину, потім перекачується в блоки, розташовані в приміщеннях. Пристрій схожий на мультизональну систему, відмінність полягає в теплоносії. Протяжність трубопроводів між чилером та фанкойлами можна робити великими. Кількість підключених елементів обмежується потужністю холодильної машини.

Основні переваги:

- масштабованість – кількість використовуваних фанкойлів обмежена лише потужністю холодильної машини;

- обладнання займає мало місця;

- допускається встановлювати чилер та фанкойли на великій відстані один від одного;

- невисока вартість сполучних контурів;

- безпека використання.



*Рис 2. Чилер-фанкойлові системи*

### 3 Шафа кондиціонер

Такі апарати встановлюють у приміщеннях, де потрібно цілодобово дотримуватися постійної температури повітряного середовища. Зазвичай їх виробляють як закінчений моноблок.

Найважливіші переваги агрегату:

простота монтажу;

зручність обслуговування;

відсутність впливу довкілля;

Широкий діапазон температур.

Такий кондиціонер є однією шафою, але зустрічаються моделі із двома блоками. Забір повітря проводиться з вентиляції. У середині головного блоку встановлена вся необхідна обробка повітряних потоків:

### 4 Автоматизація кондиціонування та вентиляції

Для підвищення ефективності установок, зручності використання, підтримки безперервності функціонування управління системою вентиляції та кондиціонування приміщень частково або повністю автоматизують. Кліматичне обладнання може включатися (відключатися) за встановленим розкладом, змінювати потужність та параметри повітря. При переході на ручний режим керування роботою здійснюється дистанційно диспетчером або безпосередньо у приміщеннях, де встановлений апарат.

У режимі блоку управління, на основі сигналів датчиків, сам підтримує задані параметри повітря, контролює стан окремих вузлів системи (продуктивність вентиляторів, температуру робочих рідин, забрудненість фільтрів, виникнення несправностей). Це підвищує надійність обладнання, збільшує термін служби, полегшує процес експлуатації.

### 5 Економія ресурсів

Влаштування та експлуатація вентиляції та кондиціонування великого об'єкта вимагає вкладення немаленьких засобів. Але заощаджувати на стадії створення проекту майбутньої системи не можна. Від нього залежить ефективність кліматичного устаткування. Важливо оптимально підібрати установку потужності даної будівлі. Основні критерії вибору:

особливості приміщення (призначення, планування, площа, технологічне обладнання, кількість персоналу);

необхідні параметри повітряного середовища;

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

- продуктивність системи;
- ступінь фільтрації повітря;
- характеристики нагрівача (тип, потужність);
- розташування повітроводів та трубопроводів;
- ступінь автоматизації;
- особливості монтажу

Можна зменшити експлуатаційні витрати, підбравши економічну установку. VRF-системи споживають мінімум енергії. Встановивши це обладнання, вдасться заощадити на електроенергії. Ще один спосіб уменшення расходов при експлуатації вентиляції – рекуперація воздуха. Подсчёты указывают, что таким способом удаётся экономить до 70% расходов, уходящих на вентиляцию и отопление. Рекуператор, встроенный в вентиляционную шахту, подогревает входящий с улицы воздух, за счёт внутреннего тепла. Таким образом удаётся уменьшить теплопотери.

### **Висновки**

Створення сприятливого мікроклімату у виробничих приміщеннях – обов'язкова умова сучасного виробництва. Сьогодні випускається багато варіантів такого обладнання. При проектуванні будівлі необхідно враховувати різновид використовуваної кліматичної техніки. Багато компаній, розташовані в Москві та інших містах нашої країни, готові розпочати таку роботу. Але через складність обладнання обслуговування має виконуватися кваліфікованими працівниками, які мають відповідний інструментарій.

*Науковий керівник доц Жихарєва Н.В.*



## **СЕКЦІЯ № 2 –НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНІ ХОЛОДИЛЬНІ І КРІОГЕННІ МАШИНИ ТА УСТАНОВКИ. ГАЗОТУРБІННІ УСТАНОВКИ ТА КОМПРЕСОРНІ СТАНЦІЇ**

### **ОПРІСНЮВАЛЬНА УСТАНОВКА ЯК ЕЛЕМЕНТ СИСТЕМИ ТРИГЕНЕРАЦІЇ ЦЕНТРА ОБРОБКИ ДАНИХ МАЛОЇ ЕНЕРГЕТИКИ**

*Анатолій Басов, викладач-стажист, аспірант кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*

У ХХ ст. населення земної кулі виросло втричі. За цей же період споживання прісної води збільшилося у сім разів, у тому числі на комунально-питні потреби – у 13 разів. Вода, поряд з енергією та продовольством, стала однією з основних глобальних проблем людства. Проблема дефіциту прісної води стає все актуальнішою для багатьох регіонів світу. Її загострення пов'язують із зростанням населення, кліматичними змінами та низкою інших причин

Потребу у питній воді люди стали задовольняти шляхом штучного її знесолення. З розвитком малої енергетики методи отримання чистої прісної води стали одним з корисних ефектів систем тригенерації. Розглянемо пропозицію створення установки опріснення води у межах центру обробки даних малої потужності з індивідуальною енергетичною установкою. Паливні установки малої енергетики мають утилізаційний котел та виробляють два корисних ефекти: електроенергію та тепло. Електроенергія йде на роботу ІТ-устаткування ЦОД. Тепло вираховується у двох напрямках: у якості первинної енергії для тепловикористальної холодильної машини (чиллера), за прямим призначенням – отриманням гарячої води і опаленням, Робота системи супроводжується обов'язковими скиданнями від енергетичної та холодильної установок. роботи ІТ-устаткування.

Скидне тепло центрів обробки даних може бути утилізовано для отримання чистої води з морської води. Рис. 1 демонструє принципову технологічну схему опріснювальної установки.

Термодинамічний цикл установки – розімкнений. На першому етапі циклу воду кип'ятять для створення пари, яка потім використовується як джерело тепла для кип'ятіння солоної води.

Водяна пара на другому етапі циклу виступає в якості середовища, що гріє. Ця процедура триває до останнього етапу, де кипляча солоня вода конденсує водяну пару, що надходить з попереднього етапу. Поступово процес знесолення знижує температурний рівень до межі, коли якість тепла впала і воно непридатне до використання.

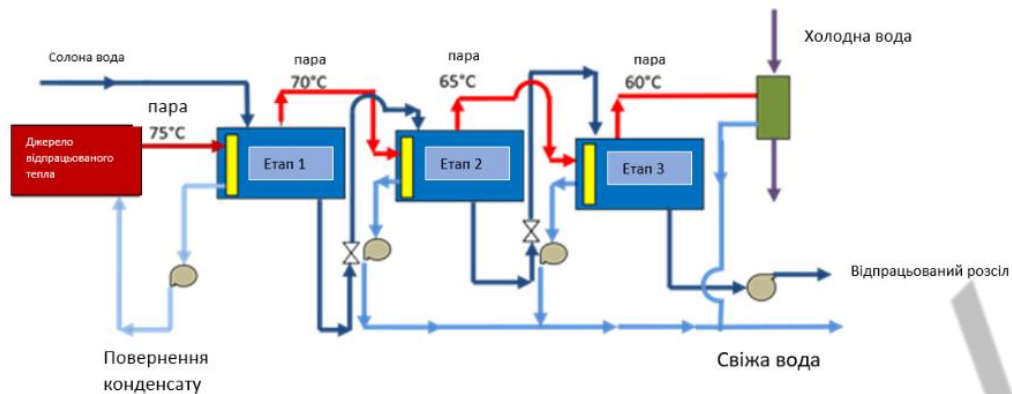


Рис1. Триступенева опріснювальна установка

Необхідна температура скидного тепла  $75^{\circ}\text{C}$  і вище залежно від вмісту солі у воді та системі тиску. Це може бути досягнуто в центрах обробки даних, які використовують двофазні системи охолодження. Скидне тепло при повітряному або рідинного охолодження центри обробки даних потребує посилення. Джерелом тепла високо потенційного є утилізоване тепло енергетичної установки. На виході з установки вода має температуру  $27^{\circ}\text{C}$ , використання скидного тела під час процесу опріснення здійснюється повністю. Підсумовуючи результати аналізу можна зазначити такі проблеми:

Потрібно багатоступеневий термодинамічний цикле в високими температурами скидного тепла. Переваги – повне використання скидного тепла центрів обробки даних для опріснення передбачає можливу ліквідацію потреби в чиллері.

Проблема - чиста вода на даному етапі розвитку енергетики не є пріоритетом для більшості центрів обробки даних.

*Науковий керівник: Морозюк Л.І., д.т.н., професор кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*

## **АБСОРБЦІЙНИЙ ТЕПЛОВИЙ НАСОС ДЛЯ СИСТЕМИ АКУМУЛЯЦІЇ ТЕПЛОТИ ДАТА-ЦЕНТРІВ**

*Артем Куколев, аспірант кафедри екоенергетики, термодинаміки та прикладної екології ОНАХТ*

Багато центрів обробки даних мають сервери з густиною потужності понад  $100 \text{ Вт/см}^2$  і навіть до  $200 \text{ Вт/см}^2$ , Збільшення попиту на відведення тепла збільшує витрати, пов'язані з живленням та охолодженням центрів обробки даних. Таким чином, відновлення та повторне використання скидної теплової енергії має потенціал для значного зниження експлуатаційних витрат дата-центру.

Основний бар'єр для повторного використання оперативних скидів в дата-центрах в тому, що скидне тепло має низький температурний потенціал. Температура скидного тепла визначена температурними обмеженнями електроніки, які в більшості випадків залишаються

нижче  $85^{\circ}\text{C}$ . Така низька температура робить теплові скидання досить складними для повторного використання за допомогою звичайних термодинамічних циклів і процесів.

В роботі встановлена можливість акумулювання скидного тепла дата-центру, як метод сучасної утилізації тепла. «Методом циклів» проведено термодинамічний аналіз двох підвищувальних термотрансформаторів. Розглянуто компресорний КТТ та абсорбційний АТТ цикли за наявності трьох джерел тепла: навколишнього середовища з змінною температурою  $T_x$ , середньопотенційного с постійною температурою  $T_m$  та високо потенційним  $T_z$ , що підлягає акумуляції. Цикли надано на рисунку 1

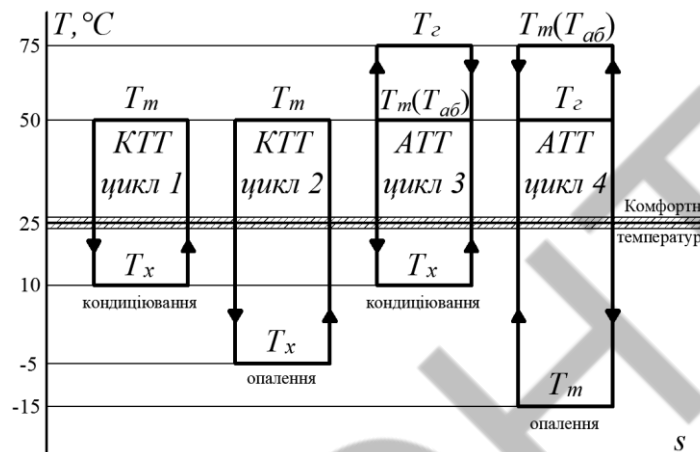


Рис.1. Цикли-зразки АТТ та КТТ термотрансформаторів

Зразками використано еквівалентні цикли Карно, а енергетичну ефективність визначено через відношення температур в процесах підведення та відведення тепла для обох циклів термотрансформаторів, Для підвищувального ТТ

$$COP_{квідв} = 1 / COP_{книзж} = T_z (T_m - T_x) / T_m (T_z - T_x)'$$

де  $T_z$ ,  $T_m$ ,  $T_x$  – високо-, середньо-, низькопотенційний температурний рівень джерел тепла, відповідно Дійсні значення  $COP_{дійсн}$  завжди менші за  $COP_{карно}$  через великі незворотності у прямому циклі за малими різницями температур. Подібні цикли не мають інженерного втілення в компресорних машинах, і розглянуті лише як термодинамічний зразок.

Абсорбційний підвищувальний термотрансформатор АТТ, який іменують «звернена абсорбційна машина» (цикл 4) використовують для опалення за умови середніх температур системи кондиціонування і низьких температур зовнішнього повітря, які спостерігаються під час значних сезонних або добових коливань в умовах континентального клімату.

Прямий цикл здійснюється в інтервалі температур  $T_z$  і  $T_x$ , оборотний  $-T_{m(аб)}$  та  $T_z$ . Як показує термодинамічний аналіз дійсного циклу АТТ, зі зниженням температури зовнішнього повітря збільшується кількість тепла, яке виробляється в абсорбері на рівні  $T_{m(аб)}$ . Отже, тепло абсорбції акумулюється і може бути використано і міру необхідності для роботи чилерів або опалення. Суміщені цикли розчину абсорбційного ТТ з термодинамічної точки зору досконаліше КТТ з однокомпонентною речовиною і з зниженням температури навколишнього середовища підвищує ефективність.

Аналіз здійснювався за однаковими вихідними параметрами: в температурному режимі кондиціонування повітря та середньої холодопродуктивності 10...50 кВт. Термодинамічний аналіз показав, що за ступенем термодинамічної досконалості система

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*  
тригенерації з КТТ має переваги, а економічний аналіз віддав пріоритет СК – АТТ з водоаміачним розчином як робочою речовиною.

Цикл 4 - представляє абсорбційну машину, процеси якої здійснюються у протилежних напрямках, тому вона може у теплі сезони року працювати як понижувальний АТТ.

