

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



ХІІІ 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 кондиціювання 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 кріогенної 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. Жихарєва 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.

3. Железний В. П. Перспективы применения нанотехнологий в холодильной технике: моногр. Одесса, Феникс. 2019 . Ч.1. 2019. 311 с.

4. Железний, В. П. Експериментальна теплофізика. Методи дослідження теплофізичних властивостей / В. П. Железний, В. З. Геллер, Ю. В. Семенюк. – Одеса: Фенікс, 2016. 320с.



УДК 62-169, 62-97/-98

ЕКОЛОГО-ТЕРМОЕКОНОМІЧНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РОБОЧИХ ТІЛ З ДОМІШКАМИ ФУЛЕРЕНУ C₆₀ В ПАРОКОМПРЕСІЙНОМУ ХОЛОДИЛЬНОМУ ОБЛАДНАННІ

Корнієвич С.Г.¹, Хлієва О.Я.^{1,2}, Борисов В.О.¹, Валбах Е.¹, Железний В.П.¹

Одеський національний технологічний університет, м. Одеса, zheleznyv@gmail.com

Національний університет «Одеська морська академія», м. Одеса

У практичній діяльності часто виникає необхідність визначити перспективу застосування холодоагенту та певної марки компресорних мастил, або провести раціональний підбір обладнання для реалізації будь-якої холодильної технології. Для вирішення такої задачі зазвичай використовується так званий показник *TEWI* (Total equivalent warming impact). В [1] було запропоновано при розрахунку величини повного еквівалента теплового впливу враховувати додаткові енергетичні витрати E_i на створення обладнання, машинного залу, забезпечення заходів безпеки, а також на ремонт техніки.

$$TEWI_N = GWP_R (L_R N + m_R (1 - \alpha)) + GWP_{BA} m_{BA} + \beta N_{повн} \tau + \sum \beta E_i \quad (1)$$

де GWP_R та GWP_{BA} – потенціали глобального потепління холодоагенту і вспінюючого агента ізоляції, відповідно, кг CO₂/кг; L_R – втрати холодоагенту, кг/рік; N – час експлуатації обладнання, рік; m_R – маса холодоагенту в установці, кг; α – частина утилізованого після завершення експлуатації холодоагенту; m_{BA} – маса вспінюючого агента, $N_{повн}$ – потужність холодильної установки, кВтгод; E_i – енергоємність елементів холодильної установки, кВтгод/кг; β – емісія CO₂ при виробництві 1 кВтгод електроенергії, кг CO₂/(кВтгод); τ – час експлуатації обладнання в годинах.

Недоліком викладеної моделі *TEWI*-аналізу є відсутність урахування внутрішніх і зовнішніх ексергетичних втрат при роботі холодильної установки. Ця обставина робить неможливим виконання коректного науково обґрунтованого вибору компонентів реального робочого тіла (розчинів холодоагенту з компресорним мастилом) або встановлення доцільності використання нанотехнологій в холодильному обладнанні. Крім того, $TEWI_N$ є екстенсивною величиною оскільки вона залежить від холодопродуктивності холодильної машини і енергоємності її основних вузлів і апаратів. Отже відсутня можливість порівняння холодильного

обладнання виробленого різними фірмами.

З метою усунення перерахованих недоліків в роботі [2] були запропоновані питомі еколого-термoeкономічні індикатори, які були сформовані на підставі аналізу балансової схеми прямих та непрямих внесків у TEWIN компресорної системи (рис. 1 [2])

