

**Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій
та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського ОНТУ**



XIII ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

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

23-25 вересня 2021 року

ЗБІРНИК ДОКЛАДІВ



Одеса - 2021

УДК 621.565; 621.

Сучасні проблеми холодильної техніки та технології / Збірник тез доповідей XII Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Одеса: ОНТУ, 2021. –196 с.

У збірнику наведені матеріали XIII 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, обладнання кондиціонування повітря, дослідженням робочих тіл та процесів в елементах холодильних та кріогенних систем, застосуванням нано та когенераційних технологій, використанням холоду в харчових технологіях, застосуванням і впровадженням нетрадиційних джерел енергії.

Матеріали, занесені до збірника, друкуються за авторськими оригіналами. За достовірність інформації відповідає автор публікації.

НАУКОВИЙ КОМІТЕТ

Голова - Єгоров Б.В. - ректор Одеської національної академії харчових технологій, Заслужений діяч науки і техніки України, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, д-р техн. наук, професор

Заступники голови

Поварова Н.М. – к.т.н., доцент, проректор з наукової роботи Одеської національної академії харчових технологій;

Косой Б.В. – д.т.н., професор, директор навчально-наукового Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики Одеської національної академії харчових технологій;

Члени наукового комітету:

Вансєв С.М.- Сумський державний університет, к.т.н., доцент;

Семенюк Ю.В. - зав. кафедрою теплофізики та прикладної екології ОНАХТ, д.т.н., професор;

Лабай В. Й. - Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор;

Лавренченко Г.К. – д.т.н., професор;

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

Морозюк Л.І. - д.т.н., професор;

Потапов В. О. - Харківський державний університет харчування і торгівлі, д.т.н., професор;

Радченко М.І. - зав. кафедрою кондиціонування і рефрижерації НУК, академік Міжнародної академії холоду, д.т.н., професор;

Симоненко Ю.М. - зав. кафедрою криогенної техніки ОНАХТ, д.т.н., професор;

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

Організаційний комітет:

Голова - проф. Хмельнюк М.Г.;

Науковий секретар - к.т.н. доц. Жихарева Н.В.

Члени оргкомітету - к.т.н. Зімін О.В., к.т.н. Когут В.О., к.т.н. Желіба Ю.О., к.т.н. Трандафілов В.В., к.т.н. Грудка Б.Г., аспірант Дудко О.М., аспірант Крушельницький Д.О.

СЕКЦІЯ №2 – “КРІОГЕННА ТЕХНІКА І НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНІ МАШИНИ”

УДК 621.59:536.24(075)

ВИЯВЛЕННЯ ТА УСУНЕННЯ ОТРУЙНОЇ ДІЇ ПРОЦЕСУ ВАКУУМУВАННЯ НА ТЕПЛОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРІОПОСУДУ

*Г. Г. Жунь *, В. В. Старіков, О. Є Борщ*

** професор кафедри «Технічна кріофізика», НТУ «ХПІ», м. Харків, boe60@ukr.net*

Розробка науково-технічних основ виготовлення високоякісної теплоізоляції на азотний рівень температур має велике значення для кріобіологічних та інших кріопосудів, що застосовуються в кріомедицині, кріобіології, тваринництві, а також для устроїв, які реалізують ефект високотемпературної надпровідності (ВТНП). Дослідження механізмів виникнення ВТНП вже 25 років займаються вчені в усіх розвинених країнах і в Україні [1].