*Науковий керівник: Косой Б.В., д.т.н., професор кафедри екоенергетики, термодинаміки та прикладної екології ОНАХТ*

## **СИСТЕМА ТРИГЕНЕРАЦІЇ МАЛОЇ ЕНЕРГЕТИКИ У ЦЕНТРАХ ОБРОБКИ ДАНИХ**

*Максим Шараєв, магістр кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*

Індустрія центрів обробки даних працює в різних масштабах. Величезні центри обробки даних займають площу до 50000 м<sup>2</sup> і містять тисячі серверних стелажів і кілька мегават використання енергії від центральних електричних мереж. Поряд з ними існують компактні центри обробки даних з невеликою кількістю обчислювальної потужності, що вміщується в малі простори та мають живлення від малих енергетичних установок.

Майже вся електроенергія, що подається на сервери ІТ-устаткування, перетворюється в тепло, що вимагає використання масштабних систем охолодження для підтримки стабільного температурного режиму стійки сервера в безпечному робочому діапазон. Безпосередньо навантаження ІТ-устаткування становить 30% загальної потужності, що підводиться ззовні. Найбільше енергопостачання до 45% йде до системи охолодження, куди відносять кондиціонери, чиллери, вентилятори, зволожувачі. Енергія у кількості 25% йде на обслуговування інфраструктури ЦОД.

Компоненти системи охолодження, на підставі другого закону термодинаміки, мають власні обов'язкові скидання, тому від енергетичної ефективності системи охолодження (COP) задежить показник ефективності ЦОД. З огляду на сучасний стан енергетичної галузі в світі, зростає зусилля по утилізації скидного тепла у всіх типах енергоперетворювальних систем. У роботі розглянуто способи утилізації скидного тепла ІТ-устаткування та малої енергетичної установки шляхом створенні системи тригенерації.

Паливні установки мають утилізаційний котел та виробляють два корисних ефекти: електроенергію та тепло. Електроенергія йде на роботу ЦОД. Тепло вирисовується у двох напрямках: у якості первинної енергії для холодильної машини (чиллера), за прямим призначенням – отриманням гарячої води і опаленням. Для виробництва холоду в систему енергопостачання включені тепловикористальні холодильні машини – абсорбційні, ежекторні або компресорні. Розглянуто термодинамічні цикли вказаних холодильних машин, проведено співставлення термодинамічної ефективності та технічних обмежень для їх використання, з урахуванням усіх оцінних даних переваги мають абсорбційно-резорбційні холодильні машини. За рахунок впровадження систем тригенерації в енергетичній системі ЦОД забезпечується без будь-яких додаткових витрат первинної енергії.

*Науковий керівник: Морозюк Л.І., д.т.н., професор кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*

## **АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ РЕКУПЕРАЦІЇ СКИДОГО ТЕПЛА ЦЕНТРІВ ОБРОБКИ ДАНИХ**

*Ярослав Петушков, магістр кафедри криогенної техніки ОНАХТ*

Протягом останніх двох десятиліть зростаючий попит на обробку даних, системи зберігання даних і цифрові телекомунікації в поєднанні з одночасним досягненням в області комп'ютерних і електронних технологій призвели до різкого зростання в галузі центрів обробки даних

Зростання відбулося не тільки в кількості центрів обробки даних, але і в розмірах приміщень, що займає ІТ-устаткування, та обчислювальної густини центрів обробки даних. З огляду на триваюче зростання ринку дата-центрів у поєднанні з розвитком компонентів серверів з більш високою густиною потужності, очікується, що частка споживання електроенергії дата-центрами продовжить збільшуватися в осяжному майбутньому. Прогнози щорічного збільшення попиту на електроенергію в дата-центрах сягають 15-20%. Обмежена пропозиція щодо викопного палива і, як наслідок, забруднення повітря і глобальне потепління використання його для виробництва електроенергії, не кажучи вже про зростання вартості електроенергії на багатьох ринках, спонукає зростанню зусиль по рекуперації і повторному використанню скидного тепла у всіх типах центрів обробки даних.

Майже вся електроенергія, що подається на сервер, перетворюється на тепло, що вимагає використання великомасштабних систем охолодження для підтримки серверів в оптимальному робочому стані, що забезпечує стабільний режим температур на стійки сервера.

Потреба в збільшенні попиту на відведення тепла, збільшує витрати, пов'язані з живленням та охолодженням центрів обробки даних. Таким чином, відновлення та повторне використання скидної теплової енергії має потенціал для значного зниження експлуатаційних витрат дата-центру. В роботі проведено аналіз роботи ІТ компонентів та встановлено, що температура скидного тепла визначається температурними обмеженнями електроніки, які в більшості випадків залишаються нижче 85°C. Ця низька температура робить його майже неможливим для повторного використання за допомогою звичайних термодинамічних циклів і процесів. Аналіз системи рекуперації скидного тепла в роботі побудовано на використанні двох термодинамічних принципах: наявність пристрою отримання низької температури та пристрою отримання холоду.

Кожен принцип має бути розглянуто через об'єктив оператора центру обробки даних з урахуванням як модернізації застарілих центрів обробки даних, так і для інтеграції в нові центри обробки даних сучасних технологій.

В роботі аналізовано інформацію щодо пристроїв отримання холоду: теплообмін між потоком охолоджуючого повітря і устаткуванням.

, теплообмін між охолоджуючою рідиною та устаткуванням, теплообмін у системі «теплова труба»- устаткування.

Розгляд зібраної інформації в сфері рекуперації скидного тепла центру обробки даних вибрав ряд умов роботи, щоб представити "типові" характеристики центру обробки даних з трьома пристроями теплообміну між холодоносіями і устаткуванням. Ці дані

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.* будуть використані при подальшому термодинамічному аналізі та технічній оцінці методів рекуперації скидного тепла.

Комплексне порівняльне дослідження між енергоефективністю серверів високої теплової густини з повітряним, водяним та двофазним охолодженням довело переваги двох останніх пристроїв охолодження над системами з повітряним охолодженням, з підвищенням продуктивності процесора на 33%.

*Науковий керівник: Морозюк Л.І., д.т.н., професор кафедри криогенної техніки ОНАХТ*

## ТЕПЛОВИЙ НАСОС В СИСТЕМІ РЕКТИФІКАЦІЇ ДЛЯ ЦІЛОРІЧНОГО ОТРИМАННЯ ЧИСТОГО ПРОПАНУ З СУМІШІ ПРОПАН-БУТАН

*Євген Костенко, аспірант кафедри криогенної техніки ОНАХТ*

В роботі представлено метод формування технологічної схеми теплового насосу в системі низькотемпературної ректифікації суміші пропан-бутан, що можна розглядати як продовження теоретичного дослідження одноступеневих компресорних теплових насосів в малих системах низькотемпературної ректифікації суміші вуглеводнів. Пропан високої чистоти отримують з суміші пропан-бутан низькотемпературною ректифікацією. Запропоновано систему «ректифікаційна колона – тепловий насос». Тепловий насос трансформує тепло, відведене при охолодженні «отдувки» у тепло, що поглинається при нагріванні кубового залишку. Попередні дослідження довели, що, з позицій термодинаміки, кожний блок системи має свій енергетичний баланс, а в системі спостерігаються інші енергетичні відношення, що залежать від температури навколишнього середовища та мольної концентрації суміші:

$$Q_o^{PK} < Q_o^{MN}, Q_K^{PK} = Q_K^{MN}, \quad Q_o^{PK} = Q_o^{MN}, Q_K^{PK} < Q_K^{BN},$$

$$Q_K^{PK} = Q_K^{MN}, Q_K^{PK} = Q_K^{MN},$$

Такі умови потребують надлишок  $Q_o^{MN}$ , або  $Q_K^{MN}$ , залишити у

циклі теплового насосу, забезпечуючи енергетичний баланс системи «ректифікаційна колона – тепловий насос». Запропоновано загальну технологічну схему, що може задовольнити цілорічну експлуатацію системи за будь-яким сполученням стану навколишнього середовища та мольної концентрації суміші пропан-бутан, що розділяється. Принципова схема наведена на рис. 1.

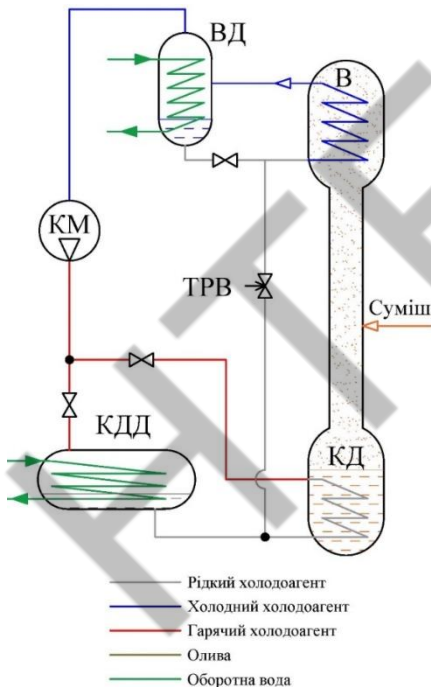


Рис. 1. Принципова схема.

Схема передбачає 3 режими роботи установки для розділення суміші пропан-бутан. У теплий період року використовуються пропан-бутанова суміш з часткою бутану 60%. Також літній період часу характеризується підвищенням навантаження на випарник (В), у зв'язку з високою температурою навколишнього середовища. Через це підвищується навантаження й на конденсатор (КД) відповідно

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

першого закону термодинаміки  $E_{\text{КД}} = E_{\text{КМ}} + E_{\text{В}}$ . Данна кількість тепла являється занадто великою для стабільної роботи процесу ректифікації, через це необхідно відвести частину потоку у допоміжний конденсатор (КДД). У холодний період року використовуються пропан-бутанова суміш з часткою бутану 40%. У даному випадку підвищене навантаження буде на конденсатор и вже необхідно відводити частину потоку від випарника у допоміжний випарник (ВД). У міжсезоння, при температурі близькій до 5°C. При даних умовах відбуваються баланс між теплом підведеним з випарника та теплом відведеним в конденсаторі. Це дозволяє не використовувати ні допоміжний конденсатор, ні допоміжний випарник.

*Науковий керівник: Морозюк Л.І., д.т.н., професор  
кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*

## **АНАЛІЗ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ СХЕМ АБСОРБЦІЙНО-КОМПРЕСОРНИХ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРІВ З ТЕПЛОВИМ ПРИВОДОМ КОМПРЕСОРА**

*Сергій Псарьов, аспірант кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*

Сучасні вимоги, пов'язані з екологічною чистотою робочих речовин, використовуваних у термотрансформаторах, що працюють по зворотних і змішаних циклах, указують на те, що абсорбційні термотрансформатори є альтернативою нині широко застосовуваним компресорним термотрансформаторам. Абсорбційні термотрансформатори володіють багатьма позитивними якостями: широким припустимим температурним інтервалом гарячого джерела, що використовується; можливістю реалізації циклу при будь-яких зовнішніх умовах експлуатації; можливістю вибору екологічно чистої пари «агент-абсорбент»; мінімальним споживанням електричної енергії; можливістю роботи в складі будь-яких комплексних енергоперетворювальних систем. Сучасна абсорбційна техніка розростається і розділяється на окремі наукові напрямки і школи, що у даний час визначають «політику» в області дослідження абсорбційних термотрансформаторів

Водоаміачні термотрансформатори відрізняються великою складністю процесів в порівнянні з термотрансформаторами, що працюють на інших парах «агент-сорбент». Незважаючи на велику кількість можливих схемних рішень водоаміачних термотрансформаторів, кількість відповідних їм термодинамічних схем обмежена. Метою роботи є термодинамічний аналіз гібридних абсорбційних термотрансформаторів з широким інтервалом отримання холоду, здатних працювати у складі систем тригенерації з сонячними енергетичними установками малої енергетики.

Розглянуто гібридні водоаміачні термотрансформатори (ГАКТТ), що складаються з трьох контурів: основного, у якому відбувається термохімічна компресія; компресійного, у якому відбувається механічна компресія; додаткового, у якому створюється робота для приводу компресора. Особливістю схем є те, компресор має тепловий привід. Термодинамічні схеми надано на рис.1 В схемі застосовують компресор як допоміжний пристрій між випарником і абсорбером та генератором та абсорбером для реалізації низькотемпературних холодильних машин. Єдиним обмеженням, що накладається на роботу усіх, що температура охолоджуючого середовища не може бути вищою за температуру

джерела, що гріє. У протилежному випадку змінюється схема АКТТ, тобто з понижувальних вони перетворюються в підвищувальні.

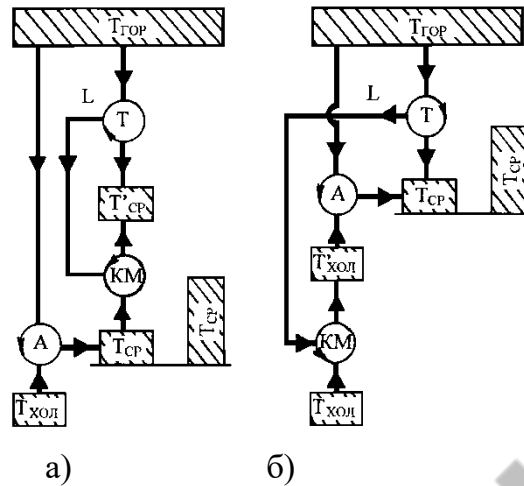


Рис.1. Термодинамічні схеми гібридних ГAKTT із тепловим приводом компресора:  
а) на стороні високого тиску; б) на стороні низького тиску

Розглядаючи ежектор як пароструминний компресор з тепловим приводом багато технологічних схемних рішень АКТТ можуть бути перетворені в АЕТТ, однак термодинамічна схема залишиться без зміни. Термодинамічний аналіз тепловикористальних водоаміачних гібридних установок, у яких поєднуються абсорбційні та ежекторні системи, показав, що можна розробити машини різного призначення, що задовольняють різні вимоги холодильної техніки.

