



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
АСОЦІАЦІЯ ІНЖЕНЕРІВ ПО ВЕНТИЛЯЦІЇ, ОПАЛЕННЮ ТА  
КОНДИЦІОНУВАННЮ «АВОК України»  
СПІЛКА ХОЛОДИЛЬЩИКІВ УКРАЇНИ  
МІЖНАРОДНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ**

**XI Всеукраїнська науково-технічна конференція  
XI Всеукраинская научно-техническая конференция  
XI International scientific conference**

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

**21-22 вересня 2017 року**

**ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ**



**ОДЕСА 2017**

УДК 621.565 (075.6)

**Сучасні проблеми холодильної техніки та технології** / Збірник тез доповідей XI Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Одеса: ОНАХТ, 2017. – 243 с.

У збірнику наведені матеріали XI 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 XI 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.

Рекомендовано до видання Вченою Радою Одеської національної академії харчових технологій протоколом №6 від 07.11.2017 р.

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

**Голова конференції – 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:

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

Лагутін А.Є – академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор.

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

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

Симоненко Ю.М. – зав. кафедрою криогенної техніки ОНАХТ, 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.

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

Бондаренко В.Л. – д-р техн. наук, професор.

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

Семенюк В.О. – к.т.н., директор НВФ «Терміон».

### **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ**

Голова – проф. Хмельнюк М.Г.

Науковий секретар – к.т.н. Зімін О.В.

Члени – к.т.н. Буданов В.О., к.т.н. Яковлева О.Ю., к.т.н. Желіба Ю.О., к.т.н. Стоянов П.Ф., к.т.н. Остапенко О.В., к.т.н. Ерін В.А., к.т.н. Гайдук С.В., к.т.н. Соколовская В.В., к.т.н. Подмазко І.О., к.т.н. Федоров О.Г.

## ТЕМИ ДОКЛАДОВ ПЛЕНАРНОГО ЗАСІДАННЯ

### **1. 30 РОКІВ МОНРЕАЛЬСЬКОГО ПРОТОКОЛУ. СТРАТЕГІЇ В СФЕРІ ОБІГУ ОЗОНОРУЙНУЮЧИХ ХОЛОДОАГЕНТІВ**

Возний В.Ф., к.т.н., президент ВГО «Спілка холодильщиків України»

### **2. РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ І СПОЖИВАННІ РІДКІСНИХ ГАЗІВ**

Бондаренко В.Л., доктор техн. наук, професор, МДТУ ім. М. Е. Баумана, м. Москва;

Биканов О.М., «KLA–Tencor Corporation», Milpitas, California, USA;

Симоненко Ю.М., доктор техн. наук, професор, ОНАПТ, м. Одеса

Чигрин А.А., інженер-технолог, ООО «Кріоін Інжиніринг», м. Одеса;

e-mail: [ysim1@yandex.ua](mailto:ysim1@yandex.ua)

### **3. ТЕХНОЛОГИИ КОМБИНИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ, ТЕПЛА И ХОЛОДА: РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НА КАФЕДРЕ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ И РЕФРИЖЕРАЦИИ НУК ИМ. АДМИРАЛА МАКАРОВА**

Радченко Н.И. доктор техн. наук, професор, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Николаев, [nirad50@gmail.com](mailto:nirad50@gmail.com)

### **4. КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА МАШИННОГО ОТДЕЛЕНИЯ УСТАНОВКИ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ**

Трушляков Е.И., к.т.н., доц., Радченко А.Н., к.т.н., доц., Грич А.В., к.т.н., ассистент

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Николаев,

[nirad50@gmail.com](mailto:nirad50@gmail.com)

### **5. СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В СВЕТЕ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ. СОЛНЕЧНЫЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АБСОРБЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛО-ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА**

А.В. Дорошенко, доктор техн. наук, професор кафедры термодинамики и возобновляемой энергетики

### **6. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ВЫБОРЕ КОМПРЕССОРА. СРАВНЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО ВИНТОВОГО И ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРОВ**

В. Гринько Региональный представитель J&E Hall и GEА ВОСК/Генеральный директор ООО «Еврокул

