



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ХОЛОДУ, КРІОТЕХНОЛОГІЙ
ТА ЕКОЕНЕРГЕТИКИ ІМ. В.С. МАРТИНОВСЬКОГО**

XII ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ
MODERN PROBLEMS OF REFRIGERATION EQUIPMENT AND TECHNOLOGY**

27-28 вересня 2019 року

ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ КОНФЕРЕНЦІЇ



ОДЕСА 2019

УДК 621.565 (075.6)

Сучасні проблеми холодильної техніки та технології / Збірник тез доповідей XII Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Одеса: ОНАХТ, 2019. – 229 с.

У збірнику наведені матеріали XII Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки та технології» та розглянуто різні аспекти науково-технічних питань, пов'язаних з проектуванням, виготовленням та експлуатацією холодильного обладнання різного призначення, дослідженням робочих тіл та процесів в елементах холодильних та криогенних систем, застосуванням нано та когенераційних технологій, використанням холоду в харчових технологіях, застосуванням і впровадженням нетрадиційних джерел енергії.

В сборнике представлены материалы XII Всеукраинской научно-технической конференции «Современные проблемы холодильной техники и технологии» и рассмотрены различные аспекты научно-технических вопросов, связанных с проектированием, изготовлением и эксплуатацией холодильного оборудования различного назначения, исследованием рабочих тел и процессов в элементах холодильных и криогенных систем, применением нано и когенерационных технологий, использованием холода в пищевых технологиях, применением и внедрением нетрадиционных источников энергии.

Відповідальність за достовірність інформації несе автор публікації.
Матеріали публікуються мовою оригінала, наданого автором.

Голова наукового комітету – Єгоров Богдан Вікторович – ректор Одеської національної академії харчових технологій, член-кореспондент НААН України, Заслужений діяч науки і техніки, д-р техн. наук, професор.

Заступник голови – Косой Борис Володимирович – директор Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського, д-р техн. наук, професор.

Члени наукового комітету:

Ванєєв Сергій Михайлович - Сумський державний університет, к.т.н., доцент;

Василенко Сергій Михайлович - Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор;

Железний В.П. - зав. кафедрою теплофізики та прикладної екології ОНАХТ, д-р техн. наук, професор;

Лабай Володимир Йосипович - Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор;

Лавренченко Г.К. - д-р техн. наук, професор;

Мілованов В.І. - зав. кафедрою компресорів та пневмоагрегатів ОНАХТ, заслужений діяч науки і техніки України, д-р техн. наук, професор;

Морозюк Л.І. - д-р техн. наук, професор;

Потапов Володимир Олексійович - Харківський державний університет харчування і торгівлі, д.т.н., професор;

Радченко М.І. - зав. кафедрою кондиціонування і рефрижерації НУК, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор;

Семенюк В.А. - к.т.н., директор НПФ «Терміон»;

Симоненко Ю.М. - зав. кафедрою кріогенної техніки ОНАХТ, д-р техн. наук, професор;

Снежкін Юрій Федорович - директор Інституту технічної теплофізики, д.т.н., академік НАНУ

Ткаченко Станіслав Йосипович - д.т.н., професор Вінницького національного технічного університету;

Хмельнюк М.Г. - зав. кафедрою холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАХТ, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор;

Щит Михайло Львович - к.т.н., пров. наук. спів. Інституту енергетики Академії Наук Молдови.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова – проф. Хмельнюк М.Г.

Науковий секретар – к.т.н. Зімін О.В.

Члени – к.т.н. Жихарєва Н.В., к.т.н. Когут В.Є., к.т.н. Яковлева О.Ю., к.т.н. Желіба Ю.О., к.т.н. Остапенко О.В., к.т.н. Подмазко О.С.

ТЕМИ ДОКЛАДОВ ПЛЕНАРНОГО ЗАСІДАННЯ

110 РОКІВ ПРОФЕСОРУ ЧУКЛІНУ СЕРГІЮ ГРИГОРОВИЧУ (1909-1974)

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ, МЕТОДЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ КОМФОРТНОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Н.И. Радченко, д.т.н., проф., Е.И. Трушляков, к.т.н., проф., А.Н. Радченко, к.т.н., доц.,
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

АЗОТНЫЕ ГАЗИФИКАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Кириченко И.В., технический директор ПКФ «Криопром» ООО, г. Одесса;
Леонтьев А.А., главный конструктор ПКФ «Криопром» ООО, г. Одесса.
e - mail: info@krioprom.com.ua

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОЗОНАЛЬНИХ СИСТЕМ КОМФОРТНОГО І ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

Жихарева Н.В., к.т.н., доц., Одеська національна академія харчових технологій

СЕКЦІЯ № 1. ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ. КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ.		стр.
ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ		
37.	РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ОХОЛОДЖУВАЧА НАПОЇВ	114
38.	ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТЕПЛОТИ ГОЗОВОГО ДВИГУНА В ХОЛОД ВИКОРИСТАННЯМ СТУПІНЧАСТОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ В ЕХМ І АБХМ	116
39.	ДВОПОТОЧНА ЕЖЕКТОРНО-АБСОРБЦІЙНА СИСТЕМА ТРАНСФОРМАЦІЇ СКІДНОГО ТЕПЛА ГАЗОПОРШНЕВОГО МОДУЛЯ	118
40.	MODIFICATION OF SHIP'S THERMAL INSULATION STRUCTURES IN ACCORDANCE WITH REGULATIONS' REQUIREMENTS FOR THE FROZEN PRODUCTS TRANSPORTATION IN ORDER TO IMPROVE REFRIGERATION SYSTEM EFFICIENCY	121
41.	ВИКОРИСТАННЯ ІМЕРСІЙНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ БІНАРНИМ ЛЬОДОМ НА М'ЯСОКОМБІНАТАХ	123
42.	МОЖЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ ПАРИЗЬКОЇ УГОДИ ТА ПОПРАВКИ КІГАЛІ ДЛЯ HVAC&R СЕКТОРУ УКРАЇНИ	125
43.	ЗАТУХАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ХВИЛІ В КОНТЕЙНЕРАХ З ПІДВИЩЕНОЮ ТЕПЛОВОЮ ІНЕРЦІЄЮ СТІНОК	128
44.	АНАЛІЗ ПРИЧИН ОТКАЗОВ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАННЯ НА КРУПНИХ ПЕРЕДПРИЯТТЯХ ТОРГОВЛІ	131
45.	ВПЛИВ ХОЛОДОАГЕНТІВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ	133
46.	МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ РОТОРНО-ГАЗОВОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПОМІРНОГО ХОЛОДУ	136
 СЕКЦІЯ № 2. ХОЛОДИЛЬНІ ТА КРІОГЕННІ МАШИНИ.		стр.
ТЕПЛОВІ НАСОСИ		
1.	ПРОМИСЛОВІ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ KR ТА Xe З КОНЦЕНТРОВАНИХ СУМІШЕЙ	139
2.	ЛАБОРАТОРНА УСТАНОВКА ДЛЯ ОТРИМАННЯ ТВЕРДОГО НЕОНУ	141
3.	НЕЧІТКА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ РЕКТИФІКАЦІЙНОЮ КОЛОНОЮ	142
4.	ГАЗОДИНАМІЧНІ ХОЛОДИЛЬНО-НАГРІВАЛЬНІ АПАРАТИ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА ПРИРОДНОМУ ГАЗІ	144
5.	ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ВОЗДУШНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ КОМЕРЧЕСКИХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК	145
6.	АНАЛІЗ СИСТЕМ КОГЕНЕРАЦІЇ С ДВУМА ТЕМПЕРАТУРНИМИ УРОВНЯМИ ПРОИЗВОДСТВА ХОЛОДА	147
7.	СИСТЕМА ХЛАДОСНАБЖЕННЯ КАМЕР ХРАНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ ФЕРМЕРСКОГО ХОЗЯЙСТВА С СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ	150
8.	DEVELOPMENT OF SYSTEMS FOR OBTAINING WATER FROM ATMOSPHERIC AIR ON THE BASIS OF ABSORPTION WATER-AMMONIA REFRIGERATORS AND SOLAR COLLECTORS	152

МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ РОТОРНО-ГАЗОВОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПОМІРНОГО ХОЛОДУ

Трандафілов В.В., к.т.н., ст. викладач, Хмельнюк М. Г., д.т.н., проф., ОНАХТ

В даний час відчувається потреба в рефрижераторах з відносно малою холодопродуктивністю (близько 10 кВт) на температурному рівні $-50\dots-100^{\circ}\text{C}$ ($223\dots173\text{ K}$). Такі рефрижератори можна створювати на основі каскадних парокompresорних холодильних машин, що використовують природні робочі речовини. Альтернативою цим машинам може бути газова холодильна машина (ГХМ), що реалізує, наприклад, цикл Стірлінга.

Мета цього дослідження полягає в математичному моделюванні і вдосконаленні більш ефективного рефрижератора - роторно-лопатевої газової холодильної машини (РЛГХМ). Розглянемо принцип її роботи, математичні моделі основних процесів, енергетичні характеристики та конструкцію.

Роторно-лопатева газова холодильна машина (див. рис. 1) складається з двох робочих блоків (РБ) 1 і 2, в яких із зсувом на 45° проводиться стиснення і розширення робочого тіла. Робочі блоки мають один загальний приводний вал 3. Холодильник (X) 6 і рефрижератор Р (теплообмінник навантаження) 7 з'єднані з робочими блоками магістралями стисненого високотемпературного і розширеного холодного робочого тіла. Відведення тепла від нього здійснюється теплоносієм через магістраль 16, яка підключена до трьохпоточного холодильника 6; до трьохпоточного рефрижератора підключена магістраль 17 підведення тепла від охолоджуваного об'єкта.

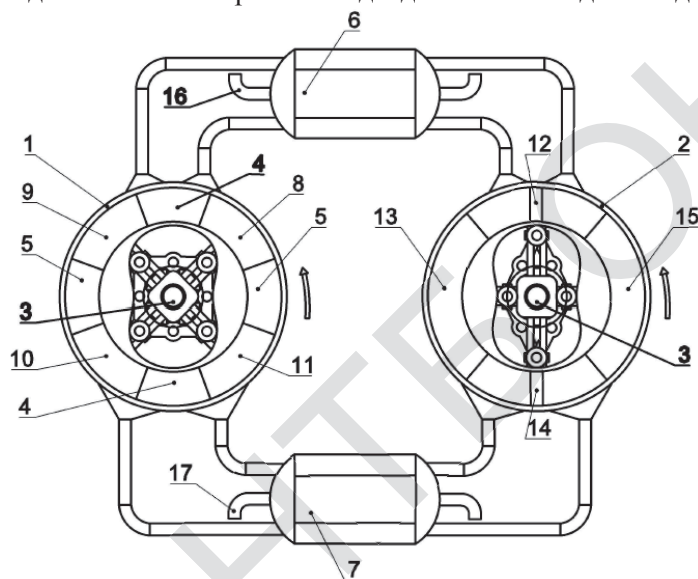


Рис. 1. Пристрій РЛГХМ: 1, 2 – робочі блоки; 3 – вал; 4, 5 – пари лопатей; 6 – холодильник; 7 – рефрижератор (теплообмінник навантаження); 8, 9, 10, 11 – порожнини РБ 1; 12, 13, 14, 15 – порожнини РБ 2; 16 – магістраль відведення тепла; 17 – магістраль підведення тепла

При роботі РЛГХМ всередині порожнин першого і другого робочих блоків здійснюються процеси стиснення і розширення. Рисунок 1 показує, яким чином у порожнинах 15 і 9 відбувається стиснення і розширення робочого тіла:

- 1) стиснення газу в порожнині 15 РБ 2 (процес $a - b$);
- 2) витіснення газу з порожнини 15 через X в РБ 1 (точка c);
- 3) відведення тепла в навколишнє середовище в холодильнику 6;
- 4) всмоктування газу охолодженого до T_c із X у порожнину 9 РБ1, де при контакті газу в 9 з холодними лопатями він охолоджується в процесі $b - d$;
- 5) розширення газу з одночасним його охолодженням і здійсненням зовнішньої роботи (процес $d - e$);
- 6) нагнітання газу з порожнини через Р в РБ 2 (точка e);
- 7) підведення тепла до газу від охолоджуваного об'єкта в Р;
- 8) всмоктування газу із Р в порожнину 15 РБ 2, де він при контакті з гарячими лопатями підігрівається в процесі $e - a$.

Таким чином, при оберті приводного вала 3 на кут 90° відбувається один повний термодинамічний цикл в РБ 1 і 2. При оберті приводного вала машини на 360° , на один його оберт, в РЛГХМ здійснюються 4 термодинамічні цикли.

З вищевикладеного випливає, що в роторно-лопатевої газовій холодильній машині реалізовано різноспрямований рух газоподібного робочого тіла по тракту, утвореному робочими порожнинами робочих блоків 1 і 2, з'єднаних через холодильник 6 і теплообмінник навантаження 7, завдяки чому потреба в регенераторі відпадає (див. рис. 1).

Математична модель двохблочної РЛГХМ побудована на основі законів збереження енергії і маси відкритої термодинамічної системи і рівнянні стану робочого тіла Клапейрона-Менделєєва.

Холодопродуктивність для РЛГХМ з приводом, що має частоту обертання n , хв^{-1} :

$$Q_E = \frac{p \cdot 1450}{60} \cdot 1,21 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^6 \cdot 0,54 \frac{0,465}{1 + \sqrt{1 - 0,465^2}} = 10,9 \text{ кВт}.$$

Отримане значення Q_E показує, що в ідеалізованій РЛГХМ можна при $T_E = 173 \text{ К}$ (мінус 100°C) досягати холодопродуктивності порядку 10 кВт.

У табл. 1 вказані показники робочого процесу РЛГХМ, отримані в результаті математичного моделювання.

Розроблена роторно-лопатєва газова холодильна машина, як зазначалося, має низку переваг. Основні - це висока ефективність при виробництві помірному холоду.

Проведено порівняння параметрів газових холодильних машин Стірлінга з РЛГХМ. У табл. 2 наведені результати порівняння параметрів ГХМ Стірлінга, що серійно випускаються, з РЛГХМ.

Таблиця 1. Результати математичного моделювання циклу РЛГХМ

Величина	Значення
Середньопланіметрична температура в об'ємі рефрижератора T_E , К	133
Середньопланіметрична температура в об'ємі холодильника T_C , К	402
Максимальний тиск p_{max} , бар	20,5
Холодопродуктивність Q_E , кВт	12
Теплове навантаження на холодильник Q_C , кВт	36,5
Споживана потужність W , кВт	24,5
Холодильний коефіцієнт ϵ_A	0,49
Ступінь термодинамічної досконалості η_S	0,36

Таблиця 2. Результати порівняння параметрів ГХМ Стірлінга з РЛГХМ

Параметр	SPC-1	КГМ-9000/80	РЛГХМ
Холодопродуктивність Q_E , кВт	12	12	12
Частота обертання валу n , хв^{-1}	1450	1450	1200
Ступінь термодинамічної досконалості η_S	0,31	0,3	0,36
Температура охолодження T_E , К	173	173	173
Робоче тіло	Гелій	Гелій	Гелій
Максимальний тиск p_{max} , МПа	5	5	2
Кількість циліндрів	4	4	2
Об'єм порожнини розширення V_e , см^3	1000	980	1003
Маса, кг	250	1500	100

При однаковій холодопродуктивності $Q_E = 12 \text{ кВт}$ ефективність РЛГХМ у порівнянні з поршневіми ГХМ Стірлінга, що серійно випускаються, вище на 15%. За масовими характеристиками РЛГХМ у порівнянні з SPC-1 "Stirling Cryogenics" менше в 2,5 рази, а в порівнянні з КГМ-9000/80 «Геліймаш» менше в 15 разів. РЛГХМ характеризується високою компактністю: 510мм×560мм×300мм (Д×Ш×В).

Проведені дослідження дали можливість розробити теоретичні основи розрахунку, проектування і створення роторно-лопатєвих газових холодильних машин, призначених для виробництва помірному холоду в діапазоні температур охолодження від 0°C до -100°C . На основі цього вирішено комплекс актуальних для холодильної техніки науково-прикладних задач, що дозволяють проводити подальше вдосконалення конструктивних характеристик машин цього типу, обґрунтовано вибирати і реалізовувати оптимальні режими їх роботи.

Розробка методик проектування і проведення додаткових досліджень – все це є необхідним комплексом і основою при удосконаленні нової роторно-лопатєвої газової холодильної машини.

Основні результати, отримані в ході виконання даного дослідження, можна сформулювати в наступному вигляді:

1. Орієнтація на ГХМ роторно-лопатєвої конструкції дозволяє усунути недоліки, властиві традиційним машинам Стірлінга. Крім цього, роторно-лопатєва машина володіє істотними резервами

для їх подальшого вдосконалення з метою створення покоління нових ефективних і надійних холодильних машин.

2. Для забезпечення конструкторської та технологічної уніфікації деталей і вузлів роторно-лопатевих холодильних машин різної холодопродуктивності, створені їх твердотільні моделі. Це дозволяє при розробці РЛГХМ кількість деталей, що сполучаються і вузлів залишити незмінним. Відношення еквівалентного робочого об'єму до об'єму машини (коефіцієнт компактності основного об'єму) РЛГХМ, у порівнянні з традиційними ГХМ Стірлінга, буде на рівні 15-20%.

НТТБ ОНАХТ