



**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 № 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

ПЕРСПЕКТИВНА СХЕМА ЗРІДЖУВАЧА ВОДНЮ МАЛОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ЇЇ РОЗРАХУНОК

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

Воднева енергетика сформувалася як один із напрямів науково-технічного прогресу в середині 70-х років минулого століття. Водень був обраний в якості проміжного енергоносія через його очевидні екологічні переваги. При наявності дешевої електроенергії водень планувалося отримувати шляхом електролізу води.

Головним недоліком водню, як енергоносія, є складність його накопичення і зберігання. Водень – найлегший газ, тому його зберігання і транспортування в балонах вкрай не раціонально. Зрідження водню дозволяє істотно підвищити його щільність, але це дуже енергоємний процес, бо нормальна температура кипіння водню становить всього 20,4 К. Незважаючи на це, ряд провідних автомобільних компаній розробили і виробляють в обмеженій кількості автомобілі, що працюють на водні, в тому числі, і на рідкому водні. Тому, розробка ефективних водневих зріджувачів малої продуктивності, які можуть бути використані на заправних станціях для автомобілів, що працюють на рідкому водні вельми актуальна.

Підвищення ефективності зріджувачів водню не можливо уявити без застосування турбомашин – турбокомпресорів і турбодетандерів. Так як молекулярна маса водню мінімальна, то використання турбодетандерів у зріджувачах водню з малою продуктивністю є вельми проблематичним. Для вирішення цієї проблеми запропоновано схему зріджувача водню, в якій охолодження водню здійснюється за допомогою каскадного криогенного циклу, в першому ступені якого використовується азот, а у другому – неон. Головною особливістю запропонованої схеми є те, що робота азотного детандера використовується в неоновому турбокомпресорі для стиснення неону.

На рис. 1 наведена схема запропонованої установки. Установка для зрідження водню працює наступним чином. Азот стискається в компресорі від тиску 1,6 бар до надкритичного тиску 40 бар. Далі азот охолоджується в теплообміннику 2 і в ванні з допоміжним холодоагентом 3 до температури 205 К. Після цього, приблизно 74% азоту спрямовується на розширення в детандер 4, а решта азоту охолоджується в теплообмінниках 5, 6 і дроселюється у випарник рідкого азоту 8. У випарнику 8 рідкий азот кипить за рахунок тепла, що відбирається від стисненого в компресорі 9 неону. Азотна пара нагрівається в теплообмінниках 6, 5, 2 і повертається на стискання в азотний компресор.

Стиснення неону проводиться від 2,5 бар до надкритичного тиску 28 бар за рахунок роботи, отриманої в азотному детандері. Розрахунки проводилися для двоступеневого розширення азоту в двох послідовно з'єднаних турбодетандерах і двоступеневого стиснення неону в двох пов'язаних з азотними детандерами турбокомпресорах. В проведених розрахунках температура неону на всмоктуванні в перший ступінь турбокомпресора була прийнята рівною 83 К. При такій температурі і тиску, щільність неону на вході в перший ступінь неоновому турбокомпресора становить $7,6 \text{ kg/m}^3$, що дозволяє сконструювати і виготовити ефективний турбокомпресор для стиснення неону.

Ступінь розширення в кожному ступені азотного детандера в розрахунках була прийнята рівною 5, що близько до ступеню розширення повітря в установках для розділення повітря середнього тиску, тому не повинно бути жодних проблем з проектуванням і виготовленням такого турбодетандера. Ступінь стиснення неону в пов'язаному з азотним детандером ступені турбокомпресора прийнята рівною 3,4. Отже, при такій великій щільності неону, яка є на всмоктуванні неоновому компресора, робота ступенів турбокомпресора і турбодетандера можуть бути легко узгоджені і їх можна об'єднати в одному агрегаті – компандері. Для запобігання змішування неону і азоту, підшипники турбомашин повинні змащуватися оливою.