<b>СЕКЦІЯ № 1. ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ. КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ.</b>		<b>стр.</b>
<b>ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ</b>		
40.	<b>ЗАСТОСУВАННЯ АЕРОТЕРМОПРЕСОРА ДЛЯ ПРОМІЖНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПОВІТРЯ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК</b> Коновалов Д.В., Кобалава Г.О., Котік Х.А.	97
41.	<b>РОЗРОБКА НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ РОЗПОДІЛЬНОЇ ВСТАВКИ ДЛЯ КОЖУХОТРУБЧАСТОГО ТЕПЛОБМІННОГО АПАРАТУ</b> Луняка К.В., Ключев О.І., Русанов С.А.	99
42.	<b>OPERATIONAL EFFICIENCY IMPROVEMENTS FOR REFRIGERATION SYSTEMS DURING SUMMER PERIOD</b> Nesterov P.S., Buyadgie O.D., Khmelniuk M.G., Yakovleva O.Y.	102
43.	<b>АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛООВОГО НАСОСУ ДЛЯ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НАВЧАЛЬНО-АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ ХЕРСОНСЬКОЇ ФІЛІЇ НУК</b> Калініченко І.В., Сидорова В.І.	104
44.	<b>EFFICIENCY EVALUATION OF DOMESTIC SOLAR ASSISTED GROUND-SOURCE HEAT PUMP SYSTEM FOR SOUTHERN UKRAINIAN REGION</b> O. Ostapenko, O. Yakovleva, M. Khmelniuk	105
45.	<b>МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОБМІНУ В СИСТЕМАХ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ДРІБНОСЕМ'ЯНИХ КУЛЬТУР</b> Петушенко С.М.	108
46.	<b>К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ КИПЕНИЯ КАПЕЛЬ ХЛАДАГЕНТА В ФИЛЬТРЕ ЭЖЕКТОРЕ</b> Когут В.Е., Бушманов В.М.	110
47.	<b>КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА МАШИННОГО ОТДЕЛЕНИЯ УСТАНОВКИ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ</b> Трушляков Е.И., Радченко А.Н., Грич А.В.	112
48.	<b>УВЕЛИЧЕНИЕ ТЕПЛООБМЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЕЙ ПРИ НЕИЗМЕННЫХ ГАБАРИТАХ ТЕПЛООБМЕННОГО БЛОКА</b> Козаченко И. С., Лагутин А.Е.	115
49.	<b>ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРМОПРЕСОРНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ЗВОЛОЖЕННЯ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ СУДНОВОГО ДВЗ</b> Коновалов Д.В., Джурина А.О., Смоляний Є.С.	118
<b>СЕКЦІЯ № 2. ХОЛОДИЛЬНІ ТА КРІОГЕННІ МАШИНИ.</b>		<b>стр.</b>
<b>ТЕПЛОВІ НАСОСИ</b>		
50.	<b>РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ І СПОЖИВАННІ РІДКІСНИХ ГАЗІВ</b> Бондаренко В.Л., Биканов О.М., Симоненко Ю.М., Чигрин А.О.	119
51.	<b>МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ГЕЛІУ ВІД ВАЖКИХ ІНЕРТНИХ ГАЗІВ</b> Чигрин А.О.	122
52.	<b>ЗАСТОСУВАННЯ МАЛОМАШТАБНИХ ВИХРОВИХ ТРУБ В КРІОГЕННІЙ ТЕХНІЦІ</b> Симоненко Ю.М., Тишко Д.П.	124
53.	<b>ВИРОБНИЦТВО ГЕЛІУ ВИСОКОЇ ЧИСТОТИ ШЛЯХОМ ПЕРІОДИЧНОЇ АДСОРБЦІЇ ПРИ T=28...78 K</b> Бондаренко В.Л., Башкиров Г.В., Пилипенко Б.О.	126
54.	<b>ОТРИМАННЯ ІЗОТОПІВ ЛЕГКИХ ГАЗІВ МЕТОДОМ РЕКТИФІКАЦІЇ</b> Бондаренко В. Л., Емельянов О. М., Меркулов М. Ю., Симоненко Ю. М.	130
55.	<b>ВИКОРИСТАННЯ БАРОМЕМБРАННОГО ПРОЦЕСУ ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ НЕОНОГЕЛІЄВОЇ СУМІШІ</b> Башкиров Г. В., Кошовий С. О., Симоненко Ю. М.	133
56.	<b>MODELING OF THERMAL MODES OF THE REFLUX CONDENSER OF THE ABSORPTION REFRIGERATION UNIT</b> Kholodkov A.O., Titlov A.S.	136
57.	<b>THE SEARCH OF ENERGY-EFFICIENT OPERATION MODE OF AMMONIA-WATER-ABSORPTION REFRIGERATION MACHINES</b> Osadchuk E.A., Kirilov V.Kh., Mazurenko S.Yu.	137
58.	<b>DEVELOPMENT OF UNIVERSAL ABSORPTION REFRIGERATION DEVICES FOR OPERATION IN A WIDE RANGE OF AMBIENT TEMPERATURES</b> Selivanov A.P.	138
59.	<b>DESIGN OF PERIODIC OPERATION AMMONIA-WATER ABSORPTION REFRIGERATION UNITS IN ATMOSPHERIC WATER GENERATION SYSTEMS</b> Ozolin N.E., Titlov A.S.	139