Технології для такої теплоізоляції не розроблялися, тому азотні кріобіологічні посуду, які виготовлялися за емпіричними конструкціями, не зважаючи на застосування в них самої низько теплопровідної екранно-вакуумної теплоізоляції (ЕВТІ), були низькоякісними. Причини цього для вчених були невідомі. Не існували і апробовані теоретичні співвідношення та експериментальні методики для їх визначення, тому тривалий час характеристики кріопосудів не покращувалися. Вперше дослідженнями низької якості таких кріопосудів на замовлення Харківського заводу транспортного устаткування почали займатися на кафедрі «Технічна кріофізика» НТУ «ХПІ» [2;3]. Для цього були розроблені нові підходи, необхідні розрахунково-експериментальні методики (більше 20), виготовлені експериментальні установки та використано в експериментах серійні кріопосуди, які дозволяли визначити теплопритоки по всіх елементах конструкції кріопосуду, теплопровідність теплоізоляції, виявляти особливості розподілу тиску газу $P(x/\delta)$ і температури $T(x/\delta)$ по середньоінтегральній товщині ($\delta_{ins.m}$) теплоізоляції ЕВТІ. Проведені вперше дослідження газопроникності для різних ділянок змонтованого на кріопосуді пакету теплоізоляції дозволили встановити, що розріджена структура із торців змонтованих смуг ЕВТІ уздовж поверхні горловини характеризується високою газопроникністю і представляє по суті вакуумний канал у поперечному перетині теплоізоляції [3].

Кріобіологічні посуду знаходяться в експлуатації по 10–15 років. У зв'язку з цим для виявлення погіршуючих у них факторів біли проведені на трьох кріопосудах Х–34Б (ємністю 34 л) довгострокові (трьохрічні) дослідження ефективності використовуваних у них із 100 шарів ЕВТІ. Ці кріопосуди були виготовлені із датчиками температури по середньоінтегральній товщині (x/δ) теплоізоляції та манометричними лампами для вимірювання тиску газу в ЕВТІ. Один із експериментальних кріопосудів (N_1) при виготовленні нагрівався в електропечі із відкачкою до температури $T_g - 390$ К, а інші: $N_2 -$ до 375 К та $N_3 -$ до 350 К. Після заповнення експериментальних кріопосудів рідким азотом і встановлення теплової рівноваги (через 3 доби) ресурси (R) їх роботи (термін зберігання (до повного випаровування) рідкого азоту при разовому заповненні кріопосуда) виявилися однаковими, рівними 152–153 доби. При цьому тиск газу (P_g) біля теплих (зовнішніх) стінок у них був також однаковим, оптимальним (P_0), рівним $(2,5-3,2) \cdot 10^{-3}$ Па, при якому теплоперенос по газовій складовій (λ_g) через теплоізоляцію практично відсутній.

Подальші дослідження дозволили встановити, що із збільшенням строку зберігання рідкого азоту в кріопосудах температура шарів їх теплоізоляцій поступово, із різною інтенсивністю, стала

зростати. Особливо на ділянках із відносною товщиною (x/δ) від 0,15 до 0,4 (при температурах від 120 К до 210 К (дивись рис. 1)).

Одночасно збільшувалася і випаровуваність рідкого азоту із кріопосудів. При цьому через 3 роки найбільше погіршення теплових характеристик та зменшення ресурсу роботи до 123 діб (на 24 %) відбулося для кріопосуду N_3 із самою низькою температурою дегазації ($T_g = 350$ К) та із найбільшим, в результаті, об'ємом невідкачених газів, що залишилися в структурі його ізоляційних матеріалів. Від цього через 10 років для кріопосуду N_3 ресурс роботи зменшився до 69 діб, що на 55 % стало меншим від початкового. Для кріопосуду N_1 із найбільшою температурою дегазації ($T_g = 390$ К) через 3 роки отримані в результаті менше зниження (на 17 %) ресурсу роботи, до 130 діб. Встановлено також, що через 10 років для його ресурсу можливе зменшення до 101 доби, що на 33 % нижче початкового.

