

**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.

УДК 621.51

ЕКСЕРГЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СУДНОВОЇ ПОВІТРЯНОЇ КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ.

Ярошенко В.М. к.т.н., доцент, **Мілованов В.І** д.т.н., професор. , Одеська національна академія харчових технологій., м. Одеса, valeryi@ukr.net

Системи виробництва та розподілу стисненого повітря є в значній мірі енергозатратними. Енергетичні витрати на виробництво стисненого повітря складають 5-15% від собівартості продукції, а для деяких виробництв досягають 30% і більше [2,4]. При виборі оптимальної конструкції компресорної установки або її елементів практично завжди необхідно визначати оптимальне (компромісне) співвідношення між вимогами енергетичної (термодинамічної) ефективності та техніко-економічною доцільністю, яка базується та розраховується на основі мінімальних узагальнених (приведених) витрат. За звичай підвищення енергетичної ефективності процесу пов'язано зі зниженням його необоротності процесу, що в свою чергу обумовлює додаткові економічні витрати, які впливають на собівартість енергетичного продукту установки. Але для переважної кількості повітряних компресорних систем в якості головного та визначального критерія завжди має місце їх енергетична ефективність [2,3].

Досить часто оцінка енергетичної ефективності процесів енергетичних перетворювань проводиться за допомогою кількісних енергетичних коефіцієнтів, таких як коефіцієнт перетворення енергії, COP та інші, розрахунок яких базується тільки на засадах першого принципу термодинаміки. В результаті такого підходу автори деяких робіт, обґрунтовуючи необхідність утилізації теплоти стиснення в компресорних системах, стверджують, що тільки 5-15 % електричної енергії трансформується в енергію стислого повітря, а 85-90 % передається тепловому потоку, який скидається до навколишнього середовища [2,4,5].

Тому визначення енергетичної ефективності компресорних установок за допомогою коефіцієнтів перетворення енергії, які базується тільки на першому законі термодинаміки, не являється об'єктивним показником, а навіть хибним, так як при цьому не враховується якість енергетичних потоків та рівень їх оборотності – обмеження, які витікають із другого закону термодинаміки [1]. При цьому необхідно підкреслити той факт, що енергетична цінність теплової та механічної енергії суттєво відрізняється і тому термодинамічну ефективність компресорних систем необхідно аналізувати не тільки з врахуванням їх кількості але і якості, з визначенням рівню необоротності процесів та їх вплив на загальну термодинамічну ефективність.

Енергетичні розрахунки аналіз виконувались на прикладі суднової повітряної компресорної установки при тиску повітря 3 Мпа [3], результати яких приводяться в таблиці.

Таблиця 1. Енергетичні показники повітряної компресорної системи.

Назва розрахункового параметру	Символічне позначення	Одиниця виміру	Величина
Обємна продуктивність (витрата) повітря	V	м ³ /хв.	15,48
Електрична потужність компресору низького тиску	N _{1.1}	кВт	48,6
Теплова потужність проміжного охолоджувача	Q ₁	кВт	13,38
Електрична потужність компресору високого тиску	N _{1.2}	кВт	56,1

Теплова потужність кінцевого охолоджувача	Q_2	кВт	15,75
Електрична потужність насосів (вентиляторів)	N_H	кВт	1,2
Гідравлічні втрати	ΔN	кВт	3,3

Із таблиці видно, що в компресорній системі без утилізації теплоти стиснення, загальна електрична потужність системи приблизно дорівнюється загальній потужності теплових потоків, які скидаються до зовнішнього середовища. При цьому не визначається потенційна енергія стиснутого повітря, яку необхідно враховувати при визначенні рівня енергетичної ефективності таких систем.

Для визначення ефективності енергетичних перетворювань в розімкнутих термодинамічних системах, до яких відносяться і компресорні установки з адіабатним (політропним) стисненням газу та його охолодженням в проміжних та кінцевих процесах, найбільш об'єктивним та простим, з точки зору його практичного застосування, являється метод функцій в основі якого використовується універсальна термодинамічна функція - ексергія [1].

Величини, необхідні для проведення ексергетичного аналізу установки, визначалися з енергетичного розрахунку суднової компресорної системи, результати якого приводяться в таблиці 1.