Галузь ефективного використання АЕТТ обмежена температурами кипіння у випарнику  $-32...-15^{\circ}\text{C}$  та займає проміжок між одноступеневими та двоступеневими установками.

*Науковий керівник: Морозюк Л.І., д.т.н., професор кафедри криогенної техніки ОНАХТ*

## ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ PRICO-ПРОЦЕСУ ЗРІДЖЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

*Ольга Бородінська., магістр кафедри криогенної техніки ОНАХТ*

Зріджений природний газ став глобальним паливом із щорічним зростанням обсягу торгівлі. Для виробництва зрідженого газу в теперішній час використовуються сім основних технологій зрідження. Найбільш поширеним є процес PRICO (*poly refrigerant integral –cycle*), також відомий як *Single Mixed Refrigerant (SMR)*. Процес PRICO LNG включає лише один змішаний холодоагент і один потік NG, таким чином робить його найпростішим процесом LNG, існуючим досі. До переваг цієї технології можна віднести низькі енергетичні витрати, простоту обладнання, що застосовується, мінімальний запас холодоагенту, високу надійність. Холодоагент являє собою суміш метану, етану, бутану і азоту. Перевагою

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

сумішевого холодоагенту є те, що він випаровується в широкому діапазоні температур та крива випаровування сумішевого холодоагенту близька за характером до кривої охолодження природного газу.

Поведінка суміші в таких процесах, як охолодження, нагрівання, стиснення, випаровування та конденсація залежить від її складу та частково від хімічних складових суміші, що знаходяться в газовій та рідкій фазах. Таким чином, удосконалення технологій зрідження природного газу має досягатися на основі термодинамічних досліджень поведінки природного газу та його компонентів при охолодженні. Це дозволить розробити наукові та практичні рекомендації щодо підвищення енергоефективності таких установок. У роботі вивчається PRICO-процес із застосуванням термодинамічного аналізу. Інструментарієм для проведення аналізу прийнято: метод еквівалентування реальних процесів та ексергетичний аналіз. Принципова технологічна схема установки представлена на рис. 1

Метод еквівалентування побудований на створенні спрощеної моделі термодинамічних процесів в установці шляхом заміни дійсних процесів із сумішшю, теоретичними процесами із чистими компонентами. Критерій еквівалентування передбачає збереження параметрів у вузлових точках термодинамічного циклу до еквівалентування та після нього. Метод дозволив здійснити внутрішній контроль параметрів кожного компонента суміші, як самостійної робочої речовини.

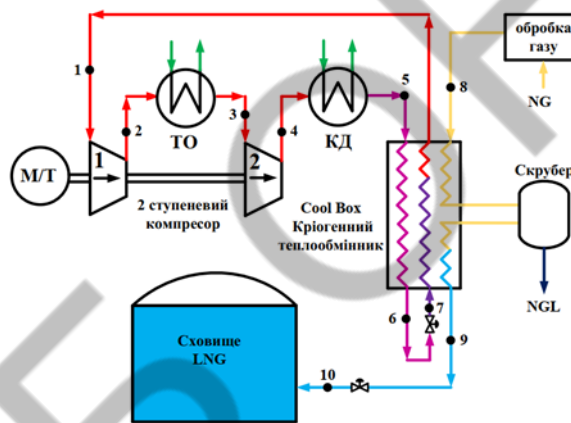


Рис 1. Технологічна схема процесу зрідження PRICO  
ТО – теплообменный аппарат; КД – конденсатор.

Ексергетичний аналіз проводився з використанням підходу «ексергія палива/ексергія продукту». Фізична ексергія матеріальних потоків у процесі PRICO поділена на термічну та механічну складові. Ексергетичний метод встановив місцезнаходження, величину та причини термодинамічної неефективності, які є ексергетичним руйнуванням «деструкцією» через незворотність у кожному компоненті установки та втрати ексергії (передача ексергії в навколишнє середовище).

Баланс ексергії для всієї системи визначається:

$$E_{F(\text{заг})} = E_{P(\text{заг})} + \sum_k E_{D(k)} + E_{L(\text{заг})} \quad (1)$$

Баланс ексергії для k-го компонента:

$$E_{F(k)} = E_{P(k)} + E_{D(k)} \quad (2)$$

де  $E_F$ ,  $E_P$ ,  $E_D$ ,  $E_L$  – ексергетичні показники палива, продукту, «деструкція» ексергії та втрата ексергії при теплообміні потоку з навколишнім середовищем відповідно.

Ексергетична ефективність k-го компонента:

$$\varepsilon_k = \frac{E_{P,k}}{E_{F,k}} = 1 - \frac{E_{D,k} + E_{P,k}}{E_{F,k}} \quad (3)$$

Ексергетичні втрати k-го компонента визначаються як:

$$y_k = \frac{E_{D(k)}}{E_{F(\text{заг})}} \quad (4)$$

Ексергетичні втрати та ексергетична ефективність у компонентах установки представлені в таблиці 1.

Табл.1. Результати ексергетичного аналізу

Компонент	$E_{F(k)}$ , (МВт)	$E_{P(k)}$ , (МВт)	$E_{D(k)}$ , (МВт)	$\varepsilon_k$ , %	$y_k$ , %
КМ1	44,84	37,00	7,84	82,5	8,6
ТО	-	-	2,86	-	3,1
КМ2	46,51	38,83	7,71	83,5	8,5
КД	-	-	7,89	-	8,6
Cool box	200,50	159,20	41,31	79,4	45,1
ДВ1	36,77	33,73	3,04	91,7	3,3
Загальна система	91,48	20,82	70,66	22,7	77,2

За результатами розрахунків встановлено, що енергетична ефективність установки в аналізованому режимі становить  $COP=0,44$ .

Найбільш неефективним компонентом у температурному режимі, що розглядається, є криогенний теплообмінник (Cool box). Для підвищення його енергетичної ефективності необхідно інтенсифікувати процес теплопередавання.

#### Інформаційні джерела:

1. Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., 1996. Thermal design and Optimization. Wiley, New York, NY
2. Boyano, A., Blanco-Marigorta, A.M., Morosuk, T., Tsatsaronis, G., 2011. Exergoenvironmental analysis of a steam methane reforming process for hydrogen production. Energy Int. J. 36 (4), 2202e2214.
3. Tsatsaronis, G., Morosuk, T., 2008. A general exergy-based method for combining a cost analysis with an environmental impact analysis. In: Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Boston, Massachusetts, USA, 2008 files IMECE2008e67218 and IMECE2008-67219.
4. Xu, X., Liu, J., Jiang, C., Cao, L., 2013. The correlation between mixed refrigerant composition and ambient conditions in the PRICO LNG process. Appl. Energy 102, 1127e1136

*Науковий керівник: Соколовська-Єфименко В.В., д.т.н., доцент кафедри криогенної техніки ОНАХТ*

## КРІОГЕННЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАСАДОЧНИХ КОЛОН З ВИКОРИСТАННЯМ СТУПЕНЕВОГО КОНДЕНСАТОРА-ТЕРМОСИФОНУ

Медушевський Є.В., аспірант кафедри кріогенної техніки ОНАХТ, м. Одеса

У послідовності отримання важких інертних газів фінішною технологією є ректифікація. Враховуючи відносно невеликі витрати продуктів ( $F = 1 \dots 5 \text{ нм}^3/\text{год}$ ) процес очищення від низькокиплячих домішок здійснюють переважно у колонах з контактним насадковим простором. Так як температури кипіння компонентів, що відокремлюються в колоні ( $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{O}_2$ ) нижче  $100 \text{ K}$  в якості охолоджуючого середовища в конденсаторах колон використовують киплячий азот. Однак застосування цієї відносно доступної та екологічної речовини може призвести до замерзання на стінках конденсатора цільових компонентів ( $\text{Kr}$  та  $\text{Xe}$ ). Температури переходу в твердий стан кріптон і ксенон дорівнюють  $116 \text{ K}$  і  $161 \text{ K}$  відповідно. Тобто, на десятки градусів вище азотних температур. Виключити можливість замерзання  $\text{Kr}$  і  $\text{Xe}$  в процесі азотного охолодження колони можна за рахунок введення в конденсатор проміжного теплоносія. Подібне технічне рішення широко використовується у теплотехніці для відведення охолодження теплонапружених об'єктів. Пристрої такого типу названі термосифонами і є більш спрощеним варіантом теплових труб з пористими наповнювачами. Тепловий потік в таких пристроях значно перевищує інтенсивність перенесення енергії за рахунок теплопровідності металів.

Принцип роботи теплових труб заснований на протічанні пари та рідини. Пара генерується в теплій зоні при охолодженні об'єкта, а рідина утворюється за рахунок відведення тепла зовнішньому охолоджуючому середовищу (рис. 1). Після цього конденсат повертається у теплу зону, де відбувається кипіння. При цьому в термосифон краплі потрапляють в теплу зону під дією сили тяжіння, а в тепловій трубі – за рахунок капілярних сил. На відміну від термосифона, теплові труби з наповнювачем можуть працювати практично в будь-якому положенні і в невагомості, оскільки гравітація практично не впливає на повернення рідини в зону випаровування.

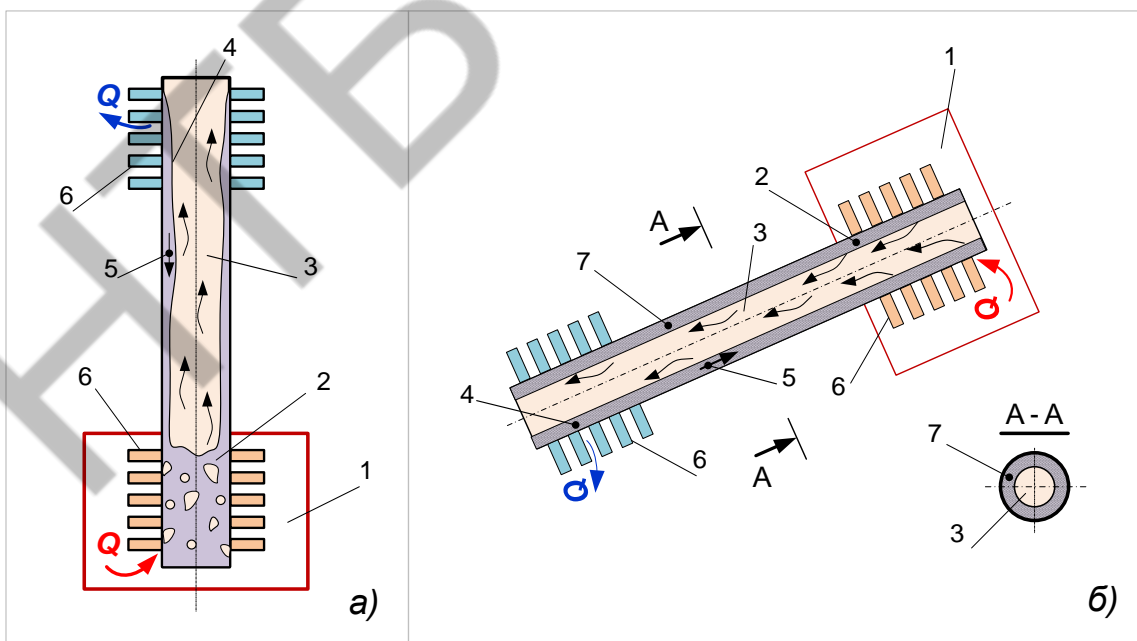


Рис. 1. Основні елементи термосифона (а) та теплової труби (б):

1 – об'єкт охолодження; 2 – зона випаровування; 3 – паровий простір; 4 – зона конденсації;  
5 – напрямок руху рідини; 6 – ребра; 7 – пористий шар (фітіль, кераміка)

На рисунку 2 показані варіанти конденсаторів ректифікаційних колон, в яких між речовиною в колоні та зовнішнім охолоджувачем (рідким азотом) передбачений додатковий контур з проміжним холодоагентом, аналогічно рис. 1а. При роботі звичайного конденсатора зовнішній холодоагент  $N_{2(L)}$  омиває зовнішню поверхню трубок охолодної сорочки 3 (рис. 2а). За рахунок різниці температур порожнини 2 відбувається конденсація парів речовини в колоні  $Kr_{(V)} \rightarrow Kr_{(L)}$ , а зовнішній холодоагент випаровується  $N_{2(L)} \rightarrow N_{2(V)}$  і виводиться у зону скидання. Рідка криптонева флегма  $Kr_{(L)}$  зрешує контактний простір колони 1 і під дією гравітації рухається вниз у протитоці з парою  $Kr_{(V)}$ , забезпечуючи процес ректифікації.