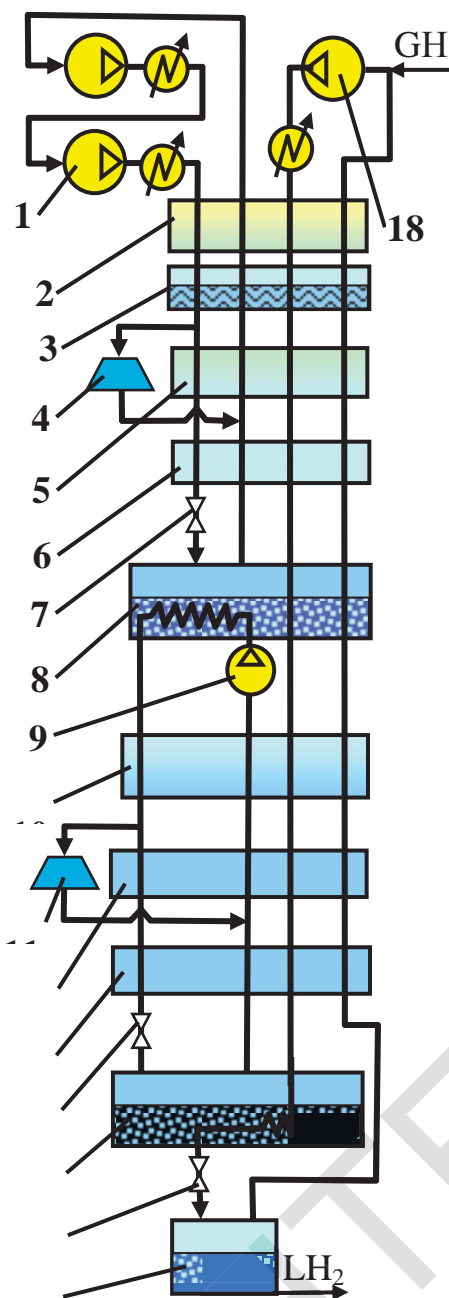


Рис. 1. Схема каскадної установки для зрідження водню.

1 – азотний компресор; 2, 5, 6 – азотні теплообмінники; 3 – ванна з холодоагентом; 4 – азотний детандер; 7 – дросельний вентиль; 8 – випарник рідкого азоту; 9 – неоновий компресор; 10, 12, 13 – неонові теплообмінники; 11 – неоновий детандер; 14 – дросельний вентиль; 15 – неоновий випарник; 16 – дросельний вентиль; 17 – відділювач рідкого водню; 18 – водневий компресор

установки. З іншого боку, теплове навантаження водневих теплообмінників суттєво впливає на параметри азотного і неонових циклів. Взаємозв'язок всіх цих параметрів суттєво нелінійний, тому метод послідовних наближень починає працювати тільки при дуже точному виборі початкового наближення. Саме ця обставина робить практично неможливою автоматизацію розрахунків

Тиск неону після його двоступеневого стиснення визначається роботою, яка отримана при розширенні азоту у відповідному ступені турбодетандеру і витратою неону. Для досягнення надкритичного тиску неону його витрата повинна бути не менше ніж 0,53 кг неону на 1 кг азоту, що циркулює в азотному циклі.

Стиснений в компресорі неон охолоджується в азотному випарнику до температури 82,5 К і надходить в теплообмінник 10, де охолоджується зворотним потоком неону до 72 К. Після цього, приблизно 82% неону спрямовується на розширення в детандер 11, а решта неону охолоджується до температури близької до температури кипіння неону в неоновому випарнику (30,5 К), і далі дроселюється в неоновий випарник 15.

Тиск водню після компресору 18 обирається таким чином, щоб відбувалася його конденсація в неоновому випарнику. Якщо температура конденсації водню дорівнює 31 К, то тиск водню повинен дорівнювати 9,4 бар. Насичений рідкий водень, який виходить з неонових випарників, дроселюється до тиску близького до атмосферного у відділювач рідкого водню. Рідкий водень виводиться з установки у сховище, а приблизно 36% пари, що утворилася під час дроселювання, послідовно проходить усі теплообмінники і повертається на стиснення до водневого компресора.

Розрахункове значення питомої роботи зрідження водню у запропонованому циклі становить 8,5 кВт-год/кг, без урахування теплоти орто-пара конверсії. Наведене значення питомої роботи зрідження було отримане при ізотермічних ККД обох ступенів стиснення азотного компресора, що дорівнює 0,75, і адіабатному ККД усіх детандерів і обох ступенів неонових компресорів які дорівнюють 0,8. При цьому витрата азоту в азотному контурі складала 66,1 кг на 1 кг рідкого водню, що одержується.

Великі масові витрати азоту і неону у порівнянні з витратою водню, дозволяють у запропонованому зріджувачі водню з продуктивністю понад 0,5 тонни на добу використовувати азотні турбодетандери і неонові турбокомпресори. Якщо ж продуктивність зріджувача водню буде більше ніж 2-3 тони на добу, то стає можливим використання турбокомпресорів для стиснення азоту. Це відкриває шлях до створення компактних і високоефективних зріджувачів водню малої продуктивності.

У зріджувачі малої продуктивності для стиснення продукційного потоку водню можуть бути використані поршньові або гвинтові компресори.

Недоліком запропонованої схеми зріджувача водню є складність її розрахунку. У запропонованій схемі, теплові навантаження водневих теплообмінників залежать від витрати водню, якой, в свою чергу, визначається холодопродуктивністю неонових криогенних циклів, а холодопродуктивність неонових циклів визначається холодопродуктивністю і роботою детандера в азотному циклі

запропонованої схеми зріджувача водню, наприклад, в середовищі Aspen HYSYS. Можливо ця обставина пояснює те, що роботи, присвячені аналізу подібних циклів, практично відсутні в науково-технічній літературі.

1. Кравченко М.Б. (2018) Перспективный водородный ожижитель малой производительности // Технические газы. №2. С.3-13.

НТБ ОНАХТ