

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



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи

На тему: «Дослідження повітророздільної установки середньої продуктивності
для забезпечення споживача рідким киснем в цистернах»

Здобувача Танасійчук О.П.
(прізвище, ініціали)

4 курсу ЕН-142 групи

Керівник доц. Грудка Б.Г.
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти: проф. Морозюк Л.І.
(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від _____ 2026 р., протокол № _____

Завідувач кафедри КТ _____ **Юрій СИМОНЕНКО**

Одеса - 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНСТИТУТ ХОЛОДУ, КРІОТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕКОЕНЕРГЕТИКИ ІМ. В.С. МАРТИНОВСЬКОГО

Кафедра	Кріогенної техніки
Ступінь вищої освіти	Бакалавр
Спеціальність	142 «Енергетичне машинобудування»
Освітня програма	Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КТ

д.т.н., проф. Симоненко Ю.М

«__» ____ 2026 року

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

Танасійчука Олександра Петровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи	Дослідження повітророздільної установки середньої продуктивності для забезпечення споживача рідким киснем в цистернах
керівник роботи	к.т.н., доц. Грудка Богдан Геннадійович
	(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу	від 31 жовтня 2025 року № 613-03
2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи	01 червня 2026 року
3. Вихідні дані до роботи:	Установка середньої продуктивності для отримання рідкого кисню, яка широко використовується на підприємствах для забезпечення споживача рідким киснем в цистернах
4. Перелік питань, які потрібно розробити:	Вступ. Термодинамічний розрахунок установки. Визначення енергетичних показників установки. Розрахунок ексергетичних показників для елементів кріогенної установки. Аналіз термодинамічної ефективності елементів установки. Результати і висновки роботи. Список використаної літератури
5. Перелік графічного матеріалу:	Презентація Power Point (10 слайдів)

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

7. Дата видачі завдання 01.12.2025

Керівник _____ доц. Грудка Б.Г.
Завдання прийняв до виконання _____ Танасійчук О.П.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення технічного завдання	5 днів	
2	Огляд і аналіз літератури	30 днів	
3	Розробка математичної моделі об'єкта	10 днів	
4	Адаптація методів дослідження до практичного застосування	15 днів	
5	Теплові і конструктивні розрахунки елементів об'єкта	10 днів	
6	Розробка креслень і графічних моделей	20 днів	
7	Аналіз результатів досліджень	8 днів	
8	Оформлення пояснювальної записки	5 днів	
9	Обговорення та затвердження результатів роботи	5 днів	
10	Підготовка матеріалів роботи до захисту	5 днів	

Здобувач-дипломник

(підпис)

Танасійчук О.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Грудка Б.Г.

(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

Танасійчук О.П.

(ПІБ)

(підпис)

АНОТАЦІЯ

У роботі досліджено розрахункову схему існуючої кріогенної установки для одержання з повітря 500 кг/год рідкого технічного кисню. Для цієї схеми були розставлені вузлові точки матеріальних потоків, вибрані вихідні дані для термодинамічного розрахунку циклу. Обчислено основні енергетичні показники радіаційної установки, пов'язані з дійсними мінімальними витратами енергії. Виконано ексергетичний аналіз розрахованої схеми, в результаті якого визначено втрати від незворотності процесів в окремих елементах установки та ексергетичні ККД цих елементів. У графічній частині диплома подано матеріал, що містить суть та основні висновки роботи.

Ключові слова: повітророздільна установка, кисень, теплообмінник-зріджувач, ексергетичний аналіз

ABSTRACT

The work investigates the calculation scheme of an existing cryogenic plant for obtaining 500 kg/h of liquid technical oxygen from air. For this scheme, the nodal points of material flows were placed, and the initial data for the thermodynamic calculation of the cycle were selected. The main energy indicators of the radiation plant were calculated, associated with the actual minimum energy consumption. An exergy analysis of the calculated scheme was performed, as a result of which losses from irreversibility of processes in individual elements of the plant and exergy efficiency of these elements were determined. The graphic part of the diploma presents material containing the essence and main conclusions of the work.