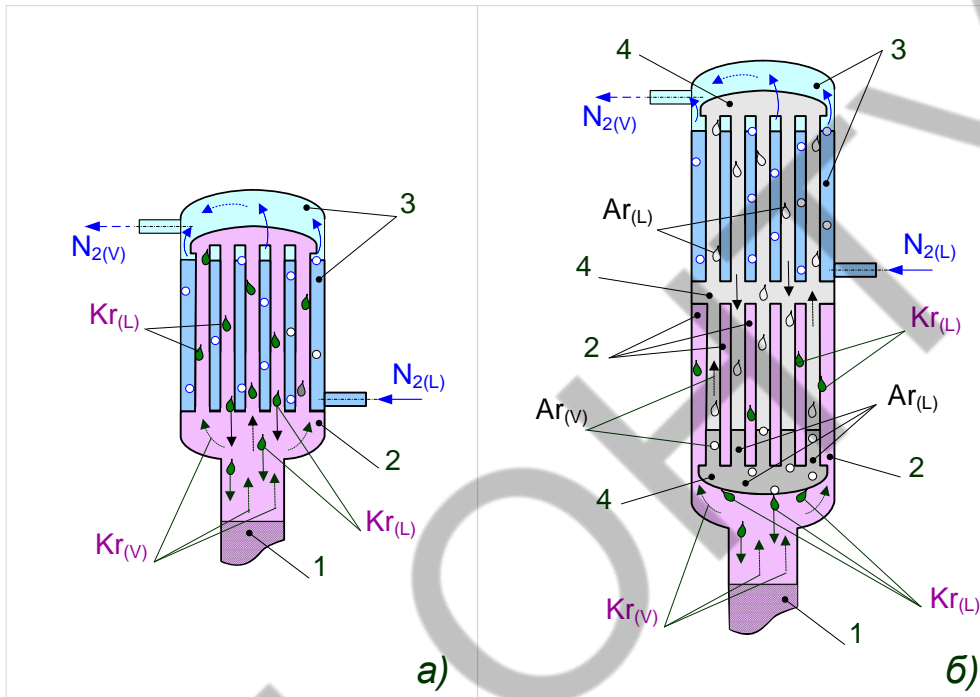


Рис. 2. Схеми конденсаторів колон ректифікації. а) – класичного типу; б) – з термосифоном: 1 – контактний простір колони, заповнений масообмінними елементами; 2 – порожнина конденсатора, у якій генерується криптонева флегма; 3 – охолодна сорочка з киплячим азотом; 4 – порожнина термосифону, заповнена проміжним холодоагентом, наприклад, аргоном; індекс «L» – рідка речовина; індекс «V» – пара.

У конденсаторі з термосифоном є додаткова порожнина 4 (рис. 2б), яка заповнена, наприклад, аргоном. За рахунок відведення тепла до киплячого азоту в порожнині 3 пари проміжного холодоагенту конденсуються у верхній частині апарату  $Ar_{(V)} \rightarrow Ar_{(L)}$ . Рідкий аргон стікає в нижню секцію 2 і служить для відведення тепла від парів криптону та конденсації флегми. Проміжний холодоагент в термосифон вибирають з урахуванням властивостей речовини, що очищається в колоні. Аналіз  $P$ - $T$ -залежностей показує, що для запобігання замерзанню криптону достатньо підтримувати в термосифоні тиск не нижче 1,0 МПа. Щоб запобігти переходу в твердий стан аргону слід підтримувати тиск у азотній ванні  $P_{N_2} > 0,2$  МПа. Стабілізацію тиску  $P_{N_2}$  можна здійснити за допомогою пневматичного регулювальника типу «до себе».

Для ректифікації ксенону у якості проміжного холодоагенту рекомендується використовувати тетрафторметан (R14). Крім аргону і фреону-14 у якості проміжних холодоагентів можуть бути застосовані також метан, криптон і оксид азоту.

*Науковий керівник: Симоненко Ю.М., д.т.н., завідувач кафедри криогенної техніки ОНАХТ*

## **РОЗРОБКА ГАЗИФІКАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ КИСНЮ**

*Перегинець С.М., бакалавр ОНАХТ, м. Одеса*

Нині у різних галузях машинобудування використовують рідкі криогенні продукти. Такими товарами, тобто газами за нормальних умов, що знайшли найбільше застосування, є метан, кисень, аргон, азот, водень та гелій. Широке використання зазначених речовин у рідкому стані зумовлено, з одного боку, загальним прогресом розвитку криогенної техніки: удосконаленням процесів та обладнання для зрідження та вилучення з газових сумішей перерахованих вище продуктів, а також обладнання для зберігання продуктів та їх транспортування.

Системи зберігання рідких криогенних продуктів та їх видачі споживачам забезпечують накопичення та зберігання продуктів у рідкому вигляді, отримання заданих параметрів продуктів за температурою і тиском та видавання продуктів.

У зв'язку з необхідністю створення рідинних криогенних систем, враховуючи специфічні властивості продуктів, за останні десятиліття з'явилися численні дослідження окремих процесів, що супроводжують зберігання, газифікацію та транспортування робочих рідин.

Широке застосування у всьому світі отримали криогенні системи для зберігання та газифікації продуктів розділення повітря, в яких випаровування та підігрів продуктів здійснюються за рахунок конвективного теплообміну з навколишнім повітрям.

Дана робота з розрахунку газифікаційної установки для отримання кисню виконана на базі стандартної газифікаційної установки, що випускається в промисловості.

Газифікаційні установки насосного типу призначені для прийому рідких криогенних продуктів (аргону, азоту, кисню) з транспортних заправників у резервуар, їх тривалого зберігання з мінімальними втратами, їх подавання на насос з подальшою газифікацією та видачею споживачеві, на наповнювальну рампу або киснепровід.

Спроектовано криогенні ємності, що призначені для накопичення, зберігання та видачі споживачеві рідких криогенних продуктів. При розробці конструкції ємностей вирішуються такі питання: вибір форми ємності, системи опор та підвісок, схеми виведення трубопроводів тощо, забезпечення теплового захисту та способу підтримки вакууму в ізоляційних порожнинах; вибір матеріалу судин та інших конструктивних вузлів.

Форму резервуару вибирають з урахуванням його призначення, зручності виготовлення, перевезення та експлуатації. Для забезпечення мінімальних теплоприпливів кращими є сферичні резервуари, оскільки для сфери відношення поверхні до обсягу мінімально.

*Науковий керівник: Грудка Б.Г., к.т.н., доцент  
кафедри криогенної техніки ОНАПТ*

---

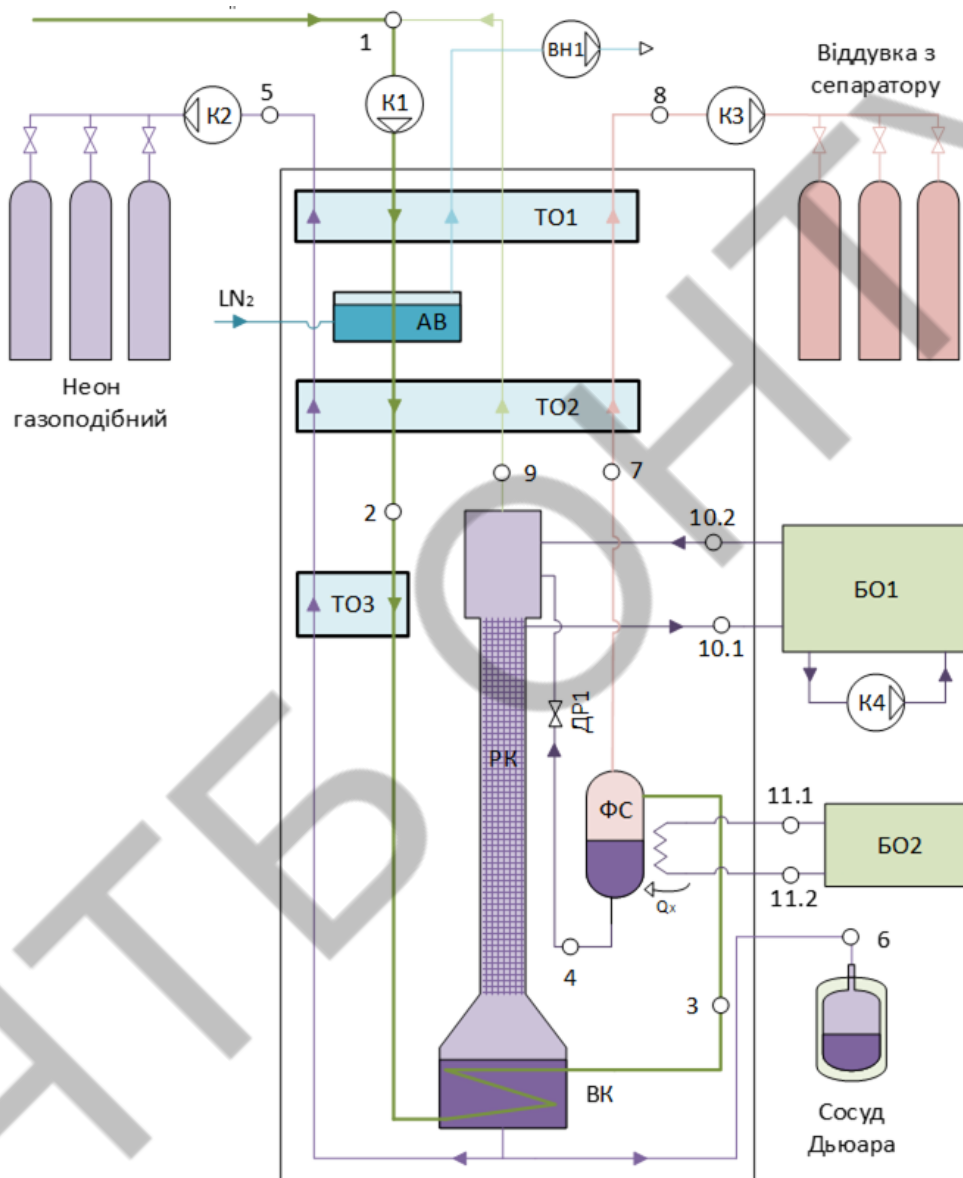
## **СХЕМА РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ РІДКОГО І ГАЗОПОДІБНОГО НЕОНУ**

*Дикаренко Л.О., Кісов Ю.І., магістранти ОНАХТ, м. Одеса*

Аналіз літературних джерел показує, що більшість промислових установок для розділення неонгелієвої суміші використовують конденсаційний метод. Незважаючи на їх переваги, існуючі конденсаційні установки мають ряд недоліків, до яких належать

неможливість одержання чистого гелію та необхідність використання спеціального холодильного циклу. Розглянемо схему представлену на рис. 1.

Остаточне розділення неонгелієвої суміші на Ne і He відбувається при температурі близько 30 К і здійснюється у насадковій колоні. Для криогенного забезпечення процесу застосований вбудований дросельний цикл, в якому у якості робочого тіла використовується згадана суміш. У тому випадку, коли продукційний неон, що отримується в установці, виводиться з контуру в рідкому вигляді, потужності вбудованого неонгелієвого циклу виявляється недостатньо.



*Рис.1. Схема установки ректифікації для отримання чистого неону: TO1, TO2, TO3 – рекуперативні теплообмінники; АВ – азотна ванна; ВК – змійовик у кубі колони, що виконує функції випарника-конденсатора; ФС – фазовий сепаратор; РК – ректифікаційна колони; К1, К2, К3 – мембранні компресори; ВН1 – вакуумний насос для відкачування парів азоту, що кипить у ванні АВ; БО1, БО2 – додаткові рефрижераторні цикли.*

Установка працює в такий спосіб. Потік суміші з вмістом неону близько 77% (решта – гелій) стискається компресором К1 до тиску 2,5 МПа. Попереднє охолодження потоку до  $T=40\text{K}$  (точка 2) досягається в теплообмінниках-рекуператорах TO1 та TO2, а також

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти  
«Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

вакуумної азотної ванни АВ. Подальше зниження температури  $T=31\text{K}$  суміші (точка 3) відбувається при проходженні суміші через ТО3 та змійовик ВК.

Крім охолодження суміші ВК забезпечує кипіння рідини у кубі колони РК, шляхом перенесення тепла до неї.

Після охолодження в змійовику ВК куба колони порорідинна суміш надходить у фазовий сепаратор ФС. Він слугує для поділу потоку на неоновий концентрат і гелієву віддувку, що містить близько 80% гелію. Віддувка відводиться з контуру через каскад теплообмінників ТО2 і ТО1 для подальшої утилізації. Склад віддувки в точці 7 визначається параметрами фазової рівноваги в сепараторі. Ці умови забезпечуються відповідними засобами кріостатування.

Неоновий концентрат, що складається на 98% з неону (точка 4), дроселюється у верхню частину колони. У процесі ректифікації рідка флегма рухається через шар насадки. Назустріч їй йде потік пари, що утворюється під час кипіння кубової рідини за рахунок тепла змійовика ВК. Внаслідок інтенсивного тепло- та масообміну на насадочній поверхні з флегми випаровується практично весь гелій. Таким чином, за висотою колони встановлюється стійкий градієнт температур та концентрацій від 98% (вгорі) до 99,999% (у кубі).

Кубовий потік чистого неону із сумарним вмістом домішок менше 10 ppm газифікується, відігривається в каскаді теплообмінників (точка 5) та закачується компресором К2 у балони.

У тому випадку, коли продукційний неон, що отримується в установці, виводиться з контуру в рідкому вигляді (точка 6) в посуд Дьюара, потужності вбудованого неонгелієвого циклу виявляється недостатньо. Для підвищення холодопродуктивності до складу установки включений додатковий рефрижераторний цикл БО1 або БО2.

У верхній частині колони утворюється газовий потік віддувки, що складається переважно з неону (точка 9). Після відігріву в теплообмінниках віддувка колони змішується з вхідним потоком суміші в точці 1, стискається компресором К1 і вводиться в контур сепаратора.

Віддувка сепаратора ФС є цінним продуктом і викидати її в атмосферу марнотратно. Переробляти установці РК, тобто. вводити назад у суміш, безглуздо – гелій буде накопичуватися в контурі, викликати наростання тиску, знизить холодопродуктивність циклу. А головне – висока вхідна концентрація гелію не дозволить колоні забезпечити в кубі продукт високої чистоти. Тому гелієвий потік сепаратора точки 7-8 закачується компресором К3 балони.

За наявності БО1 газоподібний неон відбирається над контактним простором колони і спрямовується на нього (точка 10.1). Після проходження БО1 рідина (точка 10.2) дроселюється у колону через ДР2.

Другим варіантом заповнення холодопродуктивності установки є відведення тепла від ФС (точка 11.1 і 11.2), за допомогою рефрижераторного циклу БО2.

Оскільки область температур охолодження від 4 до 30 К є найенергоємнішою, для кріостатування об'єктів у цьому температурному діапазоні застосовні три робочі тіла: неон, водень і гелій, а також неонгелієва суміш.