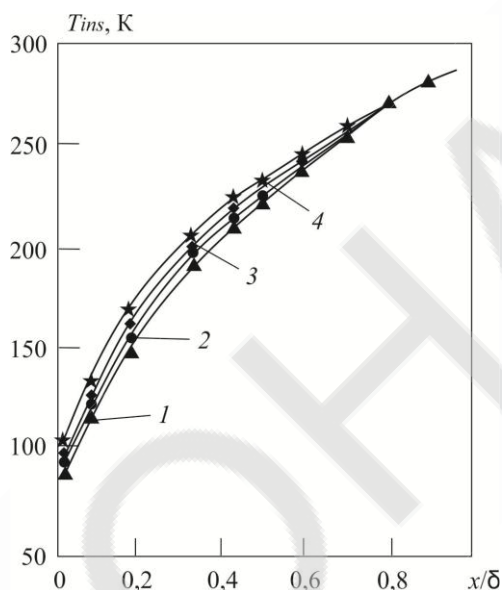


Рисунок 1. Зміна температурних профілів $T_{ins}(x/\delta)$ по середньоінтегральній товщині пакету ЕВТІ на кріопосудах через 3 роки зберігання в них рідкого азоту в залежності від температури проведеного для них процесу термовакuumної дегазації.

- 1 – початковий профіль температури для теплоізоляцій всіх експериментальних кріопосудів;
2 – температурний профіль для кріопосуду N_1 ($T_g = 390$ К); 3 – температурний профіль для кріопосуду N_2 ($T_g = 375$ К); 4 – температурний профіль для кріопосуду N_3 ($T_g = 350$ К).

Слід відзначити, що тиск газу P_g біля теплих стінок кріопосудів і через 3 роки залишився практично незмінним, рівним його початковому оптимальному значенню P_0 .

Отримані результати дозволили зробити висновок, що єдиною причиною погіршення теплових характеристик кріопосудів могли стати лише шари кріоконденсату, що утворювалися на холодних ділянках теплоізоляції із відкачуваних через них продуктів газовідділення теплоізоляційних матеріалів. Дані гази, згідно [4], складаються в основному із молекул H_2O . Їх конденсація і є причиною збільшення ступеня чорноти шарів ЕВТІ, що, в свою чергу, обумовлює зростання їх температури та променевого (λ_{rad}) через них теплопереносу, згідно рівняння [5]:

, Вт/(м·К)

$$\lambda_{rad} = 4 \frac{\varepsilon}{2 - \varepsilon} \cdot \frac{\delta_{ins.m}}{N} \cdot \sigma \cdot T_m^3$$

де ε – ступінь чорноти екрану теплоізоляції;

σ – постійна Стефана–Больцмана;

N – кількість шарів в пакеті ЕВТІ;

T_m – середня температура на ділянці теплоізоляції.

Таким чином, нами вперше експериментально встановлено, що використовуємий у теплозахисті кріопосудів вакуумний процес (за допомогою застосованих у них спеціальних вакуумних адсорбційних насосів на холодній стінці) зменшуючи тиск газу P_g в теплоізоляції і теплоперенос λ_g по ньому, одночасно також чинить отруйну дію на теплозахист, шляхом збільшення променевої складової λ_{rad} теплопереносу. При цьому погіршення теплових характеристик у кріопосудах збільшується із зростанням часу зберігання в них рідкого азоту та із застосуванням в теплоізоляції матеріалів із низькою температурою процесу термовакуумної дегазації в електropечач.

Для захисту холодних шарів ЕВТІ від отруйної дії відкачуваних через них продуктів газівідділення запропоновано змінити напрямок їх відкачки (за рахунок зменшення гідравлічного опору) у бік теплої стінки кріопосуду та вздовж неї і по відкритому вакуумному каналу біля горловини [3] до вакуумного адсорбційного насосу на його холодній стінці. Причому зменшення гідравлічного опору запропоновано досягати застосуванням у зовнішніх шарах ЕВТІ перфорованих (отворами діаметром $2 \cdot 10^{-3}$ м із ступенем перфорації $\sim 8\%$) екранних плівок ПЕТФ-ДА. Проведені дослідження на кріопосудах із 20, 25, 35 та 42 шарами ЕВТІ із перфорованими екранами представлені на рис. 2 і дозволили встановити, що оптимальним є застосування в теплоізоляції 35 шарів із перфорацією. При цьому встановлено, що в результаті застосування в теплоізоляції перфорації збільшився променевий теплоперенос λ_{rad} , що призвело до зменшення ресурсу роботи для експериментального кріопосуду N_1 на $\sim 5\%$, до 145–148 діб. Даний ресурс роботи для кріопосуду X–34Б із рідким азотом залишився вже незмінним на протязі багаторічних досліджень.