Keywords: Air separation plant, oxygen, heat exchanger-liquefier, exergy analysis

Зміст

Вступ		4
1. Опис схеми установки		5
2. Термодинамічний розрахунок установки		9
2.1 Вихідні дані для розрахунку		9
2.2 Матеріальні баланси		11
2.3 Енергетичні баланси апаратів		12
3. Визначення енергетичних показників установки		22
4. Термодинамічний аналіз проектованої установки		27
4.1 Основні поняття термодинамічного аналізу		27
4.2 Особливості теплообмінних апаратів як об'єктів ексергетичного аналізу		33
4.3 Визначення ексергії потоків робочих тіл		34
Розрахунок ексергетичних показників для елементів		
5. кріогенної установки		40
5.1 Переохолоджувач азотної флегми		40
5.2 Переохолоджувач кубової рідини		41
5.3 Переохолоджувач рідкого кисню		42
5.4 Вузол ректифікації		43
5.5 Основний теплообмінник		44
5.6 Теплообмінник-зріджувач		45
5.7 Детандер		46
5.8 Дросель		47
6. Аналіз термодинамічної ефективності елементів установки		48
Основні результати		50
Охорона праці		51
Список використаних джерел		61

					КРБ.КТ.1.613-03.1.19			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження повітророздільної установки середньої продуктивності для забезпечення споживача рідким киснем в цистернах	Літ.	Лист	Листів
Розробив		Танасійчук О.П.						
Перевірів		Грудка Б.Г.						
Реценз.						ЕН142		
Н. Контр.								
Утвердив								

ВСТУП

Застосування кисню в галузі медицини та енергії в процесах зварювання та різання металу інженерно-суднобудування, радіоелектронної-хімічної промисловості призвело до створення повітряорозділювальних установок для отримання рідкого кисню який транспортуються в рідкому стані на великі відстані.

Одним з таких апаратів є установка середньої продуктивності для отримання рідкого кисню Кж-0,5, яка широко використовується на підприємствах для забезпечення споживача рідким киснем в цистернах.

Установка Кж-0,5 відрізняється простотою в експлуатації й надійністю, у її рішеннях та конструкціях апаратів відображені останні досягнення вітчизняного та зарубіжного кисневого машинобудування.

Крім того, у виробництві знайшли застосування і інші установки, де можливе отримання не тільки кисню, а й інших складових компонентів повітря, таких як азот, аргон, неон-гелієва суміш і криптоноксенонового концентрату.

Слід зазначити, що загальними тенденціями розвитку повітророзподільних установок є: зниження витрат на виробництво продуктів поділу, матеріаломісткості (особливо корозійностійкої сталі) і енергетичних витрат, підвищення надійності установок, збільшення тривалості робочої компанії, автоматизація процесів управління повітряорозділювальних установок.

1. ОПИС СХЕМИ УСТАНОВКИ

Проектowana установка предназначена для отримання рідкого технічного кисню. Дана установка може знайти найширше застосування в медицині, хімічній і нафтохімічній промисловості, а також для задоволення потреб в кисні металургійних підприємств. Установка також застосовується на ремонтно-механічних, машинобудівних та інших підприємствах використовують кисень для зварювання та різання металів.

Установка може застосовуватися на ремонтно-механічних машинобудівних та інших підприємствах. Кисень використовується для зварювання та різання металів, а також в медицині. Установка виготовляється для потреб народного господарства і для поставки на експорт в райони з помірним і тропічним кліматом. Установка допускається експлуатувати в районах з сейсмічністю до 8 балів за ГОСТ 6249-52.

Найвища частина установки - блок поділу - може встановлюватися як в приміщеннях, так і поза будівлею.

У режимі отримання рідкого кисню установка забезпечує продуктивність рідкого технічного кисню першого сорту, з концентрацією 99,7% O₂. Охолодження забезпечується циклом високого тиску з детандером і проміжним охолодженням газу.

Установка складається з наступних елементів:

- Компресор повітряний поршневий;
- Теплообмінник - зріджувач;
- Блок очищення, що складається з двох балонів;
- Основний теплообмінник;

					КРБ.КТ.1.613-03.1.19	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		5

- Турбодетандерний агрегат;
- Нижня ректифікаційна колона;
- Верхня ректифікаційна колона;
- Конденсатор-випарник;
- Вузол охолодження рідких потоків, що включає охолоджувач азотної флегми і кубовою рідини;
- Охолоджувач продукційного кисню;
- Охолоджувач продукційного азоту.