Виконано порівняльний аналіз неонових та гелієвих рефрижераторних циклів на температурний рівень 27 К, проведено порівняння циклів з циклом на неонгелієвій суміші. Використання водню пов'язане з технічними труднощами. Діапазон його займистості в суміші з повітрям становить 4...75%, в інтервалі концентрацій 18...65%  $\text{H}_2$  вибухонебезпечний. З цієї причини водень у якості робочого тіла застосовується вкрай рідко. Вибір неону у якості холодоагенту майже перебиває інтервал між температурами кипіння рідкого азоту та водню. Порівняно з  $\text{H}_2$  неон відрізняється низкою експлуатаційних переваг, найважливішими з яких є безпека та відсутність орто- та парапереходу.

*Науковий керівник: Симоненко Ю.М., д.т.н., завідувач  
кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*

УДК 621.5

## **УТИЛІЗАЦІЙНА ТУРБОДЕТАНДЕРНА УСТАНОВКА ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ**

*Шиян Л. Р., магістрант ОНАХТ, м. Одеса*

Одним із актуальних та першочергових завдань ефективного розвитку України являється проблема енергозбереження та енергоефективності, у тому числі, при транспортуванні та споживанні природного газу, який займає провідне, а інколи, і визначальне місце в енергетичних системах переважної більшості країн.

Природний газ, основу якого складає метан, транспортується по магістральних трубопроводах при тисках 4,5-7,5 МПа, що визначається вимогами до їх пропускної спроможності, а тиск в процесах його практичного споживання є значно нижчим. Перед подачею газу з магістрального газопроводу до споживача тиск проходить кілька етапів зниження на газорозподільних станціях (ГРС) та газорозподільних пунктах (ГРП). Наприклад, на більшості ГР його знижують від 4,5-7,5 МПа до 1,2-1,6 МПа, а на ГРП від 1,2-1,6 МПа до 0,15-0,3 МПа [2].

При традиційній системі газопостачання тиск газу знижується в простих, з технічної точки зору, редуційно-дросельних установках, в яких має місце термодинамічно неефективний процес розширення газу. При цьому практично не змінюється ентальпія природного газу, але втрачається його роботоспроможність (ексергія), так як процес адиабатичного дроселювання в редуційних установках являється необоротним та супроводжується високим рівнем деградації енергії.

Таким чином технологія споживання природного газу супроводжуються значними втратами потенційної енергії при зниженні тиску і тому, енергозбереження стає одним із факторів, що визначають ефективність та економічність систем підготовки та транспорту природного газу. Утилізація енергії надлишкового перепаду тиску природного газу при його редукуванні в системах газорозподілу та газоспоживання є одним із видів енергозбереження в газотранспортній системі та виявляється досить перспективною на сьогодні.

В системі трубопровідного транспорту природного газу мають місце декілька процесів, пов'язаних із зниженням тиску та втратою потенційної енергії газу в редуційно-дросельних пристроях. Зниження тиску, насамперед, обумовлюється технологічними вимогами при розподілі природного газу та його споживанні, що реалізується на наступних складових технологічних етапах газотранспортної системи[4]:

1. На компресорних станціях для підготовки та очищення природного газу від водяної пари та домішок перед його транспортуванням або споживанням.
2. На газорозподільних станціях та газорозподільних пунктах при технологічному зниженні тиску газу.
3. На компресорних станціях при використанні газу в якості палива газотурбінних установок.
4. На газорозподільних станціях при скрапленні природного газу.
5. При споживанні газу в якості палива на теплових електричних станціях та котельних системах.

Підвищення енергетичної ефективності процесів в газотранспортній системі при впровадженні засобів енергозбереження можливо при альтернативній заміні енергетично неефективного процесу зниження тиску в дросельно-редуційних установках на його адиабатичне розширення в турбодетандерних агрегатах (ТДА) з виробництвом механічної (електричної) енергії та холоду в виді низькотемпературного потоку газу.

За експертними оцінками [1,2] впровадження турбодетандерних технологій на українських ГРС, ГРП і КС, дозволяє додатково отримати біля 480 МВт генеруючих потужностей, які щорічно будуть виробляти 28 млрд. кВт електроенергії .

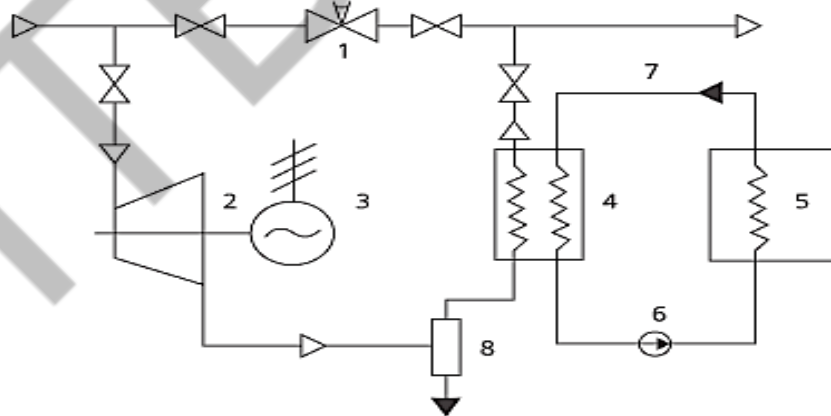
Проведені дослідження та розрахунки показують, що адіабатне розширення природного газу в детандерах супроводжується суттєвим зниженням його температури і, як наслідок, утворенням кристалогідратів, обмерзанням трубопроводів та ґрунту, що може призвести до їх деформації і руйнування. Наприклад, при використанні детандерного процесу перепад температур між входом газу та його виходом може зростати у 5–8 разів по відношенню до дроселювання.

До того ж ТДА являються більш складним з технічної точки зору енергетичним обладнанням, що потребує постійної присутності кваліфікованого обслуговуючого персоналу та допоміжних експлуатаційних витрат, а їх впровадження обумовлює суттєві капітальні витрати, пов'язані з їх вартістю.

Конструктивні та технологічні особливості ТДА визначаються, насамперед, їх енергетичними характеристиками та техніко – економічною доцільністю, що залежить від особливостей технологічних параметрів при зниженні тиску газу, територіального розміщення ГРС (РГП), наявності споживачів холоду і т.д. В даний час існує багато прикладів утилізаційних турбодетандерних систем як одноцільового так і комбінованого призначення [2,3] .

На рис. 1 показана схема утилізаційного ТДА, який використовується для спільного виробництва електроенергії і холоду. Загалом такі системи являється когенераційними, так як процес зниження тиску природного газу супроводжується виробництвом механічної (електричної) енергії та низькотемпературного потоку природного газу, який використовується для холодопостачання. Спочатку природний газ розширюється в турбодетандері 2 з виробництвом електроенергії та зниженням температури необхідного потенціалу, а потім після сепаратору 8 направляється в теплообмінник 4 для охолодження теплоносія 7 системи холодопостачання 5.

Розрахунки показують, що при зниженні тиску газу з 5,2 до 1,2 МПа його температура знижується на 50–60 °С (залежно від складу газу та ефективності детандера). При збільшенні рівня зниження тиску від 7,5 до 1,2 МПа різниця температур зростає до 70–80 °С. Якщо прийняти, що температура газу на вході в машину дорівнює 20 °С, температура потоку після розширення становитиме -30 – -40 °С у першому та -50 – -60 °С у другому випадку [3] .



*Рис.1.- Схема ТДА з виробництвом холоду. 1- редукційний клапан ГРС дросельний клапан; 2 - турбодетандер; 3 – електрогенератор; 4 - теплообмінник ( підігрівач газу – охолоджувач холодоносія); 5 – холодильна камера; 6- циркуляційний насос; 7 – контур розчину солі (холодоносія), 8 – сепаратор.*

ТДА можуть застосовуватись на ГРС (ГРП) для одержання як помірних низьких температур, так і температур, необхідних, наприклад, для зрідження природного газу. Таким чином, внаслідок використання надлишкової енергії тиску природного газу може

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

вироблятися не тільки електрична енергія, але й значні кількості холоду (від 60 до 80 кДж/нм<sup>3</sup>).

Але практичне впровадження будь якої технології енергозбереження, у тому числі і утилізаційних ТДА, як правило, вирішується на основі мінімізації приведених витрат, що відповідають мінімуму суспільно необхідних затрат та загальній техніко економічній доцільності. При цьому необхідно враховувати як експлуатаційні витрати так і капітальні затрати на технічне впровадження системи, її автоматизацію, екологічну та загальну безпеку.

#### **Літературні джерела.**

1. Говдяк Р. М. Утилізація енергії тиску природного газу в турбодетандерних установках на об'єктах газової промисловості. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ, 2014. №1.- С. 7–12.
2. Костенко Д.А. Енергозберігаючий потенціал надлишкового тиску природного газу у газотранспортній системі України / Д.А. Костенко, В.О. Дмитренко // Нафтова і газова промисловість. – 2003. – № 1. – С. 54.
3. Кулагина, О.В. Эффективное использование энергетических потоков природного газа с отрицательной температурой, полученных в детандергенераторных агрегатах / О.В. Кулагина, И.Р. Байков, А.Р. Гатауллина, Р.А. Молчанова // Глобальный научный потенциал. - 2014. - № 12 (45). - С. 15-20.
4. Черних А.И. Использование перепада давления газа, редуцируемого на ГРС и ГРП для получения электроэнергии и тепла. // Вісник інженерної академії України, -2009, -№1-с.251-256

*Науковий керівник: Ярошенко В.М., к.т.н., доцент  
кафедри криогенної техніки ОНАХТ*



### **ЛАБОРАТОРНИЙ ЗРІДЖУВАЧ ВОДНЮ З НЕОНОВИМ ХОЛОДИЛЬНИМ ЦИКЛОМ**

*Чигрін А.О., м.н.с. НДІ ОНАХТ, м. Одеса*

Розвинені країни спрямовують дедалі більшу частку наявного фінансового, наукового і виробничого потенціалу забезпечення себе сировиною і енергією. Через виснаження природних органічних ресурсів вже у поточному столітті очікується заміщення традиційного палива альтернативними енергоносіями. Варіант заміни продиктований самою природою. У якості доступного та екологічного палива майбутнього може стати водень – найпоширеніший елемент у Всесвіті. Поряд із незаперечними перевагами, водень відрізняється низкою несприятливих фізичних властивостей. Як найлегший елемент періодичної системи, водень відрізняється малою густиною, що робить неефективним його накопичення і транспортування в газоподібній формі. Хоча водень переходить у рідкий стан за дуже низьких температур, проте одним із перспективних способів його акумулювання є зберігання Н<sub>2</sub> саме у вигляді криогенної рідини.

У маловитратних зріджувачах, як правило, використовується дросельний цикл високого тиску ( $P \approx 15$  МПа) з охолодженням робочого тіла нижче за інверсійну температуру в азотних ваннах. Більш досконалі установки передбачають розширення частини прямого потоку Н<sub>2</sub> у детандері. Перспективним кроком на шляху розвитку водневих зріджувачів стало поєднання водневого і гелієвого контурів. Комбінація двох робочих тіл дозволила виключити частину обладнання, що працює на газоподібному водні, та знизити тиск потоку Н<sub>2</sub> до  $P = 5,5$  МПа.

Мета роботи – створення багатоцільового лабораторного комплексу з можливістю отримання рідких Ne та H<sub>2</sub>. Заміна гелієвого рефрижератора на неоновий забезпечує відведення тепла від H<sub>2</sub> з меншою необоротністю при стабільній температурі киплячого холодоагенту (Ne). При виборі обладнання забезпечення циклів перевага віддавалася досить апробованим мембранним компресорам вітчизняного виробництва.

Розроблено комбіновану установку для забезпечення лабораторних досліджень в інтервалі температур 21...30 К.

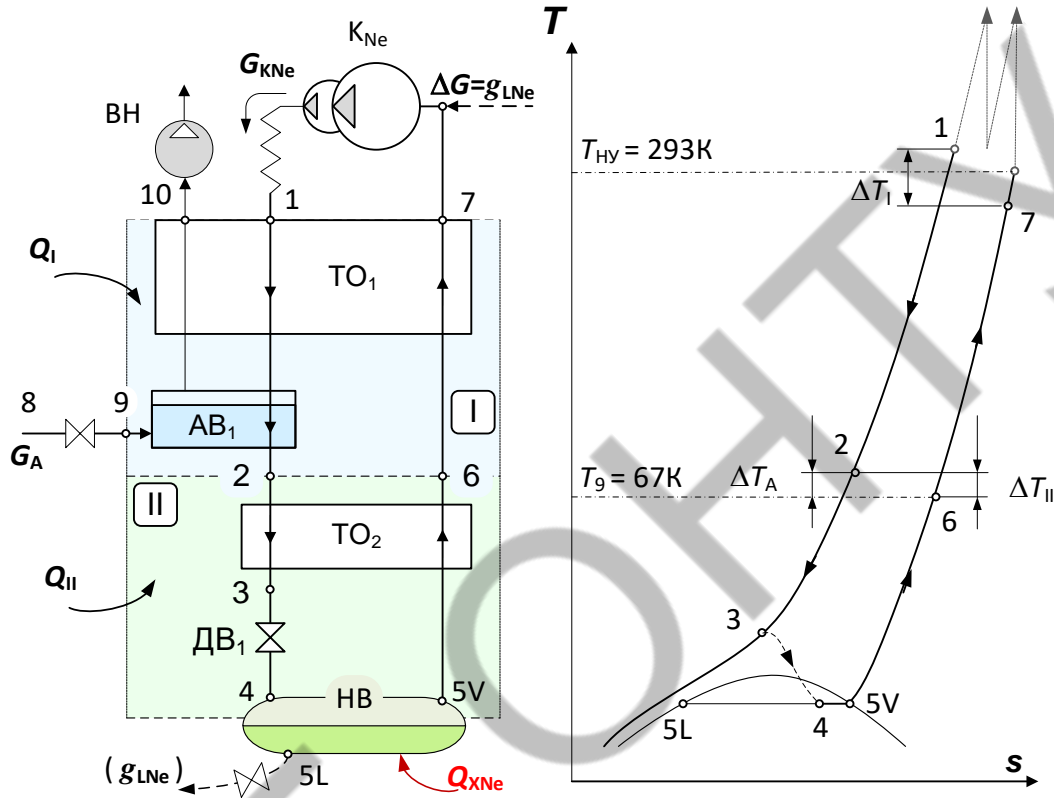


Рис. 1. Схема (а) та дросельний цикл із зовнішнім охолодженням у  $T,s$ -діаграмі (б):  
 I – ступінь попереднього охолодження; II – дросельний ступінь;  $K_{Ne}$  – компресор;  
 ВН – вакуум-насос;  $ТО_1$  та  $ТО_2$  – теплообмінники; ДВ<sub>1</sub> – дросельний вентиль; НВ – ненова ванна; АВ<sub>1</sub> – азотна ванна ( $T_9 = 67\text{ K}$ ;  $T_2 - T_9 = 5\text{ K}$ .);  $G_{K_{Ne}}$  – витрати компресора;  
 $G_A$  – витрата зовнішнього холодоагенту (LN<sub>2</sub>);  $Q_I$  та  $Q_{II}$  – теплоприпливи;  
 $Q_{X_{Ne}}$  – корисне навантаження (холодопродуктивність циклу);  $g_{L_{Ne}}$  – рідкий неон