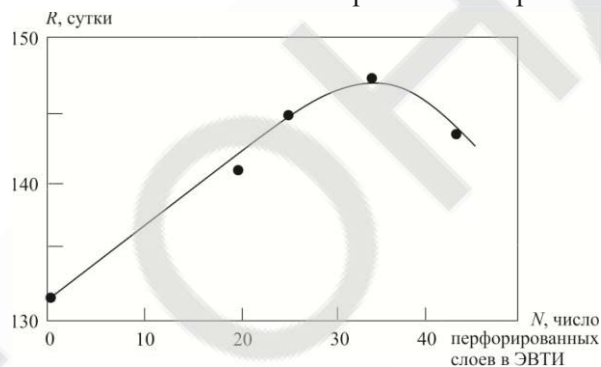


Рисунок 2. Залежність ресурсу роботи (R) кріопосуду X–34Б від кількості (N) використовуваних шарів з перфорованими екранами в теплозахисному пакеті.

Таким чином вперше досліджено, що для вакуумного процесу в теплозахисті кріопосуду можлива значна отруйна дія на його теплові характеристики в результаті вакуумування через холодні шари продуктів газівідділення. Розроблена вперше оптимізована теплозахисна конструкція із використанням 35 шарів із перфорованими екранами. Вона дозволила змінити напрямок відкачки продуктів газівідділення та досягти багаторічного захисту теплозахисного пакету на кріопосудах від погіршуючої дії процесу вакууму. Оптимізовані теплозахисні конструкції із шарів ЕВТІ стали застосовуватися на Харківському заводі транспортного устаткування в 7 типах виготовляємих серійних кріопосудах ємністю від 5 до 35 л. Застосування в Україні азотних кріопосудів із оптимізованою теплозахисною конструкцією замість низькоякісних дозволяє щорічно отримувати економічний ефект 7–8 млн гривень.

1. С. И. Бондаренко, Г. К. Лавренченко. Высокотемпературные сверхпроводники и некоторые аспекты их применения. Технические газы, № 2, 2017, с. 15–18.
2. Г. Г. Жунь. Исследование распределения давления в теплоизоляции криососуда. Авиационно–космическая техника и технология. Вып. 27, 2002, с. 94–98.
3. Г. Г. Жунь. Исследование пропускной способности экранно–вакуумных изоляций. Придніпровський науковий вісник. Сер.: Машинобудування.– 2008. № 54(121).– С. 20–28.

4. Р. С. Михальченко, В. Ф. Гетманец и др. Масс-спектрометрические исследования динамики газоотделения экранно-вакуумной теплоизоляции // Газодинамика и теплообмен в криогенных системах. Киев: Наукова думка.– 1977.– С. 95–99.
5. М. Г. Каганер, Теплообмен в низкотемпературных конструкциях. Энергия, Москва, 1979, 256с.

СХЕМНЕ РІШЕННЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ АМІАКУ ВИСОКОЇ ЧИСТОТИ

Проф. Морозюк Л.І., проф. Симоненко Ю.М., асп. Костенко Є.В.

