

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра кріогенної техніки



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

На тему: «Термодинамічний аналіз схемно-циклового рішення установки середнього тиску спільного виробництва рідкого діоксиду вуглецю та сухого льоду»

Здобувача Карпенко А.О.

2-го курсу КТ 262М групи

Керівник проф. Морозюк Л.І.

Консультант:

доц. Соколовська-Єфименко В.В.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від _____ 2022 р., протокол № _____

Завідувач кафедри КТ _____ Юрій Симоненко

Одеса - 2022 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	Низькотемпературної техніки та інженерної механіки
Кафедра	Кріогенної техніки
Ступінь вищої освіти	магістр
Спеціальність	142 «Енергетичне машинобудування»
Освітня програма	«Кріогенні технології виробництва, зрідження і транспортування природного газу»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КТ

д.т.н., проф. Симоненко Ю.М

«__» __ 2022 року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Карпенко Андрій Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Термодинамічний аналіз схемно-циклового рішення установки середнього тиску спільного виробництва рідкого діоксиду вуглецю та сухого льоду

Керівник роботи проф. Морозюк Лариса Іванівна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ОНТУ від 01 листопада 2022 року № 799-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 15 грудня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: Триступенева машина з циклом у транскритичній області на CO₂. Продуктивність циклу віднесено до 1 кг/с первинного продукту.

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

Вступ; Аналіз літературних даних і постановка проблеми. Термодинамічний аналіз циклів машин високого тиску для отримання зрідженого CO₂ та сухого льоду. Енергетичний аналіз схемно-циклових рішень холодильної машини для отримання зрідженого CO₂.

Цикл та схема машини з подвійним дроселюванням та отриманням низькотемпературного зрідженого CO₂ (T_{зр} = -45⁰C). Цикл та схема з одноразовим дроселюванням та отриманням середньотемпературного зрідженого CO₂ (T_{зр} = -20⁰C). Загальні характеристики установок.

Термодинамічний аналіз впливу тиску у газовому охолоджувачі на енергетичну ефективність циклу. Тепловий та конструктивний розрахунок повітряного газового охолоджувача.

Визначення ємності резервуару для зберігання зрідженого CO₂. Процес отримання сухого льоду методом пресування у циклі високого тиску. Вибір компресорів для холодильної машини.

Загальна характеристика промислової установки виробництва зрідженого CO₂ та сухого льоду.

Правила техніки безпеки для установок та засобів транспортування зрідженого CO₂ та сухого льоду
Економічні показники роботи. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу: Презентація Power Point (16 слайдів)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	доц. Соколовська-Єфименко В.В.		

7. Дата видачі завдання _____ 02.02.2022 _____

Керівник _____ проф. Морозюк Л.І.

Завдання прийняв до виконання _____ Карпенко А.О.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення технічного завдання	5 днів	
2	Огляд і вивчення літератури	14днів	
3	Розробка математичної моделі об'єкта	2 дні	
4	Вибір методу дослідження	20 днів	
5	Адаптація методів дослідження до практичного застосування	15 днів	
6	Розробка графічних моделей	2 дні	
7	Аналіз результатів досліджень	2 дні	
8	Оформлення пояснювальної записки	2 дні	
9	Обговорення та затвердження результатів роботи	2 дні	
10	Підготовка матеріалів роботи до захисту	2 дні	

Здобувач-дипломник _____ Карпенко А.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Морозюк Л.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчинності

Здобувач-дипломник _____ Карпенко А.О.
(ПІБ) (підпис)

АНОТАЦІЯ

Утилізація матеріальних та енергетичних скидів енергетичних установок та технологічних процесів промислових підприємств – методи економії ресурсів планети та забезпечення її стабільного екологічного стану. До таких скидів в першу чергу відносять діоксид вуглецю, CO₂. Разом з цим діоксид вуглецю, CO₂, у всіх своїх станах широко використовується практично у всіх галузях промисловості і агропромислового комплексу. Наявність на ринку холодильної техніки низькотемпературного обладнання дозволило розробку нових схемних рішень низькотемпературних холодильних машин для отримання зрідженого CO₂ та зберігання його за низькими тисками та температурами тривалий час без значних втрат. Враховуючи викладене, тема роботи є актуальною.

Мета та задачі дослідження. Розробка схемно-циклового рішення холодильної машини високого тиску для отримання зрідженого діоксиду вуглецю та сухого льоду.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- виконати аналіз існуючих технологічних схем витягу діоксиду вуглецю з димових газів;*
- розробити спосіб здійснення синтезу схемно-циклового рішення установки високого тиску з отриманням низькотемпературного зрідженого CO₂;*
- виконати енергетичний аналіз циклу машини високого тиску;*
- виконати вибір головного устаткування холодильної машини та системи зберігання зрідженого газу.*

Об'єктом дослідження є схема та цикл установки високого тиску для отримання зрідженого CO₂.

Предметом дослідження є термодинамічні процеси, які здійснюються в елементах установки.

Наукова новизна - отримав подальший розвиток метод синтезу схеми компресорної холодильної машини високого тиску з транскритичним циклом для виробництва низькотемпературного зрідженого діоксиду вуглецю.

Практичне значення отриманих результатів полягає в такому: запропоноване схемно-циклове рішення низькотемпературної холодильної машини є підставою для практичної реалізації машин з виробництва зрідженого діоксиду вуглецю з використанням обладнання, арматури і систем автоматики, що випускаються світом.

Спираючись на сучасні дослідження транскритичних машин з CO₂ робочою речовиною, запропоновано транскритичні цикли для отримання зрідженого CO₂ за температурами -20 та -45°C. Розглянуто вплив тиску у газовому охолоджувачі на енергоефективність циклів зрідження. Виконано вибір устаткування для машини.

Ключові слова: *низькотемпературна транскритична машина, зрідження CO₂, термодинамічний цикл, компресор без змащення.*

SUMMARY

Utilization of material and energy discharges of power plants and technological processes of industrial enterprises - methods of saving the planet's resources and ensuring its stable ecological condition. Such discharges primarily include carbon dioxide, CO₂. However, carbon dioxide, CO₂, in all its states is widely used in almost all industries and agro-industrial complex. The availability of low-temperature refrigeration equipment on the market has allowed the development of new circuit solutions for low-temperature refrigeration machines to produce liquefied CO₂ and store it at low pressures and temperatures for a long time without significant losses. Given the above, the topic of the work is relevant.

To achieve this goal it is necessary to solve the following tasks:

- perform an analysis of existing technological schemes for the extraction of carbon dioxide from flue gases;*
- to develop a method for the synthesis of circuit-cycle solution of high-pressure installation to obtain low-temperature liquefied CO₂;*
- perform energy analysis of the high-pressure machine cycle;*
- select the main equipment of the refrigeration machine and liquefied gas storage system.*

The object of research is the scheme and cycle of high-pressure installation for liquefied CO₂.

The subject of research is thermodynamic processes that are carried out in the elements of the installation.

Scientific novelty - the method of synthesis of the scheme of a high-pressure compressor refrigeration machine with a transcritical cycle for the production of low-temperature liquefied carbon dioxide was further developed.

The practical significance of the results is as follows: the proposed circuit-cycle solution of low-temperature refrigeration machine is the basis for the practical implementation of machines for the production of liquefied carbon dioxide using equipment, fittings and automation systems manufactured.

Based on modern studies of transcritical machines with CO₂ working substance, transcritical cycles for liquefied CO₂ at temperatures of -20 and -45°C are proposed. The influence of pressure in a gas cooler on the energy efficiency of liquefaction cycles is considered. The choice of equipment for the car is made.

Key words: *low temperature transcritical machine, CO₂ liquefaction, thermodynamic cycle, compressor without lubrication.*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Аналіз літературних даних і постановка проблеми.....	10
1.2 Термодинамічний аналіз циклів машин високого тиску для отримання зрідженого CO ₂ та сухого льоду	20
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.	25
2.1 Енергетичний аналіз схемно-циклових рішень холодильної машини для отримання зрідженого CO ₂	25
2.1.1 Цикл та схема машини з подвійним дроселюванням та отриманням низькотемпературного зрідженого CO ₂ (T _{зр} = -45°C).....	25
2.1.2 Цикл та схема з одноразовим дроселюванням та отриманням середньотемпературного зрідженого CO ₂ (T _{зр} = -20°C).....	30
2.2 Загальні характеристики установок	35
2.3 Термодинамічний аналіз впливу тиску у газовому охолоджувачі на енергетичну ефективність циклу	37
2.4 Тепловий та конструктивний розрахунок повітряного газового охолоджувача.....	40
2.5 Визначення ємності резервуару для зберігання зрідженого CO ₂	47
2.6 Процес отримання сухого льоду методом пресування у циклі високого тиску	50
2.7 Вибір компресорів для холодильної машини.....	52
2.8 Загальна характеристика промислової установки виробництва зрідженого CO ₂ та сухого льоду	57
2.9 Загальна характеристика промислової установки виробництва зрідженого CO ₂ та сухого льоду	59
ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ.....	61
ВИСНОВКИ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68

					КРМ.КТ.1.799-03.1.6				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Карпенко А.О.			ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Літ.	Арк.	Акрушів	
Перевір.							6	70	
Керівник		Морозюк Л.І.				ФНТІМ, зр КТ-262М			
Н. Контр.									
Затверд.									

ВСТУП

Актуальність теми

Діоксид вуглецю, CO₂ у всіх станах широко використовується практично у всіх галузях промисловості і агропромислового комплексу.

В світовій практиці значна увага приділяється створенню устаткування для постачання різних галузей промисловості CO₂. Для транспортування та зберігання CO₂ зріджують за допомогою спеціальних установок. Схемні і циклові рішення установок для отримання зрідженого CO₂ та його зберігання в малих резервуарах (балонах) високих тисків до 6,0-7,0 МПа мають багаторічну історію [1]. На сучасному рівні промислового виробництва такі технології не задовольняють споживачів, тому з'явилися технології зберігання CO₂ за низькими температурами та тисками у резервуарах великої ємності [2]. Розвиток компресоробудування для CO₂ робочої речовини супроводжує розвиток галузі шляхом створення різних типів компресорів від малої до великої об'ємної продуктивності, високих тисків, без змащування, з регулюванням продуктивності. Наявність на ринку холодильної техніки вказаних компресорів спонукає до розробки нових схемних рішень низькотемпературних холодильних машин для установок отримання зрідженого CO₂ та зберігання його за низькими тисками та температурами тривалий час без значних втрат.

Світ опинився перед однією з найбільших логістичних проблем у сучасній історії: як переправити мільйони доз вакцини від коронавірусу через континенти та океани. Зазвичай для зберігання фармацевтичної продукції необхідне дотримання сталості температури під час транспортування. Але для вакцини від коронавірусу температурні вимоги інші. Наприклад, розроблена вакцина Pfіzer повинна зберігатися і транспортуватися при температурі -70°C, інакше вона зіпсується. Це значно нижче за температуру звичайних морозильних камер, що ставить країни, які використовують цю вакцину перед

необхідністю вишукувати інші способи зберегти її у холоді. Ось чому останнім часом так багато говорять про сухий лід.

На тлі кампаній з масової вакцинації населення виникає ще одна проблема – доступність сухого льоду. Очікується, що попит на сухий лід, необхідний для підтримки наднизьких температур, при яких вакцини повинні зберігатися під час транспортування, різко зросте – що породжує побоювання щодо потенційного дефіциту цього товару, який може мати широкі економічні наслідки. Для зберігання вакцини за необхідних умов потрібна величезна кількість сухого льоду, і це викликає занепокоєння тих галузей, які залежать від наявності сухого льоду.

З урахуванням необхідності зберігання та транспортування вакцини при наднизьких температурах потрібна розробка транспортних контейнерів, в яких використовується сухий лід, а датчики з підтримкою GPS дозволять компаніям відстежувати кожну відправку та стежити за тим, щоб вона залишалася холодною.

З огляду на наведену інформацію тема роботи є актуальною

Мета та задачі дослідження. Розробка схемно-циклового рішення холодильної машини високого тиску для отримання зрідженого діоксиду вуглецю та сухого льоду,.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- виконати аналіз існуючих технологічних схем отримання діоксиду вуглецю та сухого льоду;
- здійснити синтез схемно-циклового рішення установки високого тиску з отриманням низькотемпературного зрідженого CO₂;
- виконати енергетичний аналіз транскритичного циклу машини високого тиску;
- виконати вибір головного устаткування холодильної машини та системи зберігання зрідженого газу.

Об'єктом дослідження є схема та цикл установки високого тиску для отримання зрідженого CO₂.

Предметом дослідження є термодинамічні процеси, які здійснюються в елементах установки.

Методи дослідження: термодинамічний аналіз і числове моделювання термодинамічних процесів в елементах машини. Основою математичного моделювання є рівняння класичної термодинаміки та теплопередавання.

Наукова новизна дослідження полягає в такому:

- отримав подальший розвиток метод синтезу схеми компресорної холодильної машини високого тиску з транскритичним циклом для виробництва низькотемпературного зрідженого діоксиду вуглецю.

Практичне значення отриманих результатів полягає в такому:

- запропоноване схемно-циклове рішення низькотемпературної холодильної машини є підставою для практичної реалізації машин з виробництва зрідженого діоксиду вуглецю з використанням обладнання, арматури і систем автоматики, що випускаються світовими фірмами для роботи з CO₂.

Фактологічною основою є підручники, навчальні посібники, матеріали фірм-виробників, які містяться на відповідних інтернет-сайтах, періодичних технічних виданнях та ін.

Структура роботи. Магістерська робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаної літератури. Зміст роботи викладено на 69 сторінках, включаючи 24 рисунків, 11 таблиць, список інформаційних джерел з 26 найменувань.