До складу установки також входить допоміжне обладнання: контрольно-вимірювальні прилади, міжблочна арматура та ін.

Розрахункова схема проектованої установки зображена на рис. 1.1.

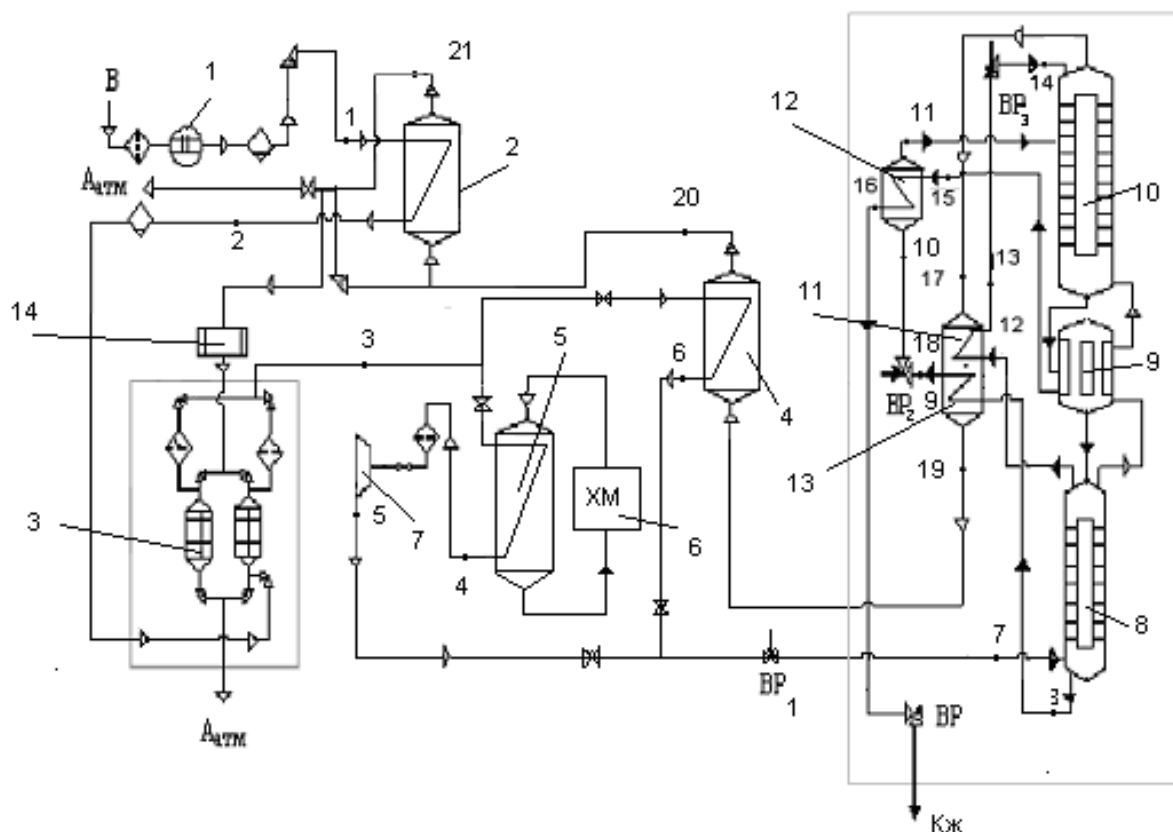


Рис. 1.1. Технологічна схема ПРУ для отримання рідкого кисню

Атмосферне повітря після фільтру очищення від пилу і механічних домішок надходить в компресор 1, де стискається до тиску $P = 20 \text{ МПа}$, потім повітря спрямовується в теплообмінник-зріджувач 2, де охолоджується скидним азотом до температури 281 К , при цьому з повітря зріджується основна частина вологи.