Поряд з інертними газами аміак використовується у вакуумно-плазмових технологіях при створенні напівпровідників. Суміші на основі NH_3 виступають якості газу, який створює плазму при травленні тонких фрагментів з високим ступенем точності [1]. У названих технологіях висуваються жорсткі вимоги до чистоти газових компонентів, так як наявність побічних речовин може негативно позначитися на якості напівпровідникових структур. Більшість українських підприємств виробляють аміак з вмістом домішок 0,1 ... 0,4%. Для застосування в сучасних наукоємних виробництвах потрібно глибоке очищення NH_3 від H_2O , CO_2 , Cl і ряду органічних сполук, запропоновано технологічну послідовність, яка передбачає дві стадії очистки. На першому етапі методом ректифікації в колоні РК видаляються низькокиплячі домішки (рис. 1). Сирий аміак надходить в колону РК з ізотермічної ємності Ц1, в якій підтримується тиск $P_{Ц1} = 0,6 \pm 0,2$ МПа. Зміна температури фазової рівноваги в межах $T_{Ц1} = 281 \dots 283$ К забезпечується випарником В і конденсатором NH_3 , що охолоджується холодильною машиною ХМ з проміжним холодоносієм ЦК. Такий же принцип відведення тепла реалізований від верхньої частини колони. Нагрівання кубової рідини в РК здійснюють за рахунок підведення частини тепла конденсації холодоагенту в апараті КХМ1.

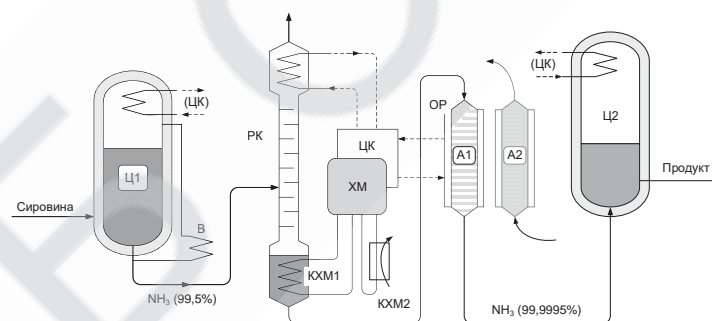


Рис. 1. Спрощена схема послідовності очищення NH_3 : Ц1 і Ц2 - ізотермічні ємності з вихідною сировиною і чистим продуктом; В - випарник Ц1; РК - колона ректифікації; А - адсорбер; ОС - охолоджуюча сорочка адсорбера; ХМ - холодильна машина; КХМ1 - конденсатор у кубі колони; КХМ2 - конденсатор з водяним охолодженням; ЦК - циркуляційний контур проміжного холодоносія.

Очищена від низькокиплячих компонентів кубова фракція РК подається в один з адсорберів, що перемикаються. За тиском на вході $P_{A1} = 0,5$ МПа в охолоджуючій сорочці ОС підтримується температура $T_{A1} > 280$ К, що виключає зрідження аміаку у шарі сорбенту. Паралельно з роботою активного адсорбера А1 відбувається процес регенерації в адсорбері А2, що супроводжується витяганням поглинених висококиплячих домішок. Очищений продукт направляють у цистерну Ц2. За рахунок відведення тепла від Ц2 між цистернами підтримується різниця тисків, необхідна для подолання гідравлічного опору апаратів. Представлену на рис. 1 схему передбачається впровадити при створенні дослідно-промислової установки продуктивністю $g=30$ кг/год. У другій черзі комплексу продуктивністю $g=120$ кг/год перед адсорберами буде включено додаткову колону для видалення