## ЗАСТОСУВАННЯ МАЛОМАШТАБНИХ ВИХРОВИХ ТРУБ В КРІОГЕННІЙ ТЕХНІЦІ

Симоненко Ю.М., доктор техн. наук, професор, ОНАПТ, м. Одеса;

Тишко Д.П., аспірант, ОНАПТ, м. Одеса;

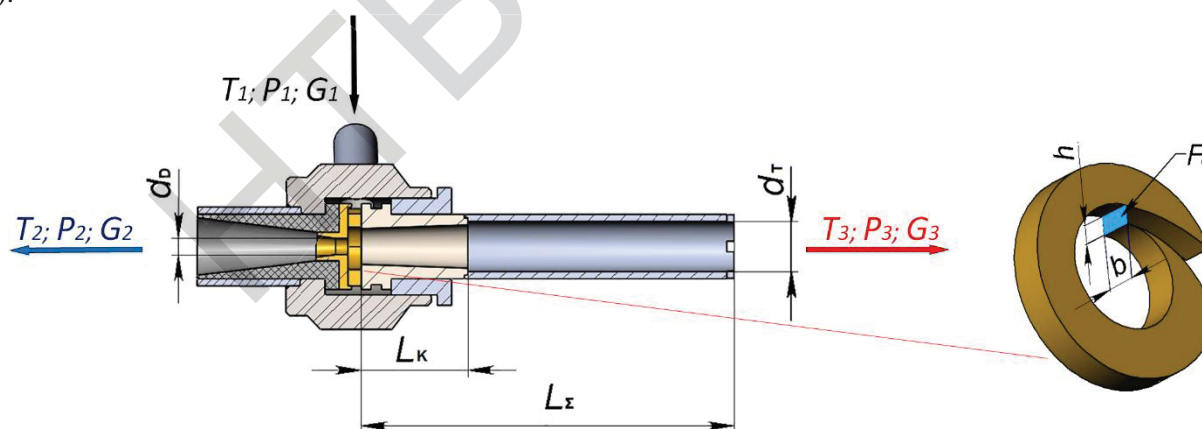
e-mail: [tishdmitriy@gmail.com](mailto:tishdmitriy@gmail.com)

У газодинамічних пристроях, до яких, зокрема, відносяться вихрові апарати і резонансні охолоджувачі, енергія стисненого газу трансформується в теплову та відводиться в навколишнє середовище через стінки або у вигляді спливаючого газу. При цьому відбувається зниження температури основного потоку на виході з пристрою. Вихрові труби володіють сукупністю експлуатаційних і конструктивних переваг: високою надійністю, малою інерційністю, компактністю і простотою виготовлення. Ці особливості зумовили поширення вихрових труб і пульсаційних охолоджувачів в самих різних сферах: від вакуумної техніки і медицини, до кріогеніки [1].

Оскільки вихрові апарати багатофункціональні і здатні охолоджувати і нагрівати потік газу, виконувати функції ежектора, сепаратора і генератора коливань, вони досить легко «вписуються» в низькотемпературні схеми. Використання наявного перепаду тисків в вихровому охолоджувачі дозволяє знизити витрати холодоагенту на кріогенне забезпечення процесів отримання рідких газів.

Але, серйозною перешкодою на шляху використання газодинамічних пристроїв в кріогенній техніці є їх відносно малі розміри, які продиктовані фізичними властивостями робочої речовини та експлуатаційними параметрами. Для створення маломасштабних вихрових пристроїв потрібні спеціальні конструктивні рішення і високоточне обладнання.