Повітря надходить в один з двох адсорберов блоку очищення 3, де з нього видаляється інша волога, CO_2 , вуглеводні. Як адсорбент використовується цеоліт. В процесі очищення повітря нагрівається на 2 К і при температурі 283 К направляється в вузол теплообміну. Осушене і очищене повітря ділиться на два потоки: менша частина повітря (0,4), охолоджується в основному теплообміннику 4 і дроселюється вентилем ВР1 до $P = 0,67 \text{ МПа}$.

Більша частина повітря (0,6) охолоджується в фреоновому теплообміннику 5 і холодильної машині 6, яка працює на фріоні R410-а і надходить на розширення в турбодетандер 7.

Розширене в турбодетандері повітря змішується з потоком після вентилі ВР1 і направляється в куб нижньої колони 8.

У нижній ректифікаційної колоні відбувається попередній поділ повітря на азотну флегму і збагачену киснем кубову рідину. Відбирається з нижньої колони азотна флегма, направляється в охолоджувач азотної флегми і кубовою рідини, дроселюється вентилем ВР2 в охолоджувач продукционного кисню 12 і далі надходить на тарілку верхньої ректифікаційної колоні. У верхній колоні відбувається остаточне розділення повітря на продукційний кисень і отбросной азот. Між колонами встановлен конденсатор-випарник, який є конденсатором для нижньої колони і випарником для верхньої колони.

Рідкий продукційний кисень, що відбирається з конденсатора-випарника охолоджується на 8 - 10 ° в охолоджувачі 12 і далі через вентиль ВР4 зливається споживачеві.

Газоподібний отбросной азот, що відбирається з верхньої частини верхньої колони нагрівається в охолоджувачі 11, теплообмінниках 4 і 2, а потім через електричний обігрівач 14 надходить на регенерацію блоків очистки, або викидається в атмосферу.

					КРБ.КТ.1.613-03.1.19	Лист
						8
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

2. ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК УСТАНОВКИ

В термодинамічному розрахунку визначаються параметри у всіх розрахункових точках схеми, які дозволяють зробити конструктивні розрахунки апаратів повітророзподільних установок. Також метою цього розрахунку є визначення енергетичних показників установки. Він проводиться з умови, що витрата всього перероблюємого повітря дорівнює 1 кмоль/с, витрата інших матеріальних потоків розглядається як частки від переробленого повітря.

2.1. Вихідні дані для розрахунку

Нижче наведені вихідні дані, прийняті в розрахунку на основі аналогічного розрахунку кріогенної установки Кж-0,5.

Мощности, кВт

- компресору	$N_K = 500$
- турбодетандеру	$N_{T/D} = 5.0$
- щиту управління	$N_{OЩИТ} = 1$
- компрессору холмашини	$N_H = 3$

Концентрації, % об O_2

- продукційного кісню	$x_k = 99.7$
- відкідного азоту	$y_a = 2$
- кубової рідини	$x_R = 33$
- азотної флегми	$x_n = 2.5$

Температури і різниці температур, К

- повітря на вході в зріджувач	$T_1 = 303$
- повітря на вході до блоку очищення	$T_2 = 281$
- повітря перед основним ТО	$T_3 = 283$
- повітря перед турбодетандером	$T_4 = 233$

- кисню перед зливом	$T_{16}=87.5$
- переохолодження основної флегми	$\Delta T_n=11$
- переохолодження кубової рідини	$\Delta T_R=3.5$

Тиски, МПа

- повітря після компресору	$P_0=20$
- середньорозрахункове кисню	$P=15$
- у кубі нижньої колони	$P_{нк}=0.67$
- у кубі верхньої колони	$P_{вк}=0.17$
- рідкого кисню перед зливом	$P_{16}=0.15$

Гідравлічні опори, МПа

- теплообміннику-зріджувача	$\Delta P_{ож}=0.004$
- блоку очищення	$\Delta P_{бо}=0.02$
- основного теплообміннику	$\Delta P_{то}=0.013$
- нижньої колони	$\Delta P_{нк}=0.01$
- верхньої колони	$\Delta P_{вк}=0.018$
- у переохолоджувачі	$\Delta P_{пер}=0.004$