	СЕРЕДОВИЩА	
	<i>Селіванов А.П., викладач вищої категорії, Одеський технічний коледж, Тітлов О.С., завідувач кафедру, Одеська національна академія харчових технологій, Одеса</i>	
45	РОЗРОБКА СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ МОРСЬКИХ І РІЧКОВИХ СУДЕН НА БАЗІ АБСОРБЦІЙНИХ ВОДО АМІАЧНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ АГРЕГАТИВ З ВТОРИННИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ	141
	<i>Адамаєв Д.Б., аспірант, Тітлов О.С., завідувач кафедру, Одеська національна академія харчових технологій, Одеса</i>	
46	ПОШУК ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АБСОРБЦІЙНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ ПРИЛАДІВ З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ	142
	<i>Березовська Л.В., аспірантка, Тітлов О.С., завідувач кафедру, Одеська національна академія харчових технологій, Одеса</i>	
47	ВИКОРИСТАННЯ СКИДНОГО ТЕПЛА ПОБУТОВИХ ХОЛОДИЛЬНИХ ПРИЛАДІВ ДЛЯ РОЗШИРЕННЯ ЇХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ	145
	<i>Гратій Т.І., аспірантка, Тітлов О.С., завідувач кафедру, Одеська національна академія харчових технологій, Одеса</i>	
48	ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬВ УКРАЇНІ ТА СВІТІ	148
	<i>Ткач Сергій аспірант ОНАХТ</i>	
49	СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ НА ПРИРОДНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ АГЕНТАХ	151
	<i>Сазанський А.Р., аспірант Хмельнюк М.Г. дтн. проф. ІКХЕ, ОНАХТ</i>	
50	ДО ПИТАННЯ ЗНИЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОГО ІНДЕКСУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НА МОРСЬКИХ СУДАХ	153
	<i>Кіценко А.Р., аспірант. ІКХЕ, ОНАХТ</i>	

СЕКЦІЯ №2 –НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНІ ХОЛОДИЛЬНІ І КРІОГЕННІ МАШИНИ

1	ВИЯВЛЕННЯ ТА УСУНЕННЯ ОТРУЙНОЇ ДІЇ ПРОЦЕСУ ВАКУУМУВАННЯ НА ТЕПЛОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРІОПОСУДУ	155
	<i>Жунь Г.Г., д.т.н., професор, Старіков В.В., Борщ О.С., НТУ “ХПІ”, м. Харків</i>	
2	СХЕМНЕ РІШЕННЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ АМІАКУ ВИСОКОЇ ЧИСТОТИ	159
	<i>Морозюк Л.І., д.т.н., професор, Симоненко Ю.М., д.т.н., професор, Костенко Є.В., аспірант, ІКХЕ ОНАХТ, м. Одеса</i>	
3	МОДЕРНІЗАЦІЯ ЛАБОРАТОРНИХ ЗРІДЖУВАЧІВ ГЕЛІЮ	160
	<i>Бондаренко В.Л., д.т.н., професор, Симоненко Ю.М., д.т.н., професор, Чігрін А.О., інженер, ІКХЕ ОНАХТ, м. Одеса</i>	
4	ТЕХНОЛОГІЇ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ВИРОБНИЦТВІ РІДКІСНИХ ГАЗІВ	161
	<i>Бондаренко В.Л., д.т.н., професор, Симоненко Ю.М., д.т.н., професор, Медушевський Є.В., ІКХЕ ОНАХТ, м. Одеса</i>	
5	ДО РОЗРАХУНКІВ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИКЛІВ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ З ДВОМА НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ТЕПЛА	161
	<i>Соколовська-Єфименко В.В., к.т.н., доцент, Грудка Б.Г, к.т.н., ст.викладач, Басов А.М., викладач-стажист, аспірант, ІКХЕ ОНАХТ, м. Одеса</i>	
6	МОДЕЛЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОДАВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОГО КОМПРЕСОРА TAG 2513Z	162
	<i>Кравченко М.Б., д.т.н., професор, Кокул С.В., аспірант, ІКХЕ ОНАХТ, м. Одеса</i>	
7	ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ НА БАЗІ КОМПРЕСОРА TAG 2513Z	165
	<i>Кравченко М.Б., д.т.н., професор, Кокул С.В., аспірант, ІКХЕ ОНАХТ, м. Одеса</i>	

*Матеріали XIII Всеукраїнської науково-технічної конференції
«Сучасні проблеми холодильної техніки і технології», 23 по 25 вересня 2021*

**Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій
та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського ОНТУ**

**XIII ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА
КОНФЕРЕНЦІЯ**

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

23-25 вересня 2021 року

ЗБІРНИК ДОКЛАДІВ

Одеса - 2021