Ексергетичний коефіцієнт корисної дії компресорної системи без утилізації теплоти стиснення в такому разі визначається через відношення вихідної ексергії до вхідної та за розраховується формулою

$$\eta_{ex} = \frac{Ex_{вих}}{Ex_{вх}} = \frac{\Delta Ex_1}{\sum_{i=1}^{i=n} N_{kП} + \sum_{i=1}^{i=n} N_H}$$

де: ΔEx_1 - приріст загальної ексергії повітря в результаті його стиснення, який дорівнюється ексергії потоку повітря після охолодження в кінцевому теплообміннику. кВт;

$\sum_{i=1}^{i=2} N_{kП}$ $\sum_{i=1}^{i=2} N_H$ - загальна потужність відповідно приводу повітряних компресорів, та допоміжного обладнання (насосів, вентиляторів), кВт

Приріст ексергії стиснутого повітря розраховується як здобуток масової продуктивності повітряної компресорної установки на приріст питомої ексергії потоку повітря [1]

$$\Delta Ex_1 = G \Delta e = G [h_1 - h_0 - T_0(S_1 - S_0)]$$

де: G - масова продуктивність повітряної компресорної установки, кг / с;

T_0 - абсолютна температура зовнішнього середовища, К;

h_1, h_0, S_1, S_0 , та - питомі ентальпії та ентропії відповідно стисненого повітря при заданих параметрах і в стані рівноваги з навколишнім середовищем..

Результати ексергетичного дослідження приводяться нижче в виді діаграми потоків ексергії (Сенкі – Грассмана) [1].

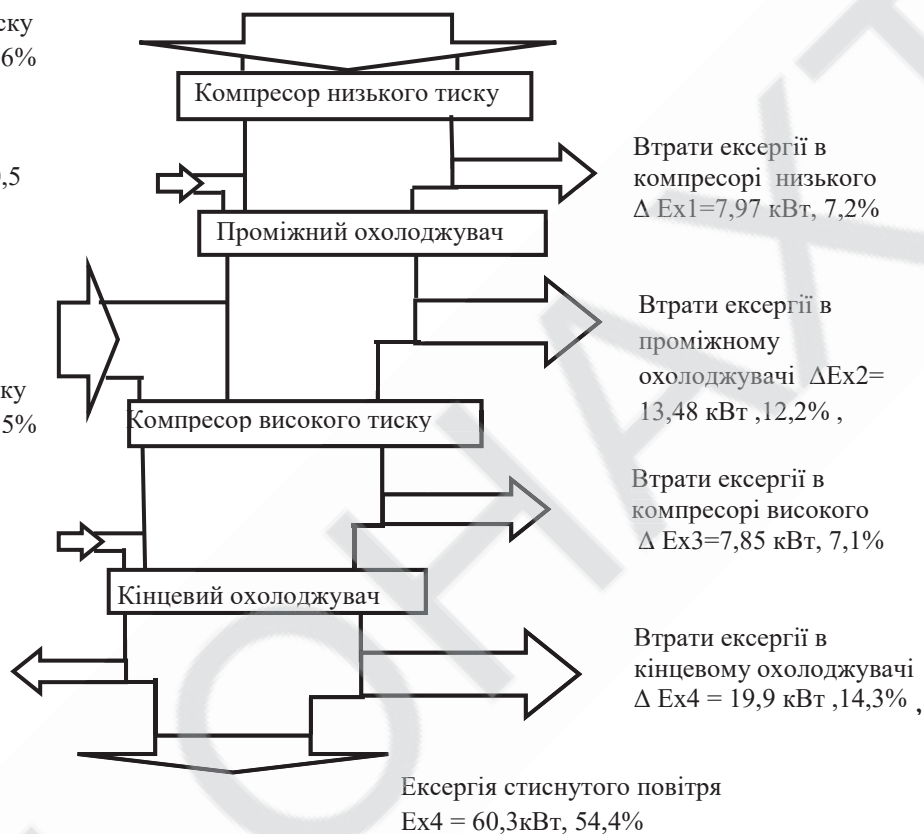
Електрична потужність
компресору низького тиску
 $N_{1.1} = E_{x1} = 48,6 \text{ кВт}, 48,6\%$

Електрична потужність
насосів $N_{1.2} = E_{x1} = 0,5$
кВт, 0,51%

Електрична потужність
компресору низького тиску
 $N_{2.1} = E_{x2} = 56,1 \text{ кВт}, 50,5\%$

Електрична потужність
насосів $N_{2.2} = E_{x1} =$
0,5 кВт, 0,51%

Гідравлічні втрати
 $\Delta E_{x5} = 3,3 \text{ кВт}, 3\%$



Використання ексергії дозволяє об'єктивно аналізувати не тільки кількісні характеристики енергетичних потоків в процесах, але і якісні зміни, що відбуваються в наслідок енергетичних перетворювань та їх необоротності, а ексергетичний ккд при цьому кількісно відображає рівень деградації енергії та відповідності реальних (дійсних) процесів по відношенню до оборотних (термодинамічно зразкових)

Як видно із діаграми потоків ексергії, ексергетична ефективність повітряної компресорної без утилізації теплоти стиснення в розрахунковому режимі становить 54,4%, що свідчить про досить високий рівень її енергетичної ефективності. Це підкреслює той факт, що такий відсоток електричної енергії, яка витрачається для приводу технологічного обладнання, передається стиснутому та охолодженому повітрю. Найбільш суттєві втрати ексергії мають місце в проміжному (12,2%) та кінцевому охолоджувачах (14,3%), що обумовлює необхідність зменшення ексергетичних втрат за допомогою утилізаційних процесів [5]. Якщо, наприклад, додатково утилізувати теплоту стиснення (її ексергетичну цінність) навіть на рівні 50% від загальної кількості, то ексергетичний ккд такої системи буде відповідати рівню 69%, що підкреслює енергетичну доцільність утилізації теплоти в різних утилізаційних технологіях.

Ексергетичний метод термодинамічного аналізу дозволяє не тільки визначати загальну термодинамічну ефективність установки (загальний ексергетичний ккд), але і розраховувати ексергетичні ккд її елементів з визначенням їх термодинамічної ефективності та рівня впливу на загальну енергетичну ефективність. Таким чином визначаються складові елементи установки, які в першу чергу потребують оптимізації з метою підвищення її загальної термодинамічної ефективності.

Літературні джерела.

- 1.Бродянский В., Фратшер В., Михалек К. Эксергетический метод и его приложения. М.: Энергоатомиздат, 1988. 286 с.
- 2.Замицький О.В., Лідер М.Ю. Дослідження шляхів підвищення енергетичної ефективності виробництва стисненого повітря в шахтних компресорних системах. Науковий вісник КрНУ, вип.43, 2016. 175-180 с.
- 3.Голиков А.А., Занько О.И., Логишев И.В. Технология использования газообразных рабочих тел в судовых энергетических установках и устройствах. Одесса, ОМА, 2008, 128 с.
- 4.Міщенко В.О. Термодинамічна оцінка та аналіз засобів утилізації тепла стиснення компресорних установок. Вісник Сум ДУ, Серія Технічні науки, №2 2009, 196-200 с.
- 5.Шадрин В. С., Козлов В. В. Рекуперация тепловой энергии на компрессорных станциях на базе компрессорных центробежных установок. В сб.: Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Электрон. журнал, 2016. № 02. 38–50 с.

УДК 628.84

РОБОТА МАЛОГО ХОЛОДИЛЬНОГО КОМПРЕСОРА НА ХОЛОДОАГЕНТІ З ДОМІШКАМИ НАНОЧАСТОК

Мілованов В.І., д.т.н., проф., Балашов Д.О., інж.

Одеська національна академія харчових технологій, м.Одеса, balashov_d@ukr.net

Традиційні робочі тіла і теплоносії практично вичерпали теоретичні можливості подальшого зростання показників ефективності теплоенергетичних систем. Перспективні рішення, що розширюють межі використання робочих середовищ в системах перетворення енергії, в останні роки були досягнуті за рахунок появи нових класів речовин - іонних рідин і нанофлюїдів. В останні два десятиріччя в наукову лексику швидко "увірвався" ряд нових слів з префіксом "нано": наноструктура, нанотехнологія, наноматеріал, наноколоїди, тощо. Є об'єкти, які по суті не були в арсеналі дослідників ще 20 років тому і без яких сьогодні вже неможливо представити сучасний розвиток науки - це наночастки у всьому їх різноманітті.

Зменшення частинок до нанометрових розмірів призводить до прояву в них так званих «квантових розмірних ефектів», коли розміри досліджуваних об'єктів можна порівняти з довжиною дебройлевської хвилі електронів, фононів та екситонів. У сфероїдальних наночастицях має місце тривимірне квантування рівнів, що дозволяє говорити, в залежності від складу наночастинок, про утворення «квантових точок», «квантових кристалітів» та інших об'єктів з нульовою розмірністю.

8	ТЕРМОДИНАМІЧНІ ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ГІБРИДНИХ ТЕПЛОВИКРИСТАЛЬНИХ ТЕРМО ТРАНСФОРМАТОРІВ	170
	<i>Косой Б.В., д.т.н., професор, Псарьов С.О., аспірант, Куколев А.К., аспірант, ІХКЕ ОНАХТ, м. Одеса</i>	
9	РОЗРАХУНКИ УСТАЛЕНИХ РЕЖИМІВ В ЕЛЕМЕНТАХ УСТАНОВКИ ПОВТОРНОГО ЗРІДЖЕННЯ LPG ГАЗІВ, ЩО ПРАЦЮЄ НА СУМІШІ РОБОЧИХ РЕЧОВИН, МЕТОДОМ ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ	171
	<i>Морозюк Л.І., д.т.н., професор, Косой Б.В., д.т.н., професор, Соколовська-Єфименко В.В., к.т.н., доцент, ІХКЕ ОНАХТ, м. Одеса</i>	
10	ЕНТРОПІЙНИЙ МЕТОД В АНАЛІЗІ ПОВІТРЯНОГО КОНДЕНСАТОРА ПРИ НАЯВНОСТІ ТВЕРДИХ ВІДКЛАДІВ НА ТЕПЛООБМІННІ ПОВЕРХНІ	172
	<i>Мошкатюк А.В., асистент, Бородінська О.В., інженер, ІХКЕ ОНАХТ, м. Одеса</i>	
СЕКЦІЯ №3 – ГАЗОТУРБІННІ УСТАНОВКИ ТА КОМПРЕСОРНІ СТАНЦІЇ		
1	РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИХРОВОЇ ТУРБІНИ З ПЕРИФЕРІЙНО-БІЧНИМ КАНАЛОМ	175
	<i>Ванєєв С.М., завідувач кафедри, СумДУ, м. Суми; Марцинковський В.С., директор, «ТРІЗ» ЛТД ТОВ, м. Суми; Смоленко Д.В., аспірант, СумДУ, м. Суми, d.smolenko@kttf.sumdu.edu.ua</i>	
2	ВПЛИВ БЕЗРОЗМІРНОЇ НАВЕДЕНОЇ ШВИДКОСТІ НА ЗРЯЗІ ТЯГОВОГО СОПЛА НА КОЛОВИЙ ККД СТРУМИННО-РЕАКТИВНОЇ ТУРБІНИ	177
	<i>Ванєєв Сергій Михайлович, к.т.н., доц., Родимченко Тетяна Сергіївна, асп. СумДУ, м. Суми</i>	
3	ВДОСКОНАЛЕННЯ ВАНТАЖНОЇ СИСТЕМИ СУДНА-ГАЗОВОЗУ ЯК ВАГОМИЙ ФАКТОР ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТУВАННЯ СПГ МОРСЬКИМ ШЛЯХОМ	179
	<i>Мілованов В.І., д.т.н., проф., Василенко Є.В., студ., Макруха С.І., студ. Одеська національна академія харчових технологій</i>	
4	ЕКСЕРГЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СУДНОВОЇ ПОВІТРЯНОЇ КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ.	181
	<i>Ярошенко В.М. к.т.н., доцент, Мілованов В.І д.т.н., професор. , Одеська національна академія харчових технологій.</i>	
5	РОБОТА МАЛОГО ХОЛОДИЛЬНОГО КОМПРЕСОРА НА ХОЛОДОАГЕНТІ З ДОМІШКАМИ НАНОЧАСТОК	184
	<i>Мілованов В.І., д.т.н., проф., Балашов Д.О., інж. Одеська національна академія харчових технологій, м.Одеса,</i>	
6	ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ БЕЗСАЛЬНИКОВОГО КОМПРЕСОРА НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ХОЛОДОАГЕНТАХ	186
	<i>Яковлев Ю.О., доцент кафедри КтаПА Сирбу М.І., студент СВО «Магістр» Пазина І.В., студент СВО «Бакалавр» ОНАХТ, м. Одеса,</i>	
7	ОСНОВНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ КОМПРЕСОРІВ В ПЕРІОД ПАНДЕМІЇ	189
	<i>Буданов В.О., к.т.н.,доцент, ОНАХТ м. Одеса, budanoff@ukr.net</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