Питомі теплоприпливи, Дж/моль

- к блоку розділення	$q_{бр}=185$
- к нижній колоні	$q_{нк}=40$
- к верхній колоні	$q_{вк}=70$
- к конденсатору-випарнику	$q_{ки}=40$
- к переохолоджувачу	$q_{по}=5$
- к основному теплообміннику	$q_{то}=30$
- к зріджувачу	$q_{ож}=5$
- к блоку очищення	$q_{бо}=60$
- при переключенні блоку очищення	$q_{пер}=60$
Адіабатний ККД турбодетандеру	$\eta_{ад}=0.75$

2.2. Матеріальні баланси

Метою складання рівнянь матеріальних балансів є визначення витрат потоків робочих тіл в розглянутій установці. При цьому повітря розглядається як бінарна суміш, що складається з азоту і кисню. У представлених нижче рівняннях B , A , K - відповідно потоки повітря, переважно азоту та переважно кисню. Вміст кисню в паровій і рідкій фазах позначено як y і x . Нижні індекси для складів суміші позначають потоки робочого тіла.

Рівняння матеріального балансу по кисню:

$$B = 1,$$

$$B = K + A,$$

$$A = 1 - K,$$

$$By_{\epsilon} = Ay_a + Kx_{\kappa},$$

$$By_{\epsilon} = Kx_{\kappa} + (1 - K)y_a,$$

$$By_{\epsilon} = Kx_{\kappa} + y_a - Ky_a$$

$$K = \frac{y_{\epsilon} - y_a}{x_{\kappa} - y_a},$$

$$K = \frac{20.95 - 2}{99.7 - 2} = 0.194 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль}},$$

$$A = 1 - 0.194 = 0.806 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль}}.$$

Метою матеріального балансу нижньої колони є визначення потоків кубової рідини R і азотної флегми N .

$$B = R + N,$$

$$N = 1 - R,$$

$$By_{\epsilon} = Ry_R + Nx_n,$$

$$By_{\epsilon} = Rx_R + X_n - Rx_n,$$

$$R = \frac{y_{\epsilon} - x_n}{x_R - x_n},$$

$$R = \frac{20.95 - 2.5}{33 - 2.5} = 0.60491 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль}},$$

$$N = 1 - 0.60491 = 0.39509 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль}}.$$

Кількість переробляемого кисню

$$B = 1200 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} = 0.0139 \frac{\text{кмоль}}{\text{с}}$$

Мінімальна кількість переробляемого повітря визначається з урахуванням 10% втрат продуктивності компресору.

$$B_{\min} = 0.9 \cdot B,$$

$$B_{\min} = 0.9 \cdot 1200 = 1080 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} = 0.0125 \frac{\text{кмоль}}{\text{с}}$$

Розрахункова продуктивність установки по кисню

$$K^{\circ} = K \cdot B,$$

$$K^{\circ} = 0.194 \cdot 0.0139 = 2,697 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кмоль}}{\text{с}}.$$

2.3. Енергетичні баланси апаратів

Енергетичний баланс є законом збереження енергії (першим законом термодинаміки) і обов'язковим рівнянням термодинамічної моделі установки. Він складається з метою обчислення з нього термодинамічної функції або витрати потоку.

Переохолоджувач азотної флегми.

Розрахункова схема переохолоджувача азотної флегми представлена на рис. 2.1.

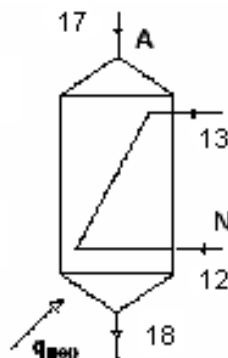


Рис.2.1. Схема переохолоджувача азотної флегми

З енергетичного балансу переохолоджувача

$$A(i_{18} - i_{17}) - N(i_{13} - i_{12}) + q_{по} = 0 \quad (2.1)$$

визначаємо ентальпію потоку отбросного азоту в точці 18. В формулі (2.1) i в подальшому символом i позначена питома ентальпія.

$$i_{12} = -2213,9 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} \text{ при } P = 0.67 \text{ МПа і } T = 97.74 \text{ К}$$

$$T_{13} = T_{12} - \Delta T_n = 97.74 - 11 = 86.74 \text{ К}$$

$$i_{13} = -2920,5 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}, \text{ при } P = 0.67 \text{ МПа і } T_{13} = 86.74 \text{ К}$$