*Рис. 2. Лабораторний зріджувач водню та неону*

Використаний неоновий цикл високого тиск з охолодженням прямого потоку у ванні з азотом, що кипить під вакуумом. За рахунок неонових рефрижераторів тиск у водневому контурі знижено до 1,0 МПа. У режимі зрідження водню продуктивність комплексу становить 18 та 13  $\text{дм}^3/\text{год}$  за орто- та парамодифікацією, відповідно. Установа також здатна зріджувати неон з витратою 7  $\text{дм}^3/\text{год}$ . Створено експериментальний зразок комбінованої воднево-неонової системи.

У блоці компримування використані діафрагмові компресори вітчизняного виробництва. Установа призначена для досліджень теплоізоляції, конструкційних властивостей матеріалів та процесів фазової сепарації у технологіях одержання легких інертних газів. Рідкий неон використовується для імітації умов, близьких до водневого рівня температури. За рахунок цього попередні випробування водневого обладнання проводяться із застосуванням відносно безпечного холодоагенту.

*Науковий керівник: Симоненко Ю.М., д.т.н., завідувач кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*

УДК 621.564

## **АНАЛІЗ РОБОТИ ГЕРМЕТИЧНОГО КОМПРЕСОРА НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ХОЛОДОАГЕНТАХ**

*Дмитрієв К.В., Пазина І.В., магістранти ОНАХТ, м. Одеса*

Застосування в холодильній техніці більш ефективних і екологічно чистих технологій на сьогоднішній день є однією з найважливіших задач. Це пов'язано як з необхідністю економії енергоресурсів, так і з захистом навколишнього середовища.

Як прототип для аналізу вибираємо малий поршневий герметичний компресор, так як герметичні компресори разом з безсальниковими є в даний час домінуючими в класі малих і середніх холодильних компресорів.

Герметичні компресори мають значні переваги перед відкритими машинами. В герметичному компресорі відсутній сальник, який є найвразливішим місцем машини: через

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти  
«Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

нього можливі витоки холодоагента в процесі експлуатації. Ця обставина, а також те, що ротор електродвигуна герметичного компресора насаджений безпосередньо на вал, дозволяє зробити компресор швидкохідним, тобто збільшити швидкість обертання валу, що, у свою чергу, дає можливість зменшити діаметр циліндрів і, отже, понизити масу і габарити компресора при тій же продуктивності.

Герметичний компресор є найважливішим елементом герметичної холодильної машини. В герметичних машинах зменшується кількість холодоагенту в системі, оскільки не потрібно мати запасу для компенсації природних витоків; значно знижується витрата холодоагента при експлуатації, оскільки відпадає необхідність періодичної дозарядки машин; є можливість охолоджувати обмотку електродвигуна потоком всмоктуваних парів холодоагенту, що дозволяє підвищити навантаження на електродвигун, зменшити його масу і габарити.

Герметичні машини майже безшумні в роботі, а їх малі габарити дозволяють збільшити корисну ємність холодильного устаткування, зменшити розміри торгових автоматів і застосовувати ці машини для кондиціонування повітря. До недоліків герметичного агрегату можна віднести те, що у разі виникнення несправностей він, як правило, не підлягає ремонту.

Глобальне потепління клімату на планеті сприяло виробленню жорстких рекомендацій і вимог (Монреальський і Кіотський протоколи), що пред'являються до холодоагентів четвертого покоління, відмінною рисою яких є обмеження емісії парникових газів. У цю групу входять холодоагенти або суміші з низьким значенням потенціалу глобального потепління (ПГП), а також природні холодоагенти.

Холодоагенти, що відповідають екологічним, термодинамічним, експлуатаційним і економічним вимогам знайти практично неможливо, тому в кожному окремому випадку вибирають холодоагент з урахуванням конкретних умов роботи холодильної машини, і перевагу слід віддавати таким, які задовольняють принципівим і визначальним вимогам.

У зв'язку зі зростаючим увагою до питань впливу людства на глобальне потепління холодоагенти, традиційно застосовувалися в невеликих холодильних установках, піддалися ретельному вивченню з боку експертів. Регулюючі організації у всіх країнах світу уважно вивчають безпосередній вплив даних речовин на рівень глобального потепління.

Одним із прикладів може бути Директива Євросоюзу, що забороняє використання холодоагенту R134a в автомобільних кондиціонерах. США, Канада і Мексика запропонували скоротити рівень використання гідрофторвуглеців розвиненими країнами на 85% до 2033 року. У процесі пошуку нових хімічних речовин, які могли б прийти на заміну холодоагентів з високим потенціалом глобального потепління, було створено два з'єднання з низьким ПГП: R1234yf та R1234ze(E).

Ці речовини отримали назву гідрофторолефіни (ГФО). Час життя в атмосфері для них становить 11 і 18 днів відповідно, величина ПГП дорівнює 4 для R1234yf та 6 - для R1234ze(E) (значення ПГП для холодоагенту R134a одно 1410). Нові холодоагенти мають низьким ступенем токсичності. Деякі властивості холодоагентів наведені в таблиці 1.

Після того як пропоновані холодоагенти позитивно зарекомендували себе в новому холодильному обладнанні, перед фахівцями постає проблема - чи можна модифікувати численні діючі холодильні системи, які раніше робили на R134a, з невеликими витратами для роботи на R1234yf та R1234ze(E).

Були проведені теоретичні розрахунки холодильних циклів на R134a, R1234yf и R1234ze(E) в стандартному режимі.

**Таблиця 1.**

**Порівняння властивостей холодоагентів**

Холодоагент	R134a	R1234ze(E)	R1234yf
Потенціал глобального потепління (ПГП)	1410	6	4
Температура кипіння при $p=0,1$ МПа, °С	-26	-19	-30
Критична температура, °С	101	110	94
Тиск критичний, МПа	4,060	3,632	3,382
Критична щільність, кг/м <sup>3</sup>	538	486	478
Щільність рідини, кг/м <sup>3</sup> , при 25 °С	1207	1163	1094
Щільність пара, кг/м <sup>3</sup> , при 25 °С	32,4	26,4	37,6
Молекулярна маса	102	114	114

**ВИСНОВКИ**

1. Розрахунки показали, що R1234yf є прекрасним заміником для R134a, забезпечуючи порівнянну продуктивність і ефективність. Відхилення в отриманих значеннях продуктивності і ефективності лежать в допустимих межах похибки розрахунків. при використанні R1234yf замість R134a відпадає необхідність в заміні компресора.

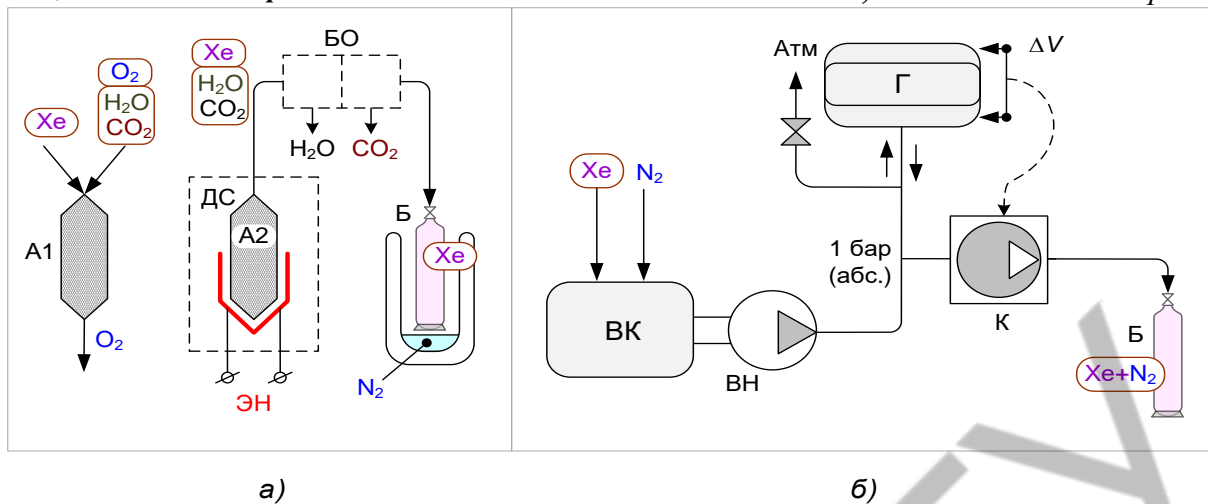
2. Використання R1234ze(E) замість R134a призвело до зниження продуктивності компресора на 25,8% в порівнянні з R134a. Однак енергоспоживання обладнання скоротилося на 26%, так що холодильний коефіцієнт фактично виявився вищим, ніж при використанні R134a. Падіння рівня холодопродуктивності може бути зкомпенсовано за рахунок застосування компресора більшої об'ємної продуктивності, підбраного спеціально для R1234ze(E).

*Науковий керівник: Яковлев Ю.О., к.т.н., доцент  
кафедри криогенної техніки ОНАХТ*

**ВИЛУЧЕННЯ ЦІЛЬОВИХ ПРОДУКТІВ ІЗ СУМІШЕЙ, УТВОРЕНИХ В РЕЗУЛЬТАТІ ВИКОРИСТАННЯ KR І Хе**

*Ардуанов Р.Ф., магістрант ОНАХТ, м. Одеса*

У процесі використання важких інертних газів у виробництві напівпровідників, освітлювальній техніці, медичній практиці та інших сферах утворюються суміші з досить великим вмістом цінних продуктів. У таких газах вміст криптону та ксенону становить від часток до десятків відсотків. Для забезпечення переробки інертних газів з метою вторинного використання необхідно організувати утилізацію сумішей у місцях використання продуктів. Залежно від концентрації і простору використовують два способи зберігання відпрацьованих сумішей (рис. 1). Потік, що містить Хе (Kr) надходить у охолоджений адсорбер, в якому поглинаються висококиплячі компоненти, у тому числі важкі інертні гази. Після насичення адсорбер нагрівають і в результаті десорбції конденсують цільові продукти в охолоджену балоні.



*Рис 1. Варіанти утилізації сумішей, що містять важкі інертні гази: а) – на основі процесів адсорбції та виморожування (десублімації); б) – з допомогою компресора. А1, А2 – адсорбери; ДС – десорбер; ЭН – електронагрівач; Б – балон із продуктом; БО – блок очищення/осушення; ВК – вакуумна камера для іонно-променевого травлення напівпровідників; ВН – вакуум-насос; Г – газгольдер; К – компресор; ΔV – індикатор рівня наповнення газгольдера*

Зібрані в балонах суміші містять масу побічних продуктів. Низькокиплячі зазвичай представлені компонентами атмосферного повітря (N<sub>2</sub> та O<sub>2</sub>), а серед висококиплячих переважають CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O та вуглеводні – пари технічних масел. Одержання криптону і ксенону з таких сумішей можливе внаслідок комплексного очищення у декілька стадій. Таку процедуру здебільшого проводять на спеціалізованих підприємствах. У разі віддаленості таких підприємств доцільно організувати переробку біля споживача Kr і Xe, тобто, безпосередньо в місцях утворення сумішей після їх використання.

Перевагами такої схеми рециклінгу є зниження транспортних витрат і витрат на зберігання непродуктивних запасів продукту. Однак при розміщенні ділянки для переробки сумішей споживача рідкісних газів виникають додаткові капітальні витрати. Слід враховувати, що глибоке очищення криптону і ксенону можливе лише кріогенними методами і для обслуговування власних сепараторів споживачу потрібні додаткові кадрові ресурси. При цьому для допуску на роботу на низькотемпературних установках потрібні професіонали-апаратники високої кваліфікації.

Одним із шляхів вирішення проблеми може стати повна автоматизація процесу переробки суміші та можливість тривалої роботи без обслуговування фахівцями.

*Науковий керівник: Симоненко Ю.М., д.т.н., завідувач кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*

УДК 662.7675

## **ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ**

*Плигун Е.В., магістр ОНАХТ*

Теорія надійності газоперекачувального агрегату, як і інших складних машин і систем, розвивається на базі загальної теорії надійності - науки, що вивчає закономірності, які визначають методи конструювання, випробувань та експлуатації машин і систем та дозволяють отримати максимально високу ефективність їх застосування та використання.

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти  
«Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

Надійність газоперекачувального агрегату закладається ще при його проектуванні, забезпечується в процесі виробництва та підтримується в експлуатації.

Рівень надійності газоперекачувальних агрегатів, що експлуатуються на вітчизняних газопроводах, поки ще поступається закордонним.

При організації технічного обслуговування будь-яких машин, у тому числі і газоперекачувальних агрегатів, виникають суперечливі вимоги. З одного боку, для підвищення надійності газоперекачувального агрегату частота профілактичних операцій повинна бути великою, що призводить до значних втрат робочого часу. З іншого боку, тривалий простій газоперекачувального агрегату в профілактичному обслуговуванні знижує продуктивність компресорної станції і збільшує собівартість транспорту газу.

Підвищення надійності газоперекачувального агрегату пов'язано із збільшенням початкової вартості, причому, як правило, зростання вартості не прямо пропорційно підвищенню надійності, а виражається ступеневу залежністю.

Попередження корозійних пошкоджень лопаток ГТУ закордонні фірми здійснюють на основі комплексних технічних рішень, що включають в себе: вдосконалення систем охолодження турбін з метою зниження робочих температур металу, розробку нових антикорозійних жароміцних сплавів і захисних покриттів, підвищення вимог до кондиційності робочих середовищ (насамперед, циклового повітря і палива) і розробку технічних засобів, що забезпечують ці вимоги.

Для підвищення довговічності і надійності газоперекачувальних агрегатів вельми важливе значення має правильність вибору засобів очищення циркулюючого в агрегаті мастила. Це визначається складом забруднень, параметрами агрегатів та їх мастильних систем, а також умовами експлуатації агрегатів.

Для забезпечення надійності газопоршневих агрегатів необхідно виконувати особливі вимоги, а саме колінчаті вали, в яких шийки зносилися до гранично допустимих величин або хоча б одна з шийок валу має значні задири, необхідно відновлювати на спеціальних верстатах або за допомогою спеціальних пристосувань. Обпилювати шийки вручну не рекомендується.

У газовій промисловості за останні роки проведено цілий ряд заходів з вдосконалення форм обслуговування компресорних станцій (КС), лінійної частини магістральних газопроводів, зв'язку та інших підрозділів. Укрупнені ділянки і перерозподілені функції виконавців. На магістральних газопроводах виділені три основні служби: газокompресорна, лінійна і зв'язку. На КС збільшилася сфера діяльності машиністів за рахунок підключення до обслуговування поряд з компресорами і їх технологічної об'язкою таких ділянок, як градирня, насосна і котельня. Проводять заходи з підвищення надійності газоперекачувальних агрегатів, впровадження систем централізованого контролю і управління, перерозподілу функцій машиністів, операторів, диспетчерів, навчання їх суміжним професіям. Велику увагу приділяють впровадженню передових методів праці і поліпшенню умов роботи. Для вирішення цього завдання в підрозділах вивчають стан організації праці на робочих місцях, дільницях, службах, розробляють комплексні плани наукової організації праці (НОП) управління магістральними газопроводами та іншими об'єктами.

Таким чином надійність та довговічність газоперекачувального агрегату закладається ще при його проектуванні, що пов'язано із збільшенням початкової вартості та включає розробку нових антикорозійних жароміцних сплавів і захисних покриттів, вибору засобів очищення циркулюючого в агрегаті мастила, а також впровадження передових методів праці заснованих на (НОП).

*Науковий керівник: Буданов В.О., к.т.н., доцент*

*кафедри криогенної техніки ОНАХТ*

## **АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ КОМПРЕСОРНО-КОНДЕНСАТОРНИХ СТАНЦІЙ**

*Мовчан В.В, бакалавр ОНАХТ*

Компресорно-конденсаторні станції (ККС) бувають двох типів: з повітряним охолодженням та водяним охолодженням, які мають аналогічний принцип дії, за винятком тепловідводного середовища. Газоподібний холодоагент надходить в компресор агрегату і стискається. Потім холодоагент надходить в конденсатор, де, за рахунок перепаду температур між холодоагентом і тепловідвідною речовиною, відбувається охолодження і конденсація холодоагенту. Після чого охолоджений рідкий холодоагент з високим тиском подається на дросель, внаслідок чого тиск знижується. Потім холодоагент поступає у випарник, який розташований у внутрішньому блоці системи кондиціонування, в установці припливно-витяжної вентиляції або в центральному кондиціонері згідно з інженерним рішенням для даного об'єкта. У випарнику холодоагент закипає і переходить в газоподібний стан (пару) завдяки чому повітря охолоджується.

Основні елементи холодильної системи, які можуть розміщуватись на рамі, це: компресор; конденсатор, ресивер. При необхідності, продиктованій технічними умовами, холодильний агрегат може доукомплектовуватися і іншими холодильними елементами, такими як: відділювач рідини, відділювач мастила, теплообмінник, елементи автоматики та ін. Головне завдання холодильного агрегату - всмоктувати пари холодоагента, що википає в контурі випарника і після стиснення нагнати його в систему конденсації для перетворення в рідку фазу. В результаті таких процесів охолодження, стиснення та конденсації холодильного газу відбувається постійна підтримка низької температури в холодильних камерах, обладнаних компресорно-конденсаторними холодильними агрегатами.

У конструкцію компресорно-конденсаторних станцій включаються такі складові:

- система управління та електроживлення;
- компресор – один або декілька;
- вентилятор;
- теплообмінник конденсатора.

Крім основних елементів, ККС оснащується з'єднувальним комплектом, призначеним для нормальної роботи системи холодопостачання. У набір входить: осушувальний фільтр; вентиль терморегулюючий; соленоїдний клапан; скляне віконце для можливості візуального спостереження.

Сьогодні компанії-виробники випускають наступні види компресорно-конденсаторних станцій з повітряним видом охолодження. Вони забезпечені осьовими вентиляторами - такі пристрої є сенс встановлювати, якщо планується монтаж блоку поза будівлею. Це недороге рішення, що вимагає великого об'єму повітря для можливості швидкого охолодження конденсатора.

Пристрої з повітряним охолодженням з вмонтованим відцентровим вентилятором вибирають, якщо блок встановлюється в технічних приміщеннях безпосередньо і під'єднується при цьому до траси повітроводів з повітрям, що надходить і відводиться

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.*

назовні. Пристрої використовують на об'єктах, де неможливо встановити ККС безпосередньо на будівлі чи поряд з нею.

Компресорно-конденсаторні станції з водяним способом охолодження вибирають в тому випадку, якщо станцію планується встановлювати всередині приміщення і при застосуванні градирень як охолоджувачів для конденсаторів. Такі моделі дають можливість зменшувати розміри ККС і монтувати його в приміщенні, не займаючи більшої його частини. ККС в яких є винесений конденсатор вибирають, якщо планується їх установка в технічних приміщеннях. При цьому теплообмінник монтується на зовні приміщення.

Під час вибору компресорно-конденсаторних станцій необхідно врахувати температуру кипіння, температуру конденсації, середнє навантаження, вид холодоагенту, кількість контурів.

Монтаж розглянутого обладнання (ККС) необхідно доручати компаніям, персонал яких проходив спеціальне навчання. Для того щоб підключити станцію потрібно використовувати особливий інструмент і обладнання. Якщо ККС відрізняються високим показником потужності, при їх встановленні треба враховувати необхідність додаткової заправки холодоагентом.

Індивідуальне збирання ККС вигідніше за заводське, тому порівнюючи купівлю готової конструкції компресорно-конденсаторних холодильних станцій заводського складання, у яких відсутні недоліки в якості та надійності з індивідуальним складанням яке нічим не поступається заводському за якістю, оскільки використовуються ті самі заводські комплектуючі. У індивідуального складання компресорно-конденсаторних холодильних станцій на замовлення є цілий ряд незаперечних переваг перед заводським, а саме: можливість виготовлення агрегату під вимоги клієнта з усіма доповненнями та нюансами; можливість самостійного складання агрегатів за інструкцією або навчання досвідчених інженерів; вирішення завдань широкого профілю та можливість адаптувати установку під нові вимоги; можливе складання та розрахунок холодильної камери безпосередньо на об'єкті, що мінімізує будь-які неточності; мінімальні терміни виготовлення; поставки агрегатів стабільні та виробляються у намічений термін; доступна ціна за рахунок підбору якісних комплектуючих різних брендів.

Таким чином використання ККС дозволяє отримати:

- невисоку вартість агрегату і монтажу щодо альтернативних систем кондиціонування;
- простий монтаж даного обладнання;
- ККС не вимагатиме постійного сервісного обслуговування, тому що система на основі компресорно-конденсаторної станції проста в експлуатації;
- при правильному підборі, монтажі та експлуатації ККС є надійним обладнанням з тривалим терміном експлуатації;
- процес охолодження повітря за допомогою компресорно-конденсаторних станцій дешевше, в порівнянні з чиллерами.

В тежє час можна виділити деякі недоліки у даного обладнання, а саме.

Відсутня можливість поступового регулювання холодильної потужності обладнання, лише за допомогою відключення окремих контурів ККС. До того ж для роботи компресорно-конденсаторної станції необхідна велика кількість холодоагенту. Для ККС з повітряним охолодженням недоліком є обмеження довжини трубопроводів.

**Список інформаційних джерел**

1. [https://www.klimatvdomi.com/st\\_cond/st\\_kompressorno-kondensatornyy-blok-odin-iz-osnovnyh-elementov-sistemy-kondicionirovaniya\\_ua.html](https://www.klimatvdomi.com/st_cond/st_kompressorno-kondensatornyy-blok-odin-iz-osnovnyh-elementov-sistemy-kondicionirovaniya_ua.html)
2. <https://www.airvent.com.ua/konditsionirovanie-uk/kompresorno-kondensatornij-blok>
3. <https://holodprom.com.ua/kompressorno-kondensatorniye-agregaty>

*Науковий керівник: Буданов В.О., к.т.н., доцент  
кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*



**ЗМІСТ**

**СЕКЦІЯ №1 –ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ  
ПОВІТРЯ**

стор

- |           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>1</b>  | <b>ВИБІР ЕНЕРГООЩАДНИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДІЮЧИХ ТЕПЛОВИХ ПОМП SPLIT-КОНДИЦІОНЕРІВ</b>  | <b>4</b>  |
|           | <i>Тростенюк О.В., магістр НУЛП, м. Львів<br/>Науковий керівник Лабай В.Й., д.т.н., проф., НУЛП</i>  |           |
| <b>2</b>  | <b>MODELLING OF THE BOILING PROCESS IN NOZZLE WITH PROFILED DIFFUSER PART</b>  | <b>7</b>  |
|           | <i>Danylo Husiev, post graduate student, SumDU<br/>Serhii Sharapov, PhD, assistant professor, senior lecturer, SumDU,</i>                                    |           |
| <b>3</b>  | <b>INNOVATIVE METHOD OF IMPROVEMENT OF CENTRAL AIR CONDITIONING SYSTEMS</b>  | <b>8</b>  |
|           | <i>Byshmanov V., Phd st Krushelnytskyi D.<br/>Zhykharieva N. V., Ph.D., Ass. Pr., Kohut V.E, Pr., Ph.D., Ass. Pr..</i>                                       |           |
| <b>4</b>  | <b>ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ЦЕХУ З ВИРОБНИЦТВА КАРБАМІДУ ОПЗ</b>  | <b>11</b> |
|           | <i>Філков І.О., СВО магістрант ОНАХТ<br/>Науковий керівник Жихарева Н.В., к.т.н., доц. ОНАХТ</i>   |           |
| <b>5</b>  | <b>ХОЛОДОАГЕНТИ З НИЗЬКИМ ПОТЕНЦІАЛОМ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕННЯ ДЛЯ СУДНОВИХ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ</b>   | <b>15</b> |
|           | <i>Сорокін Р.Р., д.т.н., проф. Хлієва О.Я.<br/>Національний університет «Одеська морська академія»</i>   |           |
| <b>6</b>  | <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ КАСКАДНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ НА ПРИРОДНИХ РОБОЧИХ РЕЧОВИНАХ</b>   | <b>17</b> |
|           | <i>Крохмальний Ю.В., магістрант ІХКЕ ОНАХТ,<br/>Науковий керівник :к.т.н. дац. Трандафілов В.В. ОНАХТ</i>  |           |
| <b>7</b>  | <b>ІННОВАЦІЙНИЙ МЕТОД ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ЗА ДОПОМОГОЮ КОНТАКТНОГО ТЕПЛООБМЕНУ</b>   | <b>20</b> |
|           | <i>Асп. ОНАХТ Крушельницький Д.О., асп. ОНАХТ Кіценко А.М.,<br/>Наукові керівники :к.т.н. дац. ОНАХТ Жихарева Н.В., к.т.н. доц. ОНАХТ Козут В.О.</i>         |           |
| <b>8</b>  | <b>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕПЛОВІДДАЧІ ТА РЕЖИМІВ КИПІННЯ ХОЛОДОАГЕНТІВ ТА РОЗЧИНІВ ХОЛОДОАГЕНТ/МАСЛО У ТРУБИ</b> | <b>21</b> |
|           | <i>Борисов В.О., д.т.н., проф. Железний В.П. ОНАХТ</i>   |           |
| <b>9</b>  | <b>КАЛОРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНОГО ТЕРМОАКУМУЛЮЮЧОГО МАТЕРІАЛУ ПАРАФІН/ТЕРМОРОЗШИРЕНИЙ ГРАФІТ</b>   | <b>23</b> |
|           | <i>Глек Я.О., д.т.н., проф. Железний В.П. ОНАХТ</i>  |           |
| <b>10</b> | <b>ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ РІШЕНЬ ДЛЯ АМІАЧНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ МОЛОКОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ</b>                         | <b>25</b> |
|           | <i>магістранти ІХКЭ Кашигін Є.О., Рімашевський Ю.С.,<br/>Науково-інженерне об'єднання Холод, Желіба Т.О., ОНПУ</i>   |           |

- 11 ЕНЕРГОМОДЕЛЮВАННЯ, ЯК ВАЖЛИВА СКЛАДОВА ПІД ЧАС ЕКОЕФЕКТИВНОГО ПРОЕКТУВАННЯ** 26  
*Р.В. Грищенко, канд. тех. наук, доц. каф. ТЕХТ, ННІТІ, НУХТ, м. Київ,  
М.О. Кривошеєв, BREEAM Assessor, Edge expert, МК Sustainable Eng., м. Київ,  
А.В. Форсюк, канд. тех. наук, проф. каф. ТЕХТ, ННІТІ, НУХТ, м. Київ  
В.С. Калита, студ. каф. ТЕХТ, ННІТІ, НУХТ, м. Київ*
- 12 ВПЛИВ СХЕМНОГО РІШЕННЯ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ ТИПУ «ВОДА-ВОДА» НА ЙОГО ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ** 28  
*О.Ю. Пилипенко, канд. тех. наук, доц. каф. ТЕХТ, ННІТІ, НУХТ, м. Київ.  
Д.М. Степаніщев, студ. каф. ТЕХТ, ННІТІ, НУХТ, м. Київ*
- 13 ПРО ДЕЯКІ НАПРЯМКИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ ТРУБ** 29  
*Воїнов О.П., професор, Коновалов Д.В., професор, Самохвалов В.С., доцент, ХННІ  
НУК ім. адмірала Макарова, Херсон,*
- 14 DEVELOPMENT OF THE MARINE ENGINE CONTACT COOLING SYSTEM BY USING A THERMOPRESSOR** 32  
*Dmytro Sydorenko, Student, Illia Nadtochii, Student  
Halina Kobalava, Associate Professor of the Thermal Engineering Department, Admiral  
Makarov National University of Shipbuilding,  
Kherson Educational-Scientific Institute, Ukraine*
- 15 КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ** 35  
*Корнієнко В.С., доцент кафедри теплотехніки, Херсонська філія Національного  
університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Херсон,*
- 16 ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ УМОВ РОБОТИ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА В СИСТЕМІ ПЕРЕДПУСКОВОЇ ПІДГОТОВКИ АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА** 39  
*К.В. Луняка, професор, Національний університет кораблебудування імені  
адмірала Макарова, Херсонська філія  
С.А. Русанов, к.т.н, Херсонський національний технічний університет, О.І. Ключев,  
к.т.н, Херсонський національний технічний університет,  
О.О. Ключева, аспірантка, Херсонський національний технічний університет,*
- 17 СТВОРЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ТА ОРИМАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗНИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ** 41  
*Д.т.н., професор Луняка К.В, студент Лещов Є.М.  
Херсонська філія Національного університету кораблебудування  
імені адмірала Макарова*
- 18 СУМІШІ ХОЛОДОАГЕНТІВ ЯК ЗАМІНА РОБОЧИХ ТІЛ З ВИСОКИМ GWP** 43  
*Дудко О.М., аспірант ОНАХТ, Хмельнюк М.Г., професор ОНАХТ*
- 19 ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ НА СУДНАХ ВОДНОГО ТРАСПОРТУ** 46  
*Ялама В.В., аспірант ОНАХТ, Хмельнюк М.Г., професор ОНАХТ*
- 20 ДОСЛІДЖЕННЯ МОРОЗИЛЬНОЇ СКРИНІ НА РІЗНИХ ХОЛОДОАГЕНТАХ** 49  
*Константинов І.М., аспірант ОНАХТ, Хмельнюк М.Г., професор ОНАХТ*

- 21 ВИБІР ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ АЛЬТЕРНАТИВИ ТРАДИЦІЙНИМ ХЛАДОАГЕНТАМ** 52  
*Борецький Ю.О., СВО бакалавр ОНАХТ,  
науковий керівник: доц ОНАХТ Жихарева Н.В.*
- 22 ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВІЗРВ СКП** 55  
*Березнюк Д.В., СВО бакалавр ОНАХТ, Кіосе О.В., СВО бакалавр ОТФТК  
наукові керівники доц ОНАХТ Жихарева Н.В., доц. ОНАХТ Козут В.О..*
- 23 ТРЬОХСТУПЕНЕВІ АМІАЧНІ СХЕМИ** 56  
*Матюшко А.С., магістрант ІХКЕ ОНАХТ, м. Одеса  
Керівник доцент Піщанська Н.О.*
- 21 ОСОБЛИВІСТІ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ТОРГІВЕЛЬНОГО ЦЕНТРУ** 58  
*Харітонов М.А, СВО бакалавр ОНАХТ, Федянін М. О., СВО бакалавр ОНАХТ  
наукові керівники доц ОНАХТ Жихарева Н.В., доц.Козут В.О.. ОНАХТ*
- 22 ЗАСТОСУВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ В КОНДИЦІОНУВАННІ ПОВІТРЯ** 59  
*Горяченко Р.Р, СВО бакалавр ОНАХТ, Свящук В. О., СВО бакалавр ОНАХТ  
Наукові керівники доц Жихарева Н.В., доц.Козут В.О.*
- 23 ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ З ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИМИ ХОЛОДИЛЬНИМИ АГЕНТАМИ НА РИБОЛОВЕЦЬКИХ СУДАХ** 60  
*Заруба Г.Г., студент магістр, м. Одеса, ОНАХТ,  
Наукові керівники: Хмельнюк М.Г., д.т.н., професор, ОНАХТ  
Яковлева О.Ю., к.т.н., доцент ОНАХТ*
- 25 ОСОБЛИВОСТІ ФІЛЬТРАЦІЇ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ДЛЯ ЧИСТИХ ПРИМІЩЕНЬ** 62  
*Скачко І.М, СВО магістр ОНАХТ, Драгнев М СВО бакалавр  
Науковий керівник доц ОНАХТ Жихарева Н.В.*
- 26 ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ ТА ЕКОЛОГІЯ** 63  
*Андрій Сазанський, аспірант каф.ХУКП  
Руслан Талибли, аспірант каф.ХУКП  
Юрій Желіба, доц.каф.ХУКП*
- 27 НОВІТНІ ТЕНДЕНЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ** 66  
*Віктор Ялама, аспірант каф. ХУКП  
Ольга Яковлева, доц.каф. ХУКП  
Володимир Трандафілов, доц.каф. ХУКП*
- 28 ВУГЛЕВОДНІ СЬОГОДНІ** 69  
*Віктор Ялама, аспірант каф. ХУКП  
Сергій Ткач, аспірант каф.ХУКП  
Ольга Яковлева, доц.каф. ХУКП*
- 29 ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ПРИ ПІКОВИХ НАВАНТАЖЕННЯХ (ЗИМОВИЙ ПЕРІОД)** 73  
*Афанасенко В.О, СВО магістр ОНАХТ, Хоцяновський .С.Ю. СВО магістр ОНАХТ  
Наукові керівники: доц ОНАХТ Жихарева Н.В., доц. ОНАХТ Козут В.О.*

- 30 **ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ПРИ ПІКОВИХ НАВАНТАЖЕННЯХ (ЛІТНІЙ ПЕРІОД)** 74  
*Остапенко Д.В, СВО магістр ОНАХТ, Зуб М.Г., СВО магістр ОНАХТ*  
*Наукові керівники доц. ОНАХТ Жихарева Н.В., доц. ОНАХТ Козут В.О.*
- 31 **РОЛЬ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ(GWP, TEWI) У ВИБОРІ ХОЛОДОАГЕНТУ З НИЗЬКИМ ПОТЕНЦІАЛОМ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ** 75  
*Сазанський А.Р., аспірант, Желіба Ю.О.к.тн.доц. ІКХЕ, ОНАХТ*
- 32 **ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ СИСТЕМ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ МІКРОКЛІМАТУ В ПРИМІЩЕННЯХ** 77  
*Крушельницький Д.О., аспірант ОНАХТ*  
*Науковий керівник: доц. ОНАХТ Жихарева Н.В.*

**СЕКЦІЯ №2 – НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНІ ХОЛОДИЛЬНІ І КРІОГЕННІ  
МАШИНИ ТА УСТАНОВКИ, ГАЗОТУРБІННІ УСТАНОВКИ ТА  
КОМПРЕСОРНІ СТАНЦІЇ**

- 1 **ОПРІСНЮВАЛЬНА УСТАНОВКА ЯК ЕЛЕМЕНТ СИСТЕМИ  
ТРИГЕНЕРАЦІЇ ЦЕНТРА ОБРОБКИ ДАНИХ МАЛОЇ ЕНЕРГЕТИКИ** 81  
*Анатолій Басов, викладач-стажист, аспірант кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*  
Науковий керівник: *Морозюк Л.І., д.т.н., професор*  
*кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*
- 2 **АБСОРБЦІЙНИЙ ТЕПЛОВИЙ НАСОС ДЛЯ СИСТЕМИ АКУМУЛЯЦІЇ  
ТЕПЛОТИ ДАТА-ЦЕНТРІВ** 82  
*Артем Куколев, аспірант кафедри екоенергетики, термодинаміки та прикладної  
екології ОНАХТ*  
Науковий керівник: *Косой Б.В., д.т.н., професор кафедри екоенергетики,  
термодинаміки та прикладної екології ОНАХТ*
- 3 **СИСТЕМА ТРИГЕНЕРАЦІЇ МАЛОЇ ЕНЕРГЕТИКИ У ЦЕНТРАХ ОБРОБКИ  
ДАНИХ** 84  
*Максим Шараєв, магістр кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*  
Науковий керівник: *Морозюк Л.І., д.т.н., професор*  
*кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*
- 4 **АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ РЕКУПЕРАЦІЇ СКИДОГО ТЕПЛА ЦЕНТРІВ ОБРОБКИ  
ДАНИХ** 85  
*Ярослав Петушков, магістр кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*  
Науковий керівник: *Морозюк Л.І., д.т.н., професор*  
*кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*
- 5 **ТЕПЛОВИЙ НАСОС В СИСТЕМІ РЕКТИФІКАЦІЇ ДЛЯ ЦІЛОРІЧНОГО  
ОТРИМАННЯ ЧИСТОГО ПРОПАНУ З СУМІШІ ПРОПАН-БУТАН** 86  
*Євген Костенко, аспірант кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*  
Науковий керівник: *Морозюк Л.І., д.т.н., професор*  
*кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*
- 6 **АНАЛІЗ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ СХЕМ АБСОРБЦІЙНО-КОМПРЕСОРНИХ  
ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРІВ З ТЕПЛОВИМ ПРИВОДОМ КОМПРЕСОРА** 87  
*Сергій Псарьов, аспірант кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*  
Науковий керівник: *Морозюк Л.І., д.т.н., професор*  
*кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*
- 7 **ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ PRICO-ПРОЦЕСУ ЗРІДЖЕННЯ  
ПРИРОДНОГО ГАЗУ** 88  
*Ольга Бородінська, магістр кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*  
Науковий керівник: *Соколовська-Єфименко В.В., к.т.н., доцент*  
*кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*
- 8 **КРІОГЕННЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАСАДОЧНИХ КОЛОН З  
ВИКОРИСТАННЯМ СТУПЕНЕВОГО КОНДЕНСАТОРА-  
ТЕРМОСИФОНУ** 91  
*Медушевський Є.В., аспірант кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*

Науковий керівник: *Симоненко Ю.М., д.т.н., завідувач*

*кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*

- 9 **РОЗРОБКА ГАЗИФІКАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ КИСНЮ** 93  
*Перегинець С.М., бакалавр кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*  
Науковий керівник: *Грудка Б.Г., к.т.н., доцент*  
*кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*
- 10 **СХЕМА РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ РІДКОГО І ГАЗОПОДІБНОГО НЕОНУ** 93  
*Дикаренко Л.О., Кісов Ю.І., магістранти кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*  
Науковий керівник: *Симоненко Ю.М., д.т.н., завідувач*  
*кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*
- 11 **УТИЛІЗАЦІЙНА ТУРБОДЕТАНДЕРНА УСТАНОВКА ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ** 96  
*Шиян Л. Р., магістрант кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*  
Науковий керівник: *Ярошенко В.М., к.т.н., доцент*  
*кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*
- 12 **ЛАБОРАТОРНИЙ ЗРІДЖУВАЧ ВОДНЮ З НЕОНОВИМ ХОЛОДИЛЬНИМ ЦИКЛОМ** 98  
*Чигрін А.О., м.н.с. НДІ ОНАХТ*  
Науковий керівник: *Симоненко Ю.М., д.т.н., завідувач*  
*кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*
- 13 **АНАЛІЗ РОБОТИ ГЕРМЕТИЧНОГО КОМПРЕСОРА НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ХОЛОДОАГЕНТАХ** 100  
*Дмитрієв К.В., Пазина І.В., магістранти кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*  
Науковий керівник: *Яковлев Ю.О., к.т.н., доцент*  
*кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*
- 14 **ВИЛУЧЕННЯ ЦІЛЮВИХ ПРОДУКТІВ ІЗ СУМІШЕЙ, УТВОРЕНИХ В РЕЗУЛЬТАТІ ВИКОРИСТАННЯ KR І Xe** 102  
*Ардуанов Р.Ф., магістрант кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*  
Науковий керівник: *Симоненко Ю.М., д.т.н., завідувач*  
*кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*
- 15 **ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ** 103  
*Плигун Е.В., магістр кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*  
Науковий керівник: *Буданов В.О., к.т.н., доцент*  
*кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*
- 16 **АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ КОМПРЕСОРНО-КОНДЕНСАТОРНИХ СТАНЦІЙ** 105  
*Мовчан В.В., бакалавр кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*  
Науковий керівник: *Буданов В.О., к.т.н., доцент*  
*кафедри кріогенної техніки ОНАХТ*