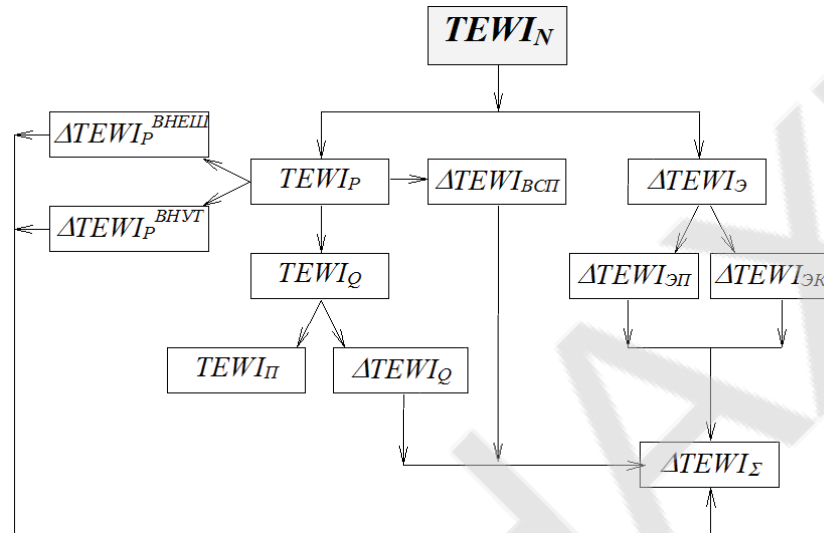


Рис. 1 - Балансова схема внесків у TEWIN холодильної компресорної системи:

TEWIN – Повний Еквівалент Глобального Потеплення, кг CO₂; TEWIP – емісія CO₂ від раціонально використаної енергії на виробництво холоду, кг CO₂; TEWIQ – емісія CO₂ від частини енергії, перетвореної в холод, кг CO₂; TEWIP – емісія CO₂ від енергії, витраченої на охолодження продукції (від корисно витраченої частини ексергії), кг CO₂; ΔTEW зовн – непрямий внесок у TEWI від зовнішньої незворотності процесів в холодильному обладнанні, кг CO₂; ΔTEWI ВНУТ – непрямий внесок у TEWI від внутрішньої незворотності процесів в холодильному обладнанні, кг CO₂; ΔTEWIQ – емісія CO₂ від нераціонально використаної енергії, витраченої на охолодження внутрішньо-камерного обладнання, і компенсації теплопритоків в холодильну камеру, кг CO₂; ΔTEWIE – внесок у TEWIN від емісії холодоагенту, вспіваючого агента теплоізоляції і витрат енергії для отримання конструкційних матеріалів та виготовлення холодильного обладнання, кг CO₂; ΔTEWIEП – прямий внесок у TEWIN від емісії холодоагенту і вспіваючого агента теплоізоляції, кг CO₂; ΔTEWIEK – непрямий внесок у TEWIN від витрат енергії на отримання конструкційних матеріалів, виготовлення обладнання, модернізацію, кг CO₂; ΔTEWIS – внесок у TEWIN від нераціонально використаної енергії при виробництві холоду, кг CO₂.

Складові TEWIN внески можуть бути розраховані з використанням наступних формул [2]:

$$TEWIP = \beta \cdot N_{\text{повн}} \cdot N \quad (2)$$

$$\Delta TEWIE_{\text{еп}} = GWP_R L_R N + GWP_R m_R (1 - \alpha) + GWP_{BA} m_{BA} \quad (3)$$

$$\Delta TEWIE_{\text{ек}} = \Sigma E_i \beta \quad (4)$$

$$\Delta TEWIE_{\text{др}}^{\text{внутр}} = (D_{\text{км}} + D) \beta \tau \quad (5)$$

$$\Delta TEWI_{\text{мех}}^{\text{внутр}} = (D_0 + D_k + D_{\text{вс}} + D_{\text{пто}} + D + D_{\text{ел}}) \beta \tau \quad (6)$$

$$TEWI_Q = TEWI_p - \Delta TEWI_p^{\text{внутр}} - \Delta TEWI_p^{\text{зовн}} - \Delta TEWI_{\text{всп}} \quad (7)$$

$$TEWI_{\text{п}} = TEWI_Q - \Delta TEWI_Q \quad (8)$$

$$TEWI_{\text{п}} = N \cdot \Delta N \quad (9)$$

$$\Delta TEWI_Q = Q_{\text{втр}} \cdot \Delta N \quad (10)$$

На відміну від ексергетичного ККД, коефіцієнт приведеної емісії парникових газів $tewi$ - характеризує екологічну чистоту (з точки зору впливу на парниковий ефект) отримання одиниці холоду (ексергії холоду).

$$tewi = \frac{TEWI_N}{TEWI_Q} \quad (11)$$

Для оцінки доцільності модернізації холодильного обладнання (наприклад, використання нанотехнологій), доцільно використовувати нові індикатори, які були запропоновані в монографії [2]. Розглянемо деякі із них.

Коефіцієнт прямого екологічного впливу холодильної установки або технології характеризує вплив парникових газів на стадії створення холодильного обладнання

$$\delta = \frac{TEWI_p}{TEWI_n} = 1 - \frac{\Delta TEWI_e}{TEWI_N} \quad (12)$$

Коефіцієнт непрямого екологічного впливу холодильної установки характеризує рівень внутрішніх і зовнішніх втрат ексергії при експлуатації холодильної установки

$$\gamma = \frac{TEWI_{\text{п}}}{TEWI_p} = 1 - \frac{\Delta TEWI_p^{\text{внутр}} + \Delta TEWI_p^{\text{зовн}} + \Delta TEWI_Q + \Delta TEWI_{\text{всп}}}{TEWI_p} \quad (13)$$

Коефіцієнт еколого-термoeкономiчної досконалостi дозволяє оцінити досконалість отримання штучного холоду і здійснення холодильної технології як з урахуванням ірраціонального використання енергетичних ресурсів при створенні обладнання та його експлуатації, так і прямої емісії холодоагенту і вспінюючого агентів

$$\phi = \frac{TEWI_{\text{п}}}{TEWI_N} = 1 - \frac{\Delta TEWI_{\Sigma}}{TEWI_N} \quad (14)$$

Коефіцієнт екологічної доцільності модернізування обладнання в порівнянні з базовим варіантом

$$\eta_{\text{ц}} = \frac{TEWI_n - TEWI_{n \text{ alt}} \left(\frac{TEWI_Q}{TEWI_{Q \text{ alt}}} \right)}{TEWI_N} \quad (15)$$

Коефіцієнт екологічної досконалості

$$\eta_{\text{с}} = \frac{TEWI_N \cdot TEWI_{Q \text{ alt}}}{TEWI_{N \text{ alt}} \cdot TEWI_Q} \quad (16)$$

Значення цих коефіцієнтів для холодильної компресорної системи при параметрах циклу $T_0 = 270$ та 260 К та при постійній температурі конденсації $T_k = 228$ К наведено на рис. 2. Коефіцієнти були отримані за параметрами холодильного циклу, побудованого для холодоагента R290 з урахуванням впливу домішок різних компресорних мастил у R290 на зміну ентальпії в вузлових точках циклу. Як компресорні мастила розглядалися: алкілбензолне *RENISO SP46* (в'язкість $46 \text{ мм}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ при 40°C), це ж мастило з вмістом $0.223 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{кг}^{-1}$ фулерену C_{60} , поліефірне *ProEco® RF22S* (в'язкість $22.26 \text{ мм}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ при 40°C), це ж мастило з вмістом $6.837 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{кг}^{-1}$ C_{60} [3]. Вплив домішок розглянутих мастил на тиск насичених парів R290 було попередньо експериментально вивчено та результати цього дослідження наведено в [4].

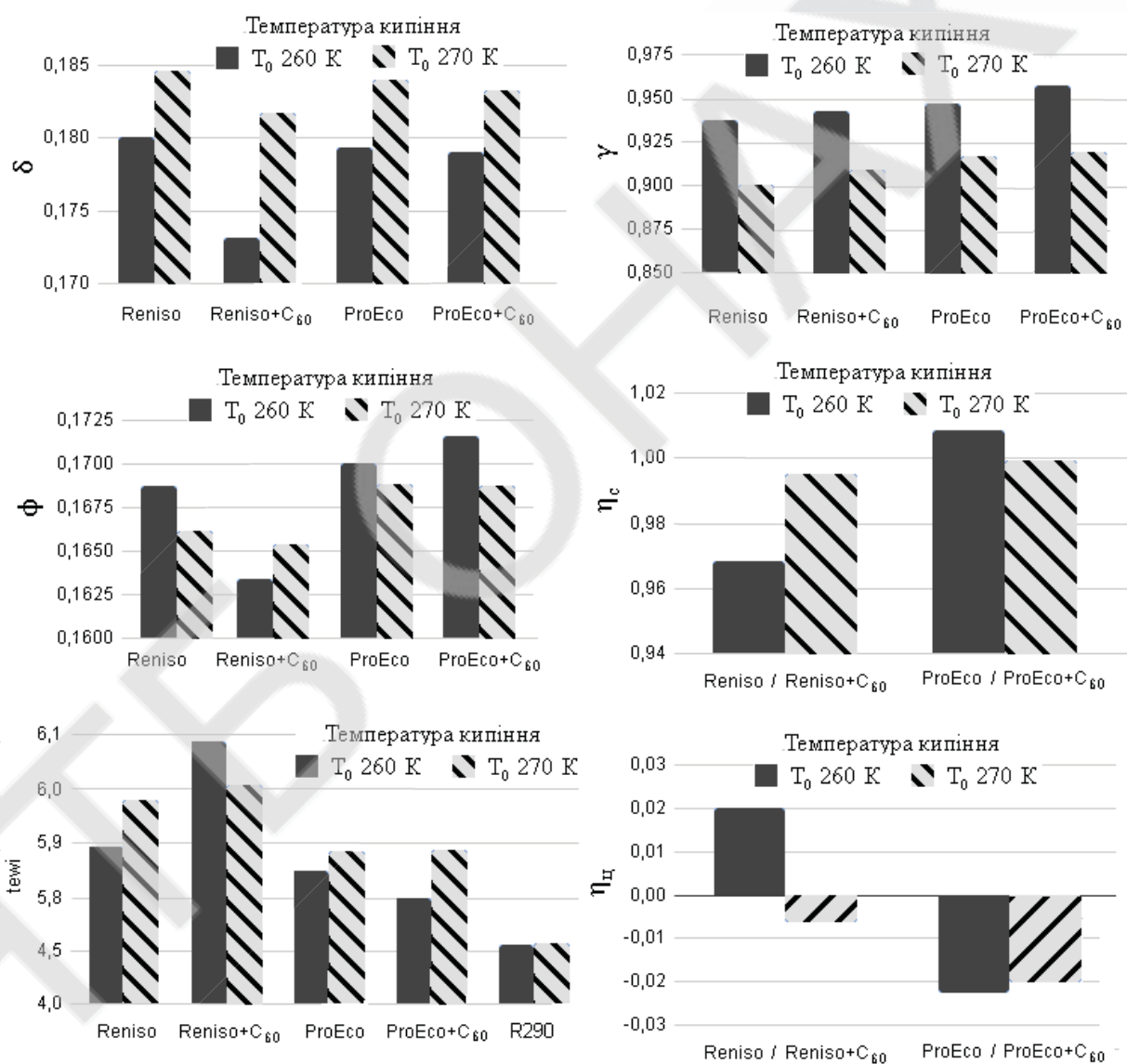


Рис. 2 – Коефіцієнти еколого-термoeкономічної ефективності для парокомпресійної холодильної машини при роботі на різних робочих тілах

Значення отриманих коефіцієнтів свідчать про доцільність використання нанотехнологій, а саме додавання фулерену C_{60} до компресорних мастил, та акцентують увагу на інтервалах температур в яких можна отримати оптимальний потрібний ефект. Було показано, що вибір марки компресорного мастила й його в'язкості впливає на показники ефективності холодильного обладнання не менш, ніж додавання наночастинок до розчину холодоагент/мастило. Домішки фулерену C_{60} майже завжди позитивно впливають на розглянуті в роботі показники коефіцієнтів досконалості. Тому можна рекомендувати їх використання для вибору таких інноваційних рішень у холодильній індустрії, які будуть сприяти зменшенню небезпечного впливу, спричиненого емісією парникових газів, на навколишнє середовище.

Список використаної літератури

1. Железний В. П., Быковец Н. П., Хлиева О. Я., Степанова В. П., Суходольская А. Б. Методика расчета эквивалентной эмиссии парниковых газов в промышленности // Экотехнологии и ресурсосбережение. 2004. № 6. С. 34-43.
2. Железний В. П., Семенюк Ю. В. Рабочие тела пароконденсаторных холодильных машин: свойства, анализ, применение: моногр. Одесса, Феникс. 2012.
3. Korniiievych S., Zhelezny V., Khliyeva O., Shymchuk M., Volgusheva N. A study of the influence of the fullerene C_{60} additives in compressor oils of various viscosities on the refrigerator performance parameters //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 5/8 (107). P. 56-62.
4. Железний В. П., Корниевич С. Г., Хлієва О. Я., Івченко Д. О. Експериментальне дослідження тиску насиченої пари пропану в сумішах з компресорними мастилами в присутності домішок фулерену C_{60} //Фізика аеродисперсних систем. 2021. №. 59. С. 89-99.

УДК 621.577

ТЕПЛОНАСОСНІ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ СУДНОВИХ ДВЗ

*Калініченко І.В., к.т.н., доцент кафедри теплотехніки; Асаволук Д.В. магістр
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Херсонська філія, м. Херсон
kiv26@ukr.net*

Актуальність теми. Утилізація вторинних теплових ресурсів суднового головного двигуна (ГД) традиційно є одним з основних методів і технологій підвищення ефективності комплексного використання паливо-енергетичних ресурсів суднової енергетичної установки (СЕУ). Теоретичні дослідження і розробки систем повторного використання теплоти ГД, в першу чергу суднових дизельних установок (СДУ), були успішно реалізовані на великому числі морських суден. Однак на сьогоднішній день ситуація з утилізацією теплоти СДУ на транспортному флоті якісно змінилася. Підвищення ККД ГД (ККД сучасних малооборотових суднових ГД становить від 48,0 до 51,0 %) і зниження питомої витрати палива сучасних суднових дизелів супроводжується перерозподілом статей їх теплового балансу, зокрема зменшенням втрат з відхідними газами (ВГ) із зниженням температури ВГ (температура ВГ двигунів фірми "MAN Diesel & Turbo" знизилася до 235...265 °С, а двигунів фірми "Wartsila" - до 257...298 °С) при одночасному зростанні частки

8	СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕПЛООБМІНУ ПІД ЧАС ПРИРОДНОЇ ТА ЗМІШАНОЇ КОНВЕКЦІЇ У ВОДІ В ОБЛАСТІ ІНВЕРСІЇ ГУСТИНИ	46
	<i>Р.В. Грищенко, канд. тех. наук, доц. каф. TEXT, ННІТІ, НУХТ, м. Київ</i>	
9	ПОТЕНЦІАЛ ОТРИМАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ	48
	<i>Голуб О.В., аспірант кафедри TEXT, Пилипенко О. Ю., доцент кафедри TEXT, НУХТ, м. Київ,</i>	
10	ПОРІВНЯННЯ АНАЛІТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТКИ ВИМОРОЖЕНОЇ ВОЛОГИ	51
	<i>Потапов В.О., д.т.н., Мольський О.С., аспірант, Смілик М. М., аспірант, Державний біотехнологічний університет м. Харків</i>	
11	OPTIMIZATION AND IMPROVEMENT OF ENERGY EFFICIENCY OF REFRIGERATION UNIT WITH THE USE OF SPRAYING POOLS	54
	<i>Zhykharieva N.V. ass. phrofessor Odessa National Technological University. Kogut V.E, ass. phrofessor Odessa National Technological University. Dragnev M., engineer Israel, Ostapenko D.student</i>	
12	ОСОБЛИВОСТІ ОБ'ЄКТІВ ВИНАХОДІВ В ГАЛУЗІ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЇ	57
	<i>Томчик О. М., к.т.н., ст. викл. кафедри ХУКП, інженер з патентної та винахідницької роботи І категорії відділу ПтаНТЗ ОНАХТ, м. Одеса, Хмельнюк М. Г., професор, зав. кафедрою ХУКП ОНАХТ, м. Одеса</i>	
13	ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ СИСТЕМ МІКРОКЛІМАТУ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЙ КУЛЬТИВУВАННЯ МАТОЧНИХ ЕНТОМОКУЛЬТУР	59
	<i>Піщанська Н.О., доцент кафедри ХУ і КВ, ІХКЕ ОНАХТ, Одеський національний технологічний університет Подмазко О.С., доцент кафедри ХУ і КВ, ІХКЕ ОНАХТ, Одеський національний технологічний університет Бельченко В.М., в.о. заст. Директора за наукової роботи Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» НААН</i>	
14	ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ХМ НА РІЗНИХ РОБОЧИХ РЕЧОВИНАХ	61
	<i>Подмазко І.О. доцент кафедри КПА, ІХКЕ ОНАХТ, Подмазко О.С., доцент кафедри ХУ і КВ, ІХКЕ ОНАХТ, Одеська національна академія харчових технологій</i>	
15	РОЗРАХУНОК ТЕПЛООБМІНУ МІЖ КРАПЛЯМИ РОЗПОРОШЕНОЮ ОХОЛОДЖУЮЧОЇ РІДИНИ І ДИМОВИМ ГАЗОМ	64
	<i>Бушманов.В.М. аспірант, Козут В.О. доцент, Жихарева Н.В. доцент, Одеська національна Академія Харчових Технологій м.Одеса</i>	
16	ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ ДИМОВИХ ГАЗІВ СИЛОВИХ УСТАНОВОК СУДЕН	66
	<i>Бушманов.В.М. аспірант, Козут В.О. доцент, Жихарева Н.В. доцент, Одеська національна Академія Харчових Технологій м.Одеса</i>	
17	ДОСЛІДЖЕННЯ В'ЯЗКОСТІ РОЗЧИНІВ ХОЛОДОАГЕНТ R290/КОМПРЕСОРНЕ МАСТИЛО ТА ХОЛОДОАГЕНТ R290/ КОМПРЕСОРНЕ МАСТИЛО/ФУЛЕРЕН C₆₀	67
	<i>Корнієвич С.Г., Борисов В.О., Желєзний В.П. Одеський національний технологічний університет, м. Одеса,</i>	
18	ЕКОЛОГО-ТЕРМОЕКОНОМІЧНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РОБОЧИХ ТІЛ З ДОМІШКАМИ ФУЛЕРЕНУ C₆₀ В ПАРОКОМПРЕСІЙНОМУ ХОЛОДИЛЬНОМУ ОБЛАДНАННІ	70
	<i>Корнієвич С.Г.¹, Хлієва О.Я.^{1,2}, Борисов В.О.¹, Валбах Е.¹, Желєзний В.П.¹ Одеський національний технологічний університет, м. Одеса, Національний університет «Одеська морська академія», м. Одеса</i>	
19	ТЕПЛОНАСОСНІ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ СУДНОВИХ ДВЗ	74

*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