На виході із верхньої колони, при $P = 0.14 \text{ МПа}$, $i_{17} = 2857 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$, а на правій пограничній кривій при тому ж тиску:

$$i_{18} = i_{17} + \frac{N \cdot (i_{12} - i_{13}) + q_{пер}}{A} = 2857 + \frac{0.395 \cdot (-2821 - (-3725)) + 1,66}{0.806} = 3302 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

Ентальпії i_{18} та тиску p_{18} відповідає температура $T_{18} = 115,1 \text{ К}$.

Переохолоджувач кубової рідини.

Розрахункова схема переохолоджувача кубової рідини представлена на рис. 2.2.

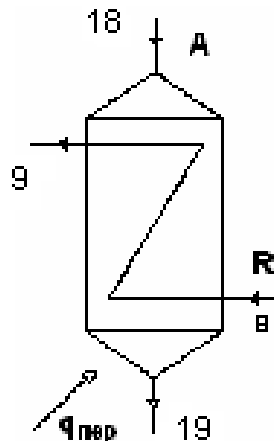


Рис.2.2. Схема переохолоджувача кубової рідини

Із рівняння енергетичного балансу цього переохолоджувача

$$A(i_{19} - i_{18}) = R(i_8 - i_9) + q_{пер} \quad (2.2)$$

визначимо ентальпію отбросного азоту на виході з переохолоджувача i_9
 Ентальпія кубової рідини на виході з нижньої колони i_8 обчислюється з
 рівняння ідеального розчину для потоку наступного складу $0,33 \text{ O}_2$, +
 $0,67\text{N}_2$.

При $P = 0.67 \text{ МПа}$ маємо

$$i_8 = 0.67 \cdot i_{\text{N}_2} + 0.33 \cdot i_{\text{O}_2} = 0.67 \cdot (-2203) + 0.33 \cdot (-3048) = -2481,85 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

Прийняте переохолодження кубової рідини становить $\Delta T = 3.5 \text{ К}$, тому
 змінення ентальпії її в апараті складає

$$i_8 - i_9 = \mu_{cp} \cdot \Delta T = 67,03 \cdot 3.5 = 234,605 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}},$$

$$i_9 = i_8 - \mu_{cp} = -2481,85 - 234,605 = -2716,45 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}},$$

де μ_{cp} - мольна теплоємність суміші.

$$\mu_{cp} = 0.33 \cdot \mu_{\text{O}_2} + 0.67 \cdot \mu_{\text{N}_2} = 0.33 \cdot 63.25 + 0.67 \cdot 68.90 = 67,03 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}.$$

$$i_{19} = i_{18} + \frac{R \cdot (i_8 - i_9) + q_{\text{пер}}}{A} = 3302 + \frac{0.6049 \cdot 234,605 + 1.66}{0.806} = 3480,12 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль}}.$$

Цьому значенню ентальпії при $P = 0.125 \text{ МПа}$ відповідає температура $T_{19} = 79,18 \text{ К}$.

Переохолоджувач рідкого кисню.

Розрахункова схема цього переохолоджувача зображена на рис. 2.3.

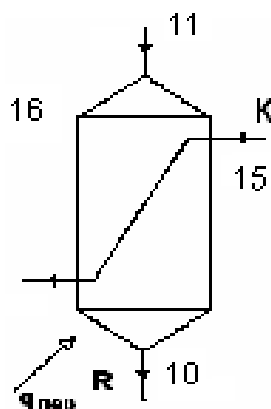


Рис.2.3. Схема переохолоджувача рідкого
кисню

З рівняння його енергетичного балансу визначимо ентальпію кубової рідини на виході з переохлоджувача

$$K \cdot (i_{15} - i_{16}) + q_{\text{пер}} = R \cdot (i_{11} - i_{10}) \quad (2.3)$$

За відомими значеннями тиску і температури знаходимо

$$i_{15} = 2728,8 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}, \text{ при } P_{15} = 0.16 \text{ МПа},$$

$$i_{16} = -4182,5 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}, \text{ при } P_{16} = 0.15 \text{ МПа}.$$

Тоді з рівняння (2.3) слідує

$$i_{11} = i_{10} + \frac{K \cdot (i_{15} - i_{16}) + q_{\text{пер}}}{R} = -2716,45 + \frac{0.194 \cdot (-4143,9 - (-4182,5)) + 1.66}{0.6049} = 2351,8 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

Вузол ректифікації.