Для кріогенних технологій отримання рідких газів характерні відносно малі витрати продуктів, підвищений тиск і низька температура потоків. Кожен з цих параметрів, при названих умовах, веде до скорочення перетину соплового введення  $F_c$ . Параметр  $F_c$  є базовим конструктивним фактором газодинамічних пристроїв, так як з ним пов'язані основні розміри проточної частини (Рис. 1).



**Рис.1. Визначальні розміри, що характеризують проточну частину вихрової труби.**

Більшість безмашинних кріогенераторів, що використовуються в установках отримання рідких газів, експлуатуються при закритичних режимах витікання. Ці умови диктуються значними перепадами тиску в технологічних циклах. Для процесу витікання ідеального газу критичне ставлення тисків  $\varepsilon_c$  визначається показником адіабати  $k$  [2]:

$$\varepsilon_C = \frac{P_1}{P_2} = \left( \frac{k+1}{2} \right)^{\frac{k}{k-1}}, \quad (1)$$

де,  $P_1$  і  $P_2$  тиск стисненого та холодного потоків.

Величина  $k$  для інертних газів (He, Ne, Ar, Kr і Xe) знаходиться у вузькому інтервалі  $1,67 \pm 0,01$ . Відповідно до формули 1  $\varepsilon_C = 2,05 \dots 2,06$ . Відносини тисків, характерних для технологій отримання рідких газів, в кілька разів перевищують критичний рівень. Для цього випадку тиск холодного потоку  $P_2$  не впливає на умови витікання газу і існує цілком певний взаємозв'язок між перетином сопла  $F_C$  і масовою витратою  $G_I$ , [кг / с]:

$$F_C = \frac{G_I \cdot \sqrt{R^* \cdot T_1}}{P_1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k+1} \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}}}, [\text{м}^2] \quad (2)$$

де,  $T_1$  [K] і  $P_1$  [Па] – температура і тиск стисненого газу перед соплом,  $R^*$  – газова константа робочого тіла [Дж/(кг\*К)].

Використання вихрових апаратів в криогенних сферах фактично завжди супроводжується їх мініатюризацією. Відомо, що зменшення розмірів газодинамічних охолоджувачів призводить до зниження їх ефективності. Якщо для вихрової труби з великим діаметром  $d_T$  характерна температура холодного потоку  $T_2$ , то для меншою вихрової труби  $d_T' < d_T$  температура холодного потоку виявиться вище  $T_2' > T_2$ . Ця закономірність виражається співвідношенням:

$$T_2' - T_2 = T_1 \cdot m \cdot (d_T - d_T') \cdot \left( 1 - \varepsilon^{\frac{1-k}{k}} \right) \quad (5)$$

де,  $\varepsilon$  – відношення тисків,  $k$  – показник адиабати;  $T_1$  – початкова температура газу;  $m$  – емпіричний коефіцієнт.

В інтервалі  $d_T = 40 \dots 10$  мм коефіцієнт впливу масштабу дорівнює  $m = 0,005$  [3]. При переході до малих вихрових камер  $d_T \leq 4$  мм величина знижується до  $m = 0,008$ . Область діаметрів  $d_T < 3$  мм практично не вивчена навіть для «високотемпературних» вихрових апаратів.

Створення та дослідження подібних пристроїв для криогенних температур пов'язане з рядом конструктивних і експлуатаційних перешкод. Зростають вимоги до точності верстатного обладнання. Особливо при виготовленні соплових равликів. Для зниження впливу прикордонних ефектів потрібно забезпечити мінімальну шорсткість поверхонь проточної частини. Слід враховувати вплив теплоперетоків. Для цього зменшують перетин елементів, що контактують з охолодженим газом, і застосовують менш теплопровідні матеріали.

[1] Меркулов А. П. Вихровий ефект та його застосування в техніці. Москва, 1977, 343 с.

[2] Кирилін В. А., Сичев В. В., Шейндлін А. Е. Технічна термодинаміка. Москва, 1974, 447 с.

[3] Бондаренко В. Л., Лосяков Н. П., Симоненко Ю. М. Промислове застосування вихрових та пульсаційних охолоджувачів в технологіях вилучення рідкісних газів. Технічні газы, 2009, №5, с. 50–58.