

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



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

На тему: «Розробка повітророздільної установки середньої продуктивності для отримання рідкого технічного кисню»

Здобувача Тітов В. О.
2-го курсу КТ-262М групи
Керівник проф. Троценко О.В.
Консультант:
проф. Морозюк Л.І.

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. Юрій СИМОНЕНКО

«__» ____ 2022 року

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

Тітова Владислава Олексійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка повітророздільної установки середньої продуктивності
для отримання рідкого технічного кисню

Керівник роботи д.т.н., проф. Троценко О.В.

(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 05 грудня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: Повітророзділювальна установка для отримання кисню.
Концентрації продуктів поділу. Коефіцієнт вилучення аргону та втрати аргону в комунікаціях.
Продуктивність повітряного компресора: 9250 м³/год. Параметри установки.

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

Вступ. Огляд технічної інформації з питань, що досліджується . Технологічна схема
повітророзділювальної установки. Розрахунок параметрів та характеристик установки.

Матеріальні баланси елементів установки. Розрахунок процесу ректифікації.

Розрахунок елементів блоку турбодетандера. Термогазодинамічний розрахунок турбодетандеру.

Розрахунок геометричних розмірів робочого колеса. Основні характеристики турбодетандеру.

Геометричні характеристики каналного направляючого апарату. Загальні висновки

.Охорона праці. Перелік використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу:

Презентація Power Point (8 слайдів)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	проф. Морозюк Л.І.		

7. Дата видачі завдання _____ 02.08.2022 _____

Керівник _____ проф. Олександр ТРОЦЕНКО

Завдання прийняв до виконання _____ Владіслав ТІТОВ

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення технічного завдання	5 днів	
2	Огляд і вивчення літератури	14 днів	
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 _____
(підпис)

Владіслав ТІТОВ
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Олександр ТРОЦЕНКО
(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 _____
Тітов В.О.
(ПІБ)

(підпис)

АНОТАЦІЯ

У даний час застосування кріогенної техніки є одним з найважливіших напрямів технічного прогресу у різних галузях народного господарства. Головними кріогенними установками є повітророзділювальні установки, що увійшли до промислового виробництва. Результатом роботи установки є отримання чистих компонентів повітря у вигляді газу або рідини різної чистоти. Робота присвячена розробці повітророзподільної установки для отримання 2т/год рідкого технічного кисню, а також додатково для отримання аргону високої якості та азоту. Було проведено енергетичний розрахунок повітророздільної установки. Розроблено систему низькотемпературної ректифікації. В результаті термогазодинамічного та конструктивного розрахунку було спроектовано турбодетандер з наступними характеристиками: холодопродуктивність 144 кВт; ефективна потужність на валу 136,8 кВт.

Ключові слова: повітророздільна установка; кисень; аргон; азот; турбодетандер.

ABSTRACT

Currently, the use of cryogenic technology is one of the most important directions of technical progress in various branches of the national economy. The main cryogenic installations are air separation installations that have entered industrial production. The result of the operation of the installation is the production of pure air components in the form of gas or liquid of various purity. The work is devoted to the development of an air distribution unit for obtaining 2t/h of liquid technical oxygen, as well as additionally for obtaining high-quality argon and nitrogen. The energy calculation of the air separation unit was carried out. A low-temperature rectification system has been developed. As a result of thermogasdynamic and structural calculation, a turbo expander was designed with the following characteristics: cooling capacity of 144 kW; effective power on the shaft is 136.8kW.

Key words: air distribution unit; oxygen; argon; nitrogen; turboexpander.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	11
1.1 Огляд технічної інформації з питань, що досліджується.....	13
1.2 Технологічна схема повітророзділювальної установки	16
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.....	20
2.1 Розрахунок параметрів та характеристик установки.....	20
2.2 Матеріальні баланси елементів установки.....	23
2.3 Розрахунок процесу ректифікації	39
2.4 Розрахунок елементів блоку турбодетандера	44
2.4.1 Термогазодинамічний розрахунок турбодетандеру	45
2.4.2 Розрахунок геометричних розмірів робочого колеса	55
2.4.3 Основні характеристики турбодетандеру	58
2.4.4 Геометричні характеристики канального направляючого апарату.	62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	68
ОХОРОНА ПРАЦІ	69
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	73

					<i>КРМ.КТ.1.799-03.1.7</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Тітов В.О.			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Троценко О.В				6	73
Реценз.					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ОНТУ, гр КТ-262М		
Н. Контр.							
Затверд.							

У повітроділювальних установках з рідкого повітря на базі процесу низькотемпературної ректифікації отримують, перш за все, кисень і азот. При глибокому розділенні з потоків кисню та азоту виділяють криптон, неон, ксенон і їх суміші. Як відомо з термодинаміки, при зміні тиску насиченої пари змінюється і температура фазового переходу (кипіння або конденсації). Отже, для отримання постійної температури кріогенного рівня досить зконденсувати газ, а потім підтримувати незмінним тиск насиченої пари. Регулювати температуру рідини цим способом можна у діапазоні від кріогенної до температури у потрібній точці. Допустимий інтервал зміни температури рідини залежить від властивостей кріоагента. Для більшості з них має місце закономірність, за якою спостерігається зменшення області існування рідини зі зменшенням критичної температури. Так, наприклад, з табл. 1.1 видно вузьку температурну область існування рідини для інертних газів, таких як аргон і неон – близько 3,5 К. Зниження температури рідини за рахунок зменшення тиску рівноважної пари шляхом вакуумування широко застосовується як у дослідницьких лабораторіях, так і у промисловості. При тиску у потрібній точці і нижче отримують кріоагент у твердому стані. Кріоагенти зручно зберігати і транспортувати у зрідженому стані.

З таблиці 1.1 також видно, що густина кріоагента у рідкому стані у 600–1000 разів більша від густини відповідних газів при такому самому тиску. Тому системи для зберігання і перевезення рідких кріоагентів є більш компактними і легкими, ніж для кріоагентів у газоподібному стані. Однак зберігання кріоагента у рідкому стані пов'язане із постійним його випаровуванням за рахунок теплонадходжень внаслідок наявності дуже великого температурного перепаду між рідиною і зовнішнім середовищем. Інтенсивність втрати маси кріоагента у резервуаров зберігання значно залежить від величини теплоти пароутворення (табл. 1.1). Для малих значень

					КРМ.КТ.1.799-03.1.7	8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цього параметра, наприклад, для неона, матиме місце інтенсивне випаровування навіть при малих теплонадходженнях.

Робота обладнання в області криогенних температур пов'язана із особливостями, які необхідно враховувати як при проєктуванні, так і при експлуатації. Нижче наведені найбільш загальні вимоги [2].

1. При створенні криогенного обладнання необхідно прагнути до максимально можливого зниження його металоємності. Чим нижча металоємність, тим нижчі енергетичні витрати на охолодження у пусковий період.

2. При розробленні криогенного обладнання необхідно враховувати зміну властивостей матеріалів зі зменшенням температури.

3. В області криогенних температур не допускається застосування оливи для змащування елементів. І взагалі, за можливості треба уникати елементів тертя, тому що для відведення теплоти тертя необхідно витратити відповідну роботу.

4. Для зниження теплонадходжень з навколишнього середовища криогенне устаткування повинно виконуватися у вигляді компактних конструкцій і на основі блокових компоновальних рішень

. В даний час в Україні продовжує працювати значна кількість установок, розділення повітря, виготовлених у 60-80 роки. Ці установки вимагають модернізації з урахуванням потреби сьогодення, тому обрана для дослідження тема є актуальною.

Мета дослідження. Розробка повітророзділювальної установки для отримання кисню.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- вивчити сучасний стан криогенного обладнання на світовому ринку щодо повітророзділювальної установки для отримання кисню;

									9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

KPM.KT.1.799-03.1.7