Розрахункова схема вузлу ректифікації зображена на рис. 2.4.

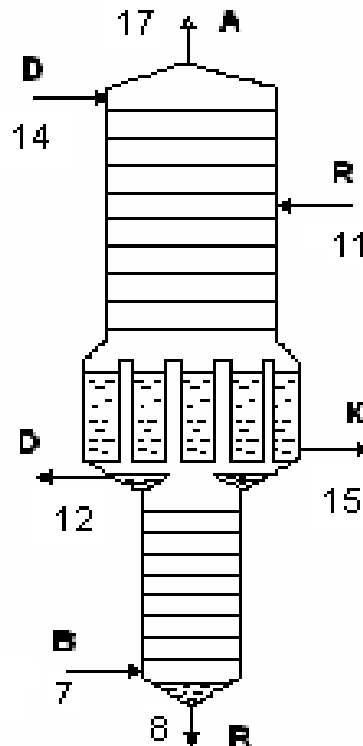


Рис. 2.4. Схема вузлу ректифікації

За відомими параметрами повітря перед турбодетандером

$$T_4 = 233K,$$

$$P_4 = 20 \text{ МПа}$$

знаходимо величину ентальпії і ентропії в точці 4

$$s_4 = 117,016 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot K},$$

$$i_4 = 5028,5 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

Параметри повітря після детандеру

$$P_{a0} = 0.67 \text{ МПа},$$

$$i_{a0} = 2653,3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}},$$

Дійсний теплоперепад в детандері

$$H_d = \eta \cdot (i_4 - i_{a0}),$$

$$H_d = 0.75 \cdot (5028,5 - 2653,3) = 1781,4 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}},$$

Ентальпія повітря після детандеру

$$i_5 = i_4 - H_d$$

$$i_5 = 5028,5 - 1781,4 = 3247,1 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}},$$

Цим параметрам повітря відповідає $T_5 = 120,296K$, що відповідає стану насиченої пари.

Запишемо рівняння енергетичного балансу для визначення на вході в куб нижньої колони

$$D \cdot i_5 + (1 - D) \cdot i_7 + q_{\delta p} = K \cdot i_{16} + A \cdot i_{23}. \quad (2.4)$$

Із цього рівняння слідує

$$i_7 = \frac{K \cdot i_{16} + A \cdot i_{19} - D \cdot i_5 - q_{\delta p}}{1 - D},$$

$$i_7 = \frac{0.194 \cdot (-4182,5) + 0.806 \cdot 3480,12 - 0.655 \cdot 3247,1 - 185}{0.345} = -922,54 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}.$$

Тоді частка рідини на вході в колону дорівнює

$$X_{op} = \frac{-922,54 - (-2458,8)}{3247,1 - (-2458,8)} = 0,269.$$

Нижня ректифікаційна колона.

Розрахункова схема колони зображена на рис. 2.5.

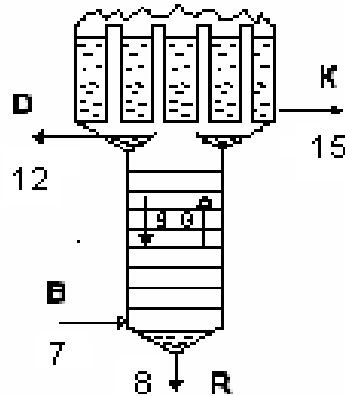


Рис. 2.5. Розрахункова схема нижньої колони

Складаємо загальний енергетичний баланс для нижньої колони

$$B \cdot i_{hk} + q_{hk} = R \cdot i_8 + N \cdot i_{12} + Q_{к/у},$$

З якого знаходимо навантаження конденсатора-випарника

$$B \cdot i_{hk} = D \cdot i_5 - (1 - D) \cdot i_7,$$

$$B \cdot i_{hk} = 0,65 \cdot 3247,1 - 0,35 \cdot (-922,54) = 2433,5 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}.$$

Тоді

$$R \cdot i_8 = 0,604 \cdot (-2481,85) = -1499,037 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}},$$

$$N \cdot i_{12} = 0,395 \cdot (-2821) = -1114,295 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}.$$

$$2433,5 + 40 + 1499,037 + 1114,295 = 5086,83 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

Отже

$$Q_{к/у} = 5086,83 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}.$$

Основний теплообмінник.

Розрахункова схема основного теплообмінника зображена на рис. 2.6.

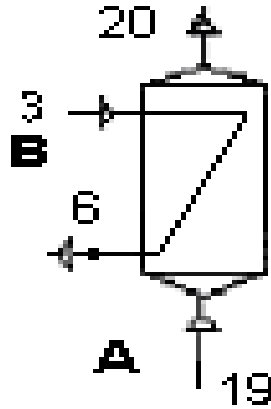


Рис. 2.6. Розрахункова схема основного теплообмінника

Складаємо рівняння теплового балансу основного теплообмінника

$$A \cdot i_{19} + (B - D) \cdot i_3 + q_3 = A \cdot i_{20} + (B - D) \cdot i_6 \quad (2.5)$$

З балансу основного теплообмінника знаходимо i_{19}

$$i_{19} = i_{20} + \frac{B - D}{A} \cdot (i_6 - i_3) - \frac{q_3}{A}$$

$$i_{19} = 7487 + \frac{0,4}{0,806} \cdot (-922,54 - 7109,8) - \frac{30}{0,806} = 3465,7 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

За відомим P_{19} і i_{19} знаходимо T_{19} і s_{19} і заносимо результати обчислень до таблиці 2.1.

Теплообмінник-зріджувач.

Розрахункова схема теплообмінника-зріджувача зображена на рис. 2.7.

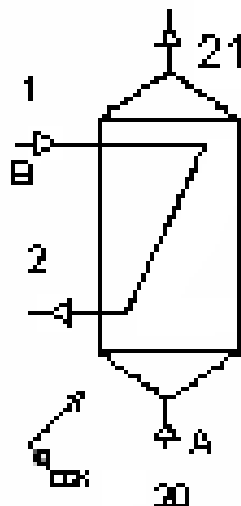


Рис. 2.7. Розрахункова схема теплообмінника-зріджувача

Мета складання наведеного нижче енергетичного балансу цього теплообмінника - визначення температури азоту на виході з апарату

$$B \cdot (i_1 - i_2) + q_{ож} = A \cdot (i_{21} - i_{20}), \quad (2.6)$$

де:

i_1 – ентальпія вологого повітря при $P=20\text{МПа}$ і $T_1=303\text{К}$,

i_2 – ентальпія вологого повітря при $P=20\text{МПа}$ і $T_1=281\text{К}$.

З балансу для теплообмінника-зріджувача визначаємо:

$$i_{21} = i_{20} + \frac{B \cdot (i_1 - i_2) + q_{ож}}{A},$$
$$i_{21} = 6975 + \frac{1 \cdot (7869,8 - 7032,0) + 5}{0.806} = 8020,65 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

За відомими значеннями тиску і ентальпії в точці 21 знаходим

$T_{21} = 275,7 \text{ К}$.

Загальний тепловий баланс установки.

Із загального теплового балансу

$$B \cdot \Delta i_T + D \cdot H_D = q_{op} + K \cdot (i_k - i_{k'}) + q_H^A \quad (2.7)$$

визначимо температуру отбросного азоту на виході з основного теплообмінника

Холодопродуктивність компресору:

$$B \cdot \Delta i_T = i_{0,1}^{283} - i_{4,5}^{283},$$

$$i_{0,1}^{283} = 8211 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}},$$

$$i_{4,5}^{283} = 7895 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}},$$

$$B \cdot \Delta i_T = 8211 - 7895 = 316 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

DH_D – холодопродуктивність детандеру:

$$H_D = \eta \cdot (i_4 - i_{ad}) + DH_D,$$

$$H