



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

ХІІ 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 № 2. ХОЛОДИЛЬНІ ТА КРІОГЕННІ МАШИНИ. ТЕПЛОВІ НАСОСИ		стр.
9.	THERMODYNAMIC ANALYSIS OF PERIODIC OPERATION AMMONIA-WATER ABSORPTION REFRIGERATION UNITS IN ATMOSPHERIC WATER GENERATION SYSTEMS	155
10.	DEVELOPMENT OF DOMESTIC ABSORPTION REFRIGERATOR FOR OPERATION IN A WIDE RANGE OF EXTERNAL AIR TEMPERATURES	158
11.	MODELING OF THERMAL MODES OF THE REFLUX CONDENSER OF THE ABSORPTION REFRIGERATION UNIT	161
12.	РАЗРАБОТКА АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ	164
13.	RESEARCH OF ELEMENTS OF TECHNOLOGY FOR REMOVAL OF NATURAL PESTICIDES FROM PLANT RAW MATERIALS	167
14.	ПЕРСПЕКТИВНА СХЕМА ЗРІДЖУВАЧА ВОДНЮ МАЛОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ЇЇ РОЗРАХУНОК	169
15.	ВИКОРИСТАННЯ ВІДКРИТОГО ЦИКЛУ СТРІЛІНГА В АВТОМОБІЛІ, ЩО ПРАЦЮЄ НА РІДКОМУ АЗОТІ	172
СЕКЦІЯ № 3. КОМПРЕСОРИ ТА ПНЕВМОАГРЕГАТИ РОБОЧІ РЕЧОВИНИ		стр.
1.	ККД СТРУМИННО-РЕАКТИВНОЇ ТУРБИНИ З УРАХУВАННЯМ СТЕПЕНІ НЕРОЗРАХУНКОВОСТІ ТЯГОВОГО СОПЛА	175
2.	МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В ТРЁХСТУПЕНЧАТОЙ СЕКЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ САЙКЛИНГ-ПРОЦЕССА	177
3.	ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕЧІЇ В ЩІЛИНАХ ТА ОТВОРАХ ЕКВІВАЛЕНТНОЮ ПЛОЩЕЮ ПРОХІДНОГО ПЕРЕРІЗУ	179
4.	РОБОТА МАЛОГО ХОЛОДИЛЬНОГО КОМПРЕСОРА НА ХОЛОДОАГЕНТІ З ДОМІШКАМИ НАНОЧАСТОК	180
5.	ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ ПЕРЕД СЖАТИЕМ ЗА СЧЕТ УТИЛИЗАЦИИ БРОСОВОГО ТЕПЛА ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК	182
6.	РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ГЕРМЕТИЧНОГО КОМПРЕСОРНОГО АГРЕГАТУ В ПУСКОВИХ РЕЖИМАХ	185
7.	ВПРОВАДЖЕННЯ ІЗОБУТАНУ В ЯКОСТІ ХОЛОДОАГЕНТА В МАЛІ ХОЛОДИЛЬНІ МАШИНИ	188
8.	ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТУРБОКОМПРЕСОРІВ ДВС В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	191
9.	МОДЕРНІЗАЦІЯ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ	193
10.	АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПОРШНЕВОГО ВУГЛЕКИСЛОТНОГО КОМПРЕСОРА	195
11.	ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ БЕЗШАТУННОГО ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ХОЛОДОАГЕНТАХ	197
12.	ПРОФІЛЮВАННЯ ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ СОПЛА АКТИВНОГО ПОТОКУ РІДИННО-ПАРОВОГО ЕЖЕКТОРА	199
13.	АНАЛІЗ ХОЛОДИЛЬНИХ ЦИКЛІВ З РТО ПРОМІЖНОГО ТИСКУ	200

УДК 621.59

ВИКОРИСТАННЯ ВІДКРИТОГО ЦИКЛУ СТІРЛІНГА В АВТОМОБІЛІ, ЩО ПРАЦЮЄ НА РІДКОМУ АЗОТІ

Кравченко М.Б.. Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса
kravtchenko@i.ua

Рідке повітря або рідкий азот порівняно недавно почали розглядатися як можливий варіант проміжного енергоносія, який може бути використаний на транспорті замість вуглеводневого палива.

Ідея використання рідкого повітря в якості джерела енергії для автомобіля з'явилася незабаром після того, як були створені перші промислові установки для скраплення повітря.

Перший прототип автомобіля, що працював на рідкому повітрі, був показаний в 1902 році і отримав назву Liquid Air. Автомобіль зміг проїхати 64 кілометри вулицями Лондона зі швидкістю в 19 кілометрів на годину, витративши на це 64 літри рідкого повітря. За оцінками фахівців, ККД двигуна цього кріомобіля становив близько 4%.

До ідеї автомобіля, що працює на рідкому азоті, знову повернулися тільки в кінці 90-х років минулого століття, коли постало питання про розробку екологічно чистої альтернативи традиційному автомобілю, що працює на вуглеводневому паливі.

У 2000 році група вчених з Вашингтонського університету розробила і випробувала експериментальний автомобіль, який працював на рідкому азоті та мав назву LN2000.

Експериментальний кріомобіль був створений на базі серійного поштового електромобіля Grumman Kubvan. В якості двигуна в ньому був використаний судновий пневмодвигун, призначений для приводу лебідки, яка підіймає і опускає якір. Паспортна потужність цього пневмодвигуна становила 11 кВт. Підчас випробувань кріомобіль розвивав швидкість до 35 км/год. Вимірювання витрати рідкого азоту показали, що ККД силової установки цього кріомобіля не перевищує 9%. Схема цього кріомобіля, як і у всіх попередніх зразків, була такою ж, як і у паровоза, тільки замість води використовувався рідкий азот, який має температуру кипіння набагато нижче температури навколишнього середовища. Тому не дивно, що ККД силової установки таких кріомобілей був приблизно таким же, як і у паровоза, тобто менше 10%.

Низька ефективність силових установок, які використовувались у відомих зразках

автомобілів, що працюють на рідкому азоті або рідкому повітрі, дискредитувала ідею кріомобіля. Тому обсяги фінансування та громадський інтерес до автомобілів, що працюють на рідкому азоті, набагато менше, ніж інтерес до електромобілів або автомобілів, що працюють на водні.

Для того, щоб оцінити потенційні можливості кріомобіля досить порівняти мінімальну роботу зрідження азоту з питомою ємністю різних типів акумуляторів. На рис. 1 наведено порівняння питомої енергії, що накопичується в різних типах електричних акумуляторів, з максимальною роботою, яку можна отримати при взаємодії рідкого азоту з навколишнім середовищем. Видно, що рідкий азот як проміжний енергоносіє ні в чому не поступається існуючим акумуляторам електроенергії, за умови, що буде знайдений спосіб ефективного добування енергії з рідкого азоту.

У запропонованій конструкції машини Стірлінга, що працює по відкритому циклу, більша частина азоту, який знаходиться всередині двигуна, здійснює замкнутий

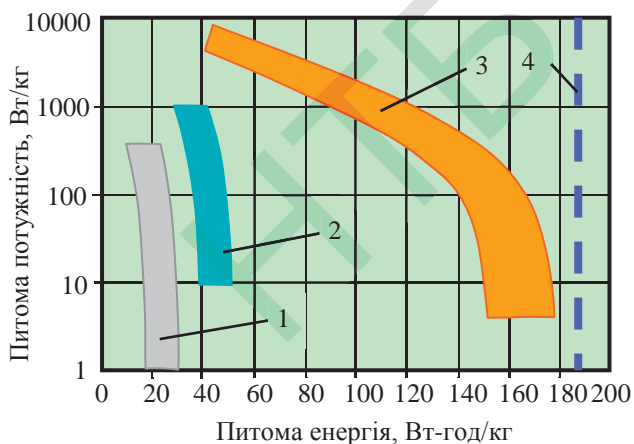


Рис. 1. Співлення питомої енергії, що накопичується в різних типах акумуляторів з максимальною роботою, яку можна отримати при взаємодії рідкого азоту з навколишнім середовищем.

- 1 – свинцеві акумулятори;
- 2 - нікель-кадмієві акумулятори;
- 3 – літій-іонні акумулятори;
- 4 – робота, яку можливо отримати від 1 кг рідкого азоту.

термодинамічний цикл, а менша частина проходить транзитом через двигун і використовується в якості холодного джерела для теплового двигуна. Транзитна частина азоту входить в двигун в його холодній частині і виходить з теплою боку двигуна Стірлінга.

Принцип роботи запропонованої машини Стірлінга, що працює по відкритому циклу, показаний на рис. 2.

Впорскування азоту відбувається, коли більша частина робочої речовини знаходиться в холодній порожнині циліндра і газ з холодної частини циліндра починає переміщатися в його теплу частину (див. Рис. 2а). Так як тиск азоту в цій фазі роботи двигуна вище критичного, то азот, що впорскується, буде являти собою холодний надкритичний флюїд, який практично миттєво буде змішуватися з азотом, який знаходиться всередині циліндра. В наслідок такого змішування температура азоту в холодній порожнині знизиться, а маса робочої речовини в двигуні збільшиться. Як показують розрахунки, оптимальна величина порції азоту, що впорскується, становить 8-10% від маси робочої речовини, яка вже знаходиться в машині Стірлінга.

На наступному етапі роботи машини за рахунок переміщення витискувача відбувається

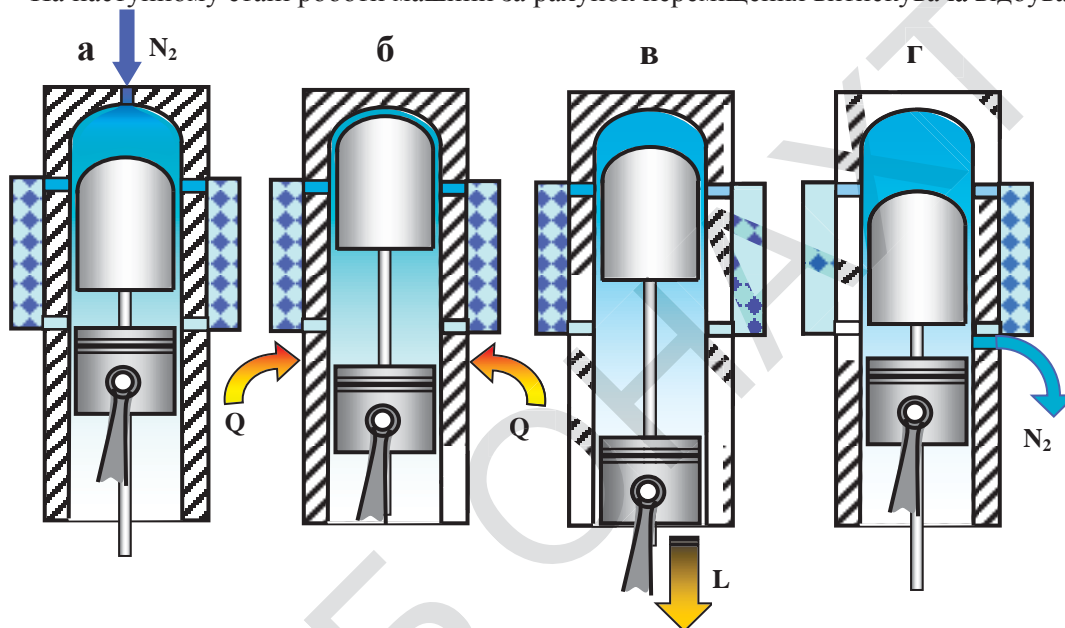


Рис. 2. Принцип роботи машини Стірлінга з відкритим циклом.

- а – впорскування азоту в холодну порожнину двигуна Стірлінга;
- б – переміщення азоту в теплу порожнину з підведенням тепла з навколишнього середовища;
- в – розширення азоту в теплій порожнині з вчиненням роботи;
- г – вихлоп азоту при мінімальному тиску в двигуні

перештовхування газового азоту в теплу порожнину машини (див. Рис. 2б). При цьому до робочої речовини підводиться тепло з навколишнього середовища. Далі йде розширення азоту при температурі, близької до температури навколишнього середовища (див. Рис. 2в). Розширення газу супроводжується виробництвом корисної роботи. На останньому етапі роботи запропонованої конструкції машини Стірлінга відбувається перештовхування газу в холодну порожнину за рахунок переміщення витискувача в теплу частину циліндра (див. Рис. 2г). Цей процес супроводжується зниженням тиску в циліндрі. При досягненні мінімуму тиску в циліндрі, відкривається випускний клапан, через який з двигуна випускається порція газового азоту, яка за масою дорівнює кількості азоту, який був впорскуваний раніше. Таким чином, маса робочого тіла, що бере участь в роботі машини, повертається до свого початкового значення. Після цього цикл повторюється.

Математична модель двигуна Стірлінга дозволила провести його оптимізацію з метою отримання максимального ККД перетворення ексергії рідкого азоту в механічну роботу.

В результаті оптимізації температури холодної частини циліндра і кількості азоту, що подається в циліндр за один оберт вала, отримані наступні значення цих параметрів. Оптимальна температура холодної порожнини циліндра дорівнює 130 К, оптимальна частка азоту, що впорскується, становить 7,8% від кількості азоту, який вже знаходиться в циліндрі. При таких параметрах двигун видає потужність 1,81 кВт при 600 обертах вала за хвилину. Витрата азоту в

оптимальному режимі роботи становить 25 кг/год. При цьому двигун перетворює в роботу 39,5% ексергії, накопиченої в рідкому азоті. До теплої частини циліндра в цьому режимі роботи необхідно підвести 5,1 кВт тепла. Так як з двигуна виходить азот при температурі 250 К та з тиском 12 бар, то підігрів цього азоту до температури 273 К і розширення в двоступеневій машині, що має адіабатний ККД 75%, дозволяє отримати ще 0,82 кВт механічної енергії. У підсумку, енергія, яка вироблена двигуном Стірлінга і розширювальною машиною, дорівнює 2,63 кВт-год, що становить 57,5% від мінімальної роботи зрідження 25 кг азоту.

Для того щоб розігнати невеличкий автомобіль до швидкості 55 км/год потрібно мати потужність двигуна близько 5 кВт (дані для LN2000). Якщо використовувати запропонований двигун Стірлінга в комбінації з розширювальною машиною для приводу такого кріомобіля, то при швидкості 55 км/год витрата рідкого азоту становитиме 1,1 л/км. Отже, 200 літрів рідкого азоту вистачить такому автомобілю для того щоб проїхати більш ніж 180 км, в той час як повного заряду 300-кілограмового акумулятора вистачає електромобілю Nissan Leaf для 160 км пробігу.

2. Кравченко М.Б. (2017) Применение открытого цикла стирлинга для получения энергии при газификации криогенных жидкостей // Технические газы. – №3. – С.40-51.