

УДК 621.56/.59:623.8.01/.08

CREATION OF A UNIFIED REFRIGERATION SYSTEM WORKING ON DIFFERENT REFRIGERANTS**СТВОРЕННЯ УНІФІКАЦІЙНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПРАЦЮЮЧОЇ НА РІЗНИХ ХОЛОДОАГЕНТАХ****Konstantynov I.O. / Константинов І.О.***PhD student / аспірант.*

ORCID: 0000-0002-9862-7236

Sazanskyi A.R. / Сазанський А.Р.*PhD student / аспірант.*

ORCID: 0009-0007-8434-7851

Khmelniuk M.G. / Хмельнюк М.Г.*d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0002-9310-1286

*Odessa National Technological University, Odessa, Kanatna, 112, 65039**Одеський національний технологічний університет, Одеса, Канатна, 112, 65039*

Анотація. Використання в системах охолодження холодоагентів з низьким ПГП стає все більш поширеним завдяки термічним характеристикам і меншим їх впливом на навколишнє середовище. У цьому дослідженні проводиться порівняння характеристик таких холодоагентів як R452a, R404a, R290 в одній системі охолодження. Дослідження проводилися при параметрах 3-го кліматичного класу (T₀с - 25°C / HR₀с - 60%). При проведенні досліду на порівняння холодильних агентів в холодильну систему по чергово заправлялися холодильні агенти в послідовності (R404a/R452a/R290), та після задання параметрів роботи холодильний агрегат вмикався в мережу. В продовж проведення замірів електроенергії зняті показання манометрів та теплові показники холодильної системи, згідно яких було побудовано графік роботи системи впродовж циклу. І відповідно до графіків виходить наступне. Температура нагнітання, впродовж активного періоду роботи стабільна та варується в межах: R404a – 75-72.1 °C; R452a – 74.8-71 °C; R290 – 70.1-66.8 °C. Температура мастила компресора не перевищує 50 °C що відповідає технічним вимогам. Отримані температури початку конденсації, відповідно холодильним агентам протягом активного періоду холодильної машини наближені показам манометрів. Дані результати означають що перегрів знімається повністю, і в конденсаторі відбувається лише фазовий перехід холодильного агента. Значення температур початку конденсації: R404a – 39-36,6 °C; R452a – 40,4-36,9 °C; R290 – 38,6-34,6 °C. Результати експерименту показали, що найвищі значення COP в системі для R452a, R404a, R290 становлять 3,13, 3,02, та 3,19 відповідно. Заключенням такого дослідження стає підтвердження можливості повного переходу від хлор- та бром- містких газів 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= 2140, що свідчить про заборону його використання з 2022 року.

Ключові слова: Холодильна система, Холодильний агент, гідрофторвуглеці, навколишнє середовище, вуглеводні

1. Вступ

Холодильні системи дуже важливі через різноманітні сфери їх застосування, починаючи від медицини та теплового комфорту людини до промислових процесів, таких як зберігання харчових продуктів. Швидко



зростання населення світу спричинило зростання попиту на холодильне обладнання та кондиціонери. Холодильні системи є однією з основних причин споживання енергії у світі, і 30 % світового виробництва енергії витрачається на ці системи. Паризька угода 2015 року та Кігальська поправка до Монреальського протоколу(стосовно F-газів) 2016 року підкреслили значне скорочення використання гідрофторвуглеців (ГФУ). З цієї причини використання екологічно безпечних холодоагентів є необхідним і актуальним як ніколи. Вуглеводні (HCs) є природними та екологічно чистими холодоагентами. Вони мають нульовий ODP і низький GWP порівняно з HFC. Такі холодоагенти, як R290 (пропан), R600a (ізобутан) і R1270 (пропілен), можна віднести до групи HCs. Відомо, що високі значення горючості HCs є найбільшим недоліком цього типу рідини, і це призводить до обмеження кількості холодоагенту. В даній статті у якості природнього холодильного агента був використаний R290(пропан) який був порівняний з більш шкідливими до навколишнього середовища холодильними агентами такими як R452a та R404a нижче у таблиці 1 показані характеристики даних холодильних агентів.

Таблиця 1. Порівняння вибраних холодильних агентів

Холодильний агент	Тип	GWP (100 років)	ODP	Критична точка, t°C	Критична точка, p Бар
R452a	HFO	2140	0	74.9	40.02
R404a	HFC	3260	0	72	37.31
R290(пропан)	Природній	3	0	96.7	42.5

Отже дана робота присвячена порівнянню R404a (GWP= 3260) та R452a (GWP= 2140) з природнім холодильним агентом R290 пропан (GWP= 3), проведенню аналіз та порівняння трьох холодильних агентів (R404a; R452a; R290) їхні теплофізичні властивості та споживання електроенергії при однакових параметрах холодильної системи. Для виявлення чи здатні природні холодильні агенти бути таким ж ефективними як і їх більш шкідливі попередники.

2. Основна частина.

2.1. Уніфікація холодильної системи

Проведення порівняльного аналізу роботи холодильних агентів на уніфікованій холодильній системі. За для проведення аналізу було вибрано морозильну скриню M200V™ТОВ «ЮКА-Інвест» дана модель виконана з двома холодильними системами працюючими на R404a та R290.Для проведення лабораторного дослідження було проведено аналіз холодильних систем з урахуванням теплових навантажень з конструкційними особливостями холодильної системи та конструкцією морозильної скрині. Основні результати розрахунку занесені до порівняльної таблиці 2.

Базуючись на отриманих результатах розрахунку холодильної системи можна прийти до висновку що система може працювати на різних холодильних



агентах, про те, необхідно звернути увагу на потужність передконденсатора яка при переході на R290 зменшилась.

Таблиця 2. 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
$Q_{в}$ - Навантаження на випарник	0,092 кВт	0,093 кВт
$Q_{ПКД}$ - Потужність передконденсатора	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.	7,45Літри/хв.

По при невелику розбіжність, розраховані об'єми холодильного агента в холодильній системі, та пропускну здатність дроселюючого елементу наближено рівні дійсним значенням отриманим математичним шляхом.

При зміні холодильного агента, без заміни дроселюючого елементу, є можливість урегулювання роботи холодильної системи кількістю холодильного агента (при таких маніпуляціях існують обмеження заправки перенаповненням випарника та переохолодженням холодильного агента в конденсаторі). Можливість такого врегулювання може бути використане лише в капілярному холодильному обладнанні та в незначній мірі.

В конструкції ларя працюючого на R290, в відрізьку між випарником та РТО виявлено змонтований в систему докипач рідини 8 (рис.1а), який запобігає волого ходу компресора. Даний елемент змонтований з огляду на теплофізичні властивості R290. Натомість випарник холодильної системи працюючої на R404a складався з дев'яти витків, а R290 восьми.

Капілярна трубка в даних випадках відрізняється для R290 довжина складає $L=2550\text{mm}$ з внутрішнім діаметром $0,64\text{mm}$ та пропускну здатністю $7,1\text{ л/хв.}$, в той час як для R404a $L=3800\text{mm}$ з внутрішнім діаметром $0,7\text{mm}$ та пропускну здатністю $5,8\text{ л/хв.}$

Конструкція конденсатора що була змонтована на корпусі холодильної системи з R404a також була на один виток більшою на відміну від R290.

Передконденсатор в обох випадках виконаний зі сталюї оцинкованої труби діаметром 4.7mm та омивався потоком повітря $\approx 4.5\text{ м/хв.}$

В порівнянні компресори за даними каталогу EMBRACO

Виходячи з даних параметрів можна стверджувати що компресори мають схожі характеристики. Про те всі компресори що працюють на пропані повинні мати сертифікат відповідності, та відповідати протипожежним нормам, що значить будь який компресор що працює на R404a, в даному випадку EMBRACO, може бути замінений компресором серіїU, при умові



відповідності інших технічних характеристик. Всі інші комплектуючі холодильної системи та конструкція ларів не відрізняється між собою.

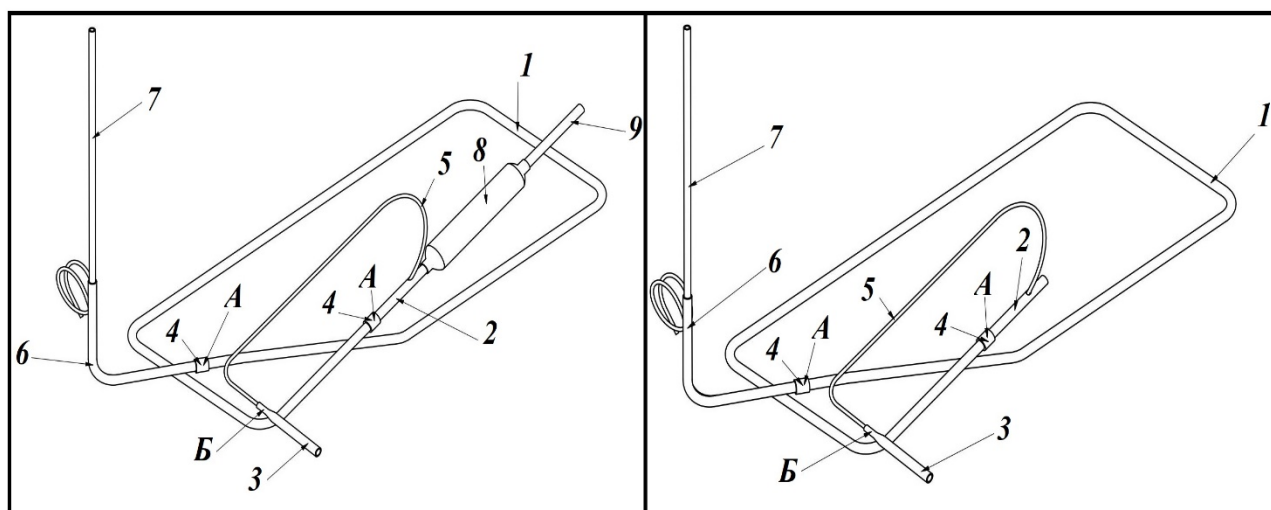


Рисунок 1. – Порівняння РТО

а) Рекуперативний теплообмінник для R290, б) Рекуперативний теплообмінник для R404a

- 1) Трубка магістралі (зовнішня трубка РТО) $\varnothing 8 \times 1 \text{ mm}$ $L=1450 \text{ mm}$; 2) Трубка з виходом капілярної трубки $\varnothing 8 \times 1 \text{ mm}$ $L=70 \text{ mm}$; 3) Трубка редуційна для з'єднання з випарником; 4) З'єднання Lokrikg; 5) Трубка магістралі капілярна (Трубка перехідна із входним отвором для капілярної трубки) $\varnothing 8 \times 1 \text{ mm}$ $L=120 \text{ mm}$; 6) Трубка з'єднання з компресором $\varnothing 6 \times 1 \text{ mm}$ $L=250 \text{ mm}$; 7) Трубка з'єднання з компресором $\varnothing 6 \times 1 \text{ mm}$ $L=250 \text{ mm}$; 8) Докипач холодильного агента $24 \times 140 \text{ mm}$; 9) З'єднуюча трубка $\varnothing 8 \times 1 \text{ mm}$ $L=200 \text{ mm}$.

Таблиця 3. Технічні характеристики компресорів

Model	DISP cm ³	HP	Voltage/ frequency	Appl	Rated point EN12900 -35°C / 40°C		Motor type	Fan air flow m ³ /h	Oil charge cm ³	Oil type
					Capacity range w	Efficiency range w/w				
EMT2117GK	4.50	1/4	220-240v 50Hz 1	LBP	141	1.09	CSIR	-	180	POE 22
EMT2121U	5.57	1/4	220-240v 50Hz 1	LBP	159	1.23	CSIR	-	180	POE 22

Отже для створення уніфікованого науково-дослідницького стенду було оцінено дві холодильні системи що працюють на різних холодильних агентах. В ході порівняння визначено що в 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 монтовано випарник на 8 витків, а докипач рідини вилучено з системи.



Також, виходячи з розрахунку, спостерігається зменшення потужності передконденсатора при роботі на R290. Такі результати обумовлені теплофізичними властивостями пропану. Вирішенням даної проблеми слугує заміна даного теплообмінника зі сталюого на мідний з діаметром трубки 6mm.

Але така маніпуляція, при роботі на R404a може призвести до початку конденсації холодильного агенту в передконденсаторі, а як наслідок підвищенню гідравлічного супротиву та зміні параметрів конденсації. З огляду на вище вказані твердження було прийнято рішення встановити на дослідницький стенд конденсатор з шести витків сталюї трубки. Така маніпуляція дозволить закрити однією конструкцією для відводу теплоти холодильну систему що матиме змогу працювати на різних холодильних агентах, але збільшить навантаження на корпус морозильної скрині. (додаткове навантаження, при роботі на R290 повинно компенсуватися восьмим витком випарника, а на R404a збільшеною потужністю передконденсатора.)

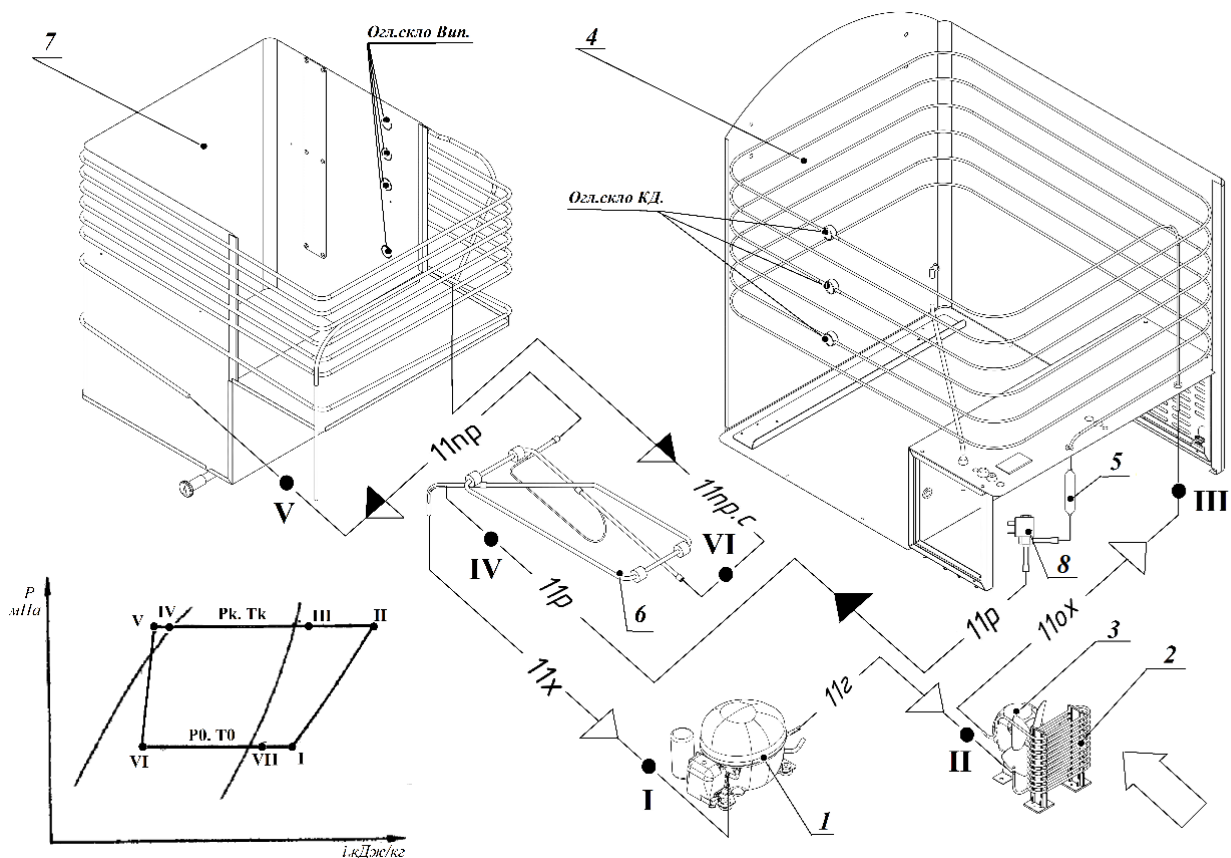


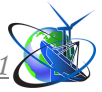
Рисунок 2. Схема уніфікованої холодильної системи науково-дослідницького стенду M200V.

Елементи системи:

1. Компресор; 2. Передконденсатор; 3. Вентилятор; 4. Листотрубний випарник; 5. Фільтр-осушувач; 6. РТО; 7. Листотрубний випарник; Соленоїдний клапан.

Умовні позначення:

- $I_{г}$ – гарячі пари хол. агенту; $I_{ох}$ – Охолоджені пари хол. агенту; $I_{р}$ – Рідкий холодильний агент; $I_{пр}$ – переохолоджена паро-рідинна суміш; $I_{пр.с}$ – паро-рідинна суміш; $I_{х}$ – холодні пари хол. агенту



Процеси системи:

I-II – Стиснення парів холодильного агента в компресорі; II-III – Зняття перегріву з гарячих парів хол. агента в передконденсаторі; III-IV – Конденсація охолоджених парів в листотрубному конденсаторі; IV-V – переохолодження хол. агента в РТО; V-VI – Дроселювання та переохолодження хол. Агента капілярною трубкою в РТО; – Випаровування холодильного агента в листотрубному випарнику; VI- VII ; – Випаровування холодильного агента в листотрубному випарнику; VII-V– перегрів хол. агента в РТО.

2.2. Порівняння холодильних агентів.

При проведенні дослідів на порівняння холодильних агентів стенд та умови навколишнього середовища були налаштовані аналогічно першій його частині.

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

У відповідності з нормами проведення дослідів над торговим холодильним обладнанням, всі заміри знімалися після виходу ларя в режим роботи. В ході експерименту отримані наступні результати:

В продовж проведення замірів електроенергії зняті показання манометрів та теплові показники холодильної системи, згідно яких побудовано графік роботи системи впродовж циклу.

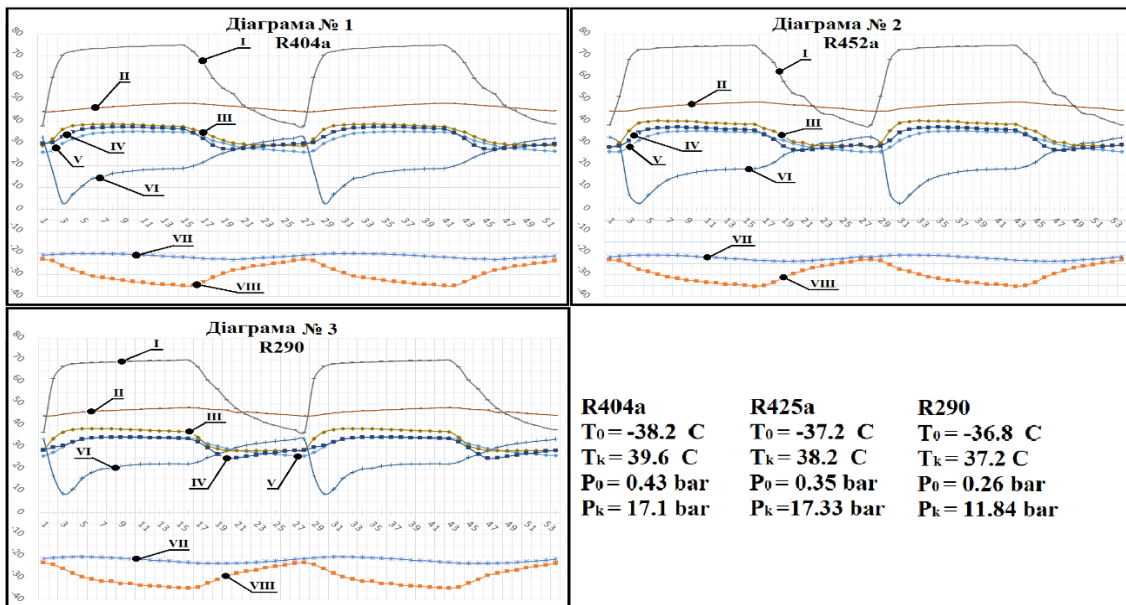
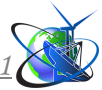


Рисунок 3. – Параметри роботи стенда на досліджуваних холодильних агентах.

I – Графік зміни температури нагнітання ($T_{наг}$); II – Графік зміни температури мастила компресора ($T_{км}$); III – Графік зміни температури початку конденсації ($T_{п.кд.}$); IV – Графік зміни середнього значення температури конденсатора ($T_{кд.}$); V – Графік зміни температури кінця конденсації ($T_{к.кд.}$); 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 ($T_{вип}$).



Розглядаючи та порівнюючи графіки можна зробити наступні висновки:

✓ Температура нагнітання, впродовж активного періоду роботи стабільна та варується в межах: R404a – 75-72.1 °C; R452a – 74.8-71 °C; R290 – 70.1-66.8 °C.

✓ Температура мастила компресора не перевищує 50 °C що відповідає технічним вимогам.

✓ Отримані температури початку конденсації, відповідно холодильним агентам протягом активного періоду холодильної машини наближені показам манометрів. Дані результати означають що перегрів знімається повністю, і в конденсаторі відбувається лише фазовий перехід холодильного агента. Значення температур початку конденсації: R404a – 39-36,6 °C; R452a – 40,4-36,9 °C; R290 – 38,6-34,6 °C.

✓ Температура конденсатора на графіку становить середнє значення температур шести витків конденсатора та відповідає наступним температурам: R404a – 36,2-35,3°C; R452a – 36,9-25,3°C; R290 – 35,5-34,1°C.

✓ Температура кінця конденсації. Дана температура знімається з нижньої частини фільтра осушувача, та її значення дещо вище за значення температури конденсатора. Таке явище пояснюється розміщенням фільтра в компресорному відсіку, де температура об'єму підвищена за рахунок тепловідводу від предконденсатора та компресора. Отримані результати становлять: R404a – 37,6-34,9°C; R452a – 37,5-33,9°C; R290 – 34,7-32,5°C.

✓ Температура всмоктування трубопроводу впродовж циклу є нестабільною, впродовж неактивного періоду холодильної системи в контурі через капілярну трубку вирівнюються тиски ($P_k=P_0$), це призводить до кипіння хол. агента в конденсаторі, та конденсації його в випарнику. Дане явище пояснює падіння температури на контурі високого тиску нижче температури оточуючого середовища.

✓ На початку активної фази холодильної системи та заповненому випарнику рідким холодильним агентом відбувається часткове його википання на в РТО. Цей процес спричиняє різке падіння температури на трубопроводі всмоктування до діапазону 10...0 °C на 3-5 хвилині активної фази. Таке явище сприяє поверненню мастила до компресора та нормальному його кругообігу в системі і підтверджує відповідність кількості холодильного агента системі.

✓ На при кінці активної фази хол. системи температура тримається стабільно нижчою температурою від оточуючого середовища та немає тенденції до зниження, такий результат свідчить про нормально заповнений випарник та відповідність РТО холодильній системі.

✓ Задану температуру контролює контролер з запрограмованими параметрами температури дорівнюють -23 °C а параметр гістерезису відповідає 0.5 при таких параметрах температура в охолоджуваному об'ємі знаходиться в межах -23 °C та варується близько 3-4°.

✓ Температури випарника, аналогічно температурам конденсатора знімалися з восьми витків та виводилася на графік як середнє арифметичне значення. Дані температури наближено рівні температурам кипіння, а їхні мінімальні значення становлять: R404a – (-36)°C; R452a – (-37)°C; R290 – (-36) °C



Повний перелік отриманих результатів експерименту внесений в зведену таблицю №34

По закінченню періоду кожного експерименту (24год.), зняті покази аналізатора мережі.

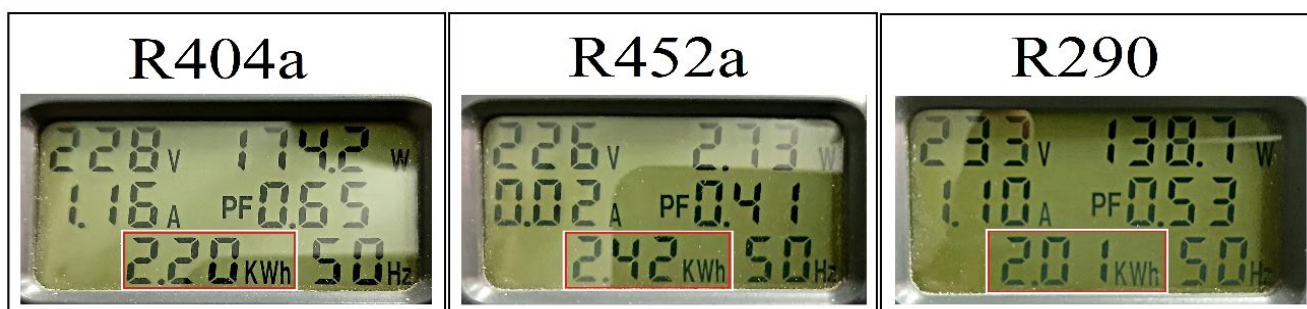


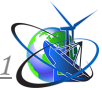
Рисунок 4. – Параметри енергоспоживання протягом 24 годин.

Отримані результати енергоспоживання в повні мірі відповідають логічним заключенням після аналізу температурних показників, показам манометрів та аналітичним дослідом теплофізичних властивостей даних холодильних агентів.

В ході проведених дослідів були виконані експериментальні температурні та енергетичні порівняння холодильних агентів різних типів. В результаті аналізу отриманих показників виявлено позитивні та негативні фактори кожного з них.

Таблиця 4. Зведена таблиця результатів експерименту.

Умовне позначення	Період роботи		Період простою		Період роботи		Період простою		Період роботи		Період простою		Одиниці виміру
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	
Хол. агент	R404a				R452a				R290				
Т кд.	36,2	26	35,3	25,4	36,9	25,5	35,6	25,3	35,5	25,2	34,1	25,3	оС
Т вип	-21	-36	-22	-36	-21	-37	-21	-36	-22	-36	-22	-35	оС
Т кам	-20,3	-21,9	-21,4	-23,1	-21	-23,4	-21,7	-23,9	-20,1	-22,7	-21,2	-23,3	оС
Т всм	32,9	2,8	32,4	19,8	33	2,6	32,8	19,5	33,8	8,8	33,7	23,4	оС
Т км	48,5	44,6	48,4	45	49	44,7	48,8	45,1	48,3	44,3	48,1	44,7	оС
Т наг	75	38,1	72,1	39	74,8	38,3	71	38,4	70,1	36,8	66,8	37,9	оС
Т п.кд.	39	29,1	36,6	29,2	40,4	28,1	36,9	29,1	38,6	28,8	34,6	28,5	оС
Т к.кд	37,6	30,1	34,9	27,3	37,5	28,3	33,9	27	34,7	28,8	32,5	25	оС
t цикл	15		12		16		12		16		12		Мин.
МХОЛ. АГ	95				105				75				Грам
Покази манометрів													
ТО	-38,2		~~~~~		-37,2		~~~~~		-36,8		~~~~~		оС
РО	0,43		~~~~~		0,35		~~~~~		0,26		~~~~~		бар
Тк	39,6		~~~~~		38,2		~~~~~		37,2		~~~~~		оС
Рк	17,11		~~~~~		17,33		~~~~~		11,84		~~~~~		бар



Покази аналізатора мережі													
Pn	186	155	2,6	2,3	192	152	2,7	2,5	163	134	2,7	2,4	Вт
I	1,24	1,1	0,02	0,03	1,2	1,08	0,02	0,03	1,12	1,05	0,02	0,02	А
U	220-230												В
f	50												Гц
Ne	2,20				2,42				2,01				кВт/ 24год
Розрахункові параметри													
Kt цикл	0,55				0,57				0,57				
COP	3,02				3,13				3,19				
EEl	58				55				46				%
EES	E				E				D				
CO2 EQ	0,37				0,23				0				t

Умовні позначення

T_{кд.} – Середнє значення температур конденсатора; *T_{вип.}* – Середнє значення температур випарника; *T_{кам}* – температура випарника;
T_{всм} – температура всмоктувального трубопроводу; *T_{км}* – температура кожуха компресора в зоні заповнення мастилом; *T_{наг}* – температура нагнітального трубопроводу; *T_{п.кд.}* – температури початку конденсації;
T_{к.кд} – Температура кінця конденсації; *t_{цикл}* – час циклу; *m_{ХОЛАГ}* – Кількість холодильного агента. *Kt_{цикл}* – коефіцієнт робочого часу; *COP* – коефіцієнт продуктивності; *EEl* – коефіцієнт енергоефективності; *EES* – клас енергоефективності *T_о* – Температура кипіння; *P_о* – Тиск кипіння;
T_к – Температура конденсації; *P_к* – Тиск конденсації; *CO2 EQ* – Еквівалент викиду CO2.

Проаналізувавши отримані результати із зведеної таблиці побудована гістограма для візуального аналізу ключових параметрів.

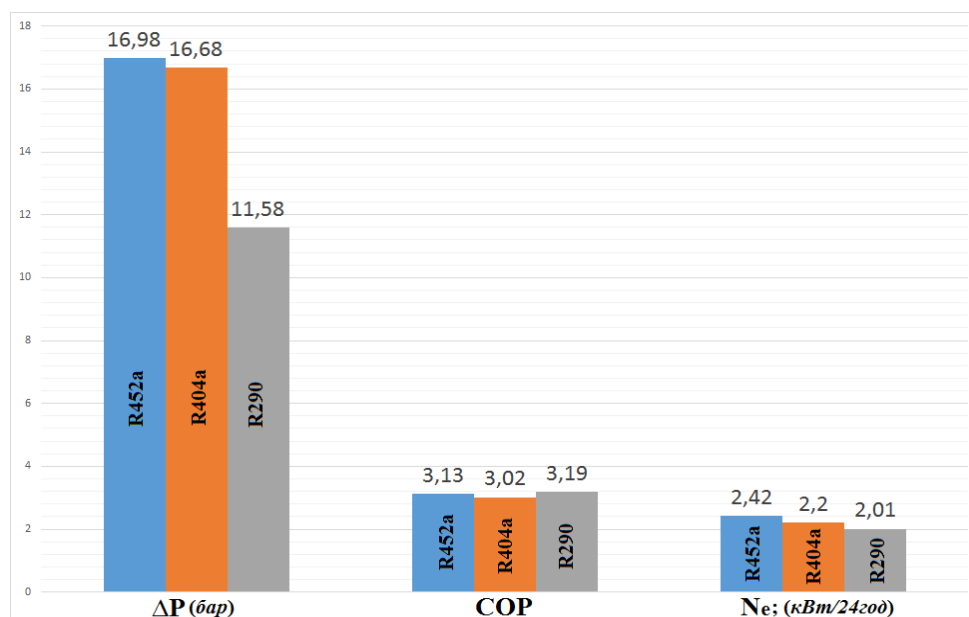


Рисунок 5. – Порівняльний аналіз холодильних агентів



Висновки

Висновком такого дослідження стає підтвердження можливості повного переходу від хлор- та бром містких газів 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 собівартість. 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.

Список використаної літератури

1. Sarbu, I. (2014). A review on substitution strategy of non-ecological refrigerants from vapour compression- based refrigeration, air-conditioning and heat pump systems. *International Journal of Refrigeration*, 46, 123-141.
2. Jia, S. (2009). Evaluation of HCFC alternative refrigerants. *Heatcraft Worldwide Refrigeration*.
3. Mohanraj, M., Jayaraj, S., & Muralidharan, K. (2009). Environmentally friendly alternatives to halogenated refrigerants - a review. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 3(1), 108-119.
4. McMullan, J. T. (2002). Refrigeration and the environment—issues and strategies for the future. *International Journal of Refrigeration*, 25(1), 89-99.
5. Lampugnani, G., & Zgliczynski, M. (1996). R290 as a Substitute of R502 and R22 in Commercial Refrigeration and Air Conditioning, *International Compressor Engineering Conference Paper* 1087.
6. I.P.Mishchuk, V.M. Rebitsky trade organization
7. Arustamov E. A. Equipment of enterprises.
8. The equipment of enterprises of trade and public catering: Full course: a textbook. Ed. Prof. VA Gulyaeva: INFRA-M, 2002.-543s .- (Series of "Higher Education")
9. Nair V. HFO refrigerants: A review of present status and future prospects. *Int J Refrig* 2021;122:156–70. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2020.10.039>.
11. United Nations Environment Programme (UNEP). Montreal Protocol, 1987. 1987.



12. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Kyoto Protocol, 1997. 1997.

13. European Commission. Regulation (EU) No 517/2014 of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 on fluorinated greenhouse gases and repealing Regulation (EC) No 842/2006 Text with EEA relevance. Official Journal of the European Union, 57:195–230, 2014. ISSN 1558-9447.

14. Harby K. Hydrocarbons and their mixtures as alternatives to environmental unfriendly halogenated refrigerants: An updated overview. Renew Sustain Energy Rev 2017;73:1247–64.

Annotation. *The use of low GWP refrigerants in cooling systems is becoming more and more common due to their thermal characteristics and lower environmental impact. This study compares the characteristics of such refrigerants as R452a, R404a, R290 in one cooling system. The research was conducted at the parameters of the 3rd climate class ($T_{oc} - 25\text{ }^{\circ}\text{C}$. / $HR_{oc} - 60\%$). When conducting an experiment on the comparison of refrigerants, refrigerants were alternately filled in the refrigeration system in sequence (R404a/R452a/R290), and after setting the operating parameters, the refrigeration unit was connected to the network. During the electricity measurements, pressure gauge readings and thermal indicators of the refrigerating system were taken, according to which the schedule of the system's operation during the cycle was constructed. And according to the graphs, the following is obtained. The injection temperature, during the active period of operation, is stable and varies within: R404a – 75-72.1 $^{\circ}\text{C}$; R452a – 74.8-71 $^{\circ}\text{C}$; R290 – 70.1-66.8 $^{\circ}\text{C}$. The temperature of the compressor oil does not exceed 50 $^{\circ}\text{C}$, which meets the technical requirements. The obtained temperatures of the beginning of condensation, according to the refrigerants during the active period of the refrigerating machine, are close to the readings of the manometers. These results mean that overheating is removed completely, and only the phase transition of the refrigerant occurs in the condenser. Values of temperatures of the beginning of condensation: R404a – 39-36,6 $^{\circ}\text{C}$; R452a – 40,4-36,9 $^{\circ}\text{C}$; R290 – 38,6-34,6 $^{\circ}\text{C}$. The results of the experiment showed that the highest COP values in the system for R452a, R404a, R290 are 3.13, 3.02, and 3.19, respectively. The conclusion of such research is the confirmation of the possibility of a complete transition from chlorine- and bromine-containing gases to natural analogues with $GWP = 0$. At the same time, the relatively low energy efficiency of the refrigerant R404a was revealed. Although R452a is fully interchangeable with R404a without changing lubricants or compressors, it is not an energy-efficient refrigerant. In addition, R452a is a high-cost refrigerant with a GWP of 2140, which means that its use will be banned from 2022.*

Key words: Refrigeration system, Refrigerant, hydrofluorocarbons, environment, hydrocarbons

Стаття відправлена: 08.03.2023

@ Константинов І.О. Сазанський А.Р., Хмельнюк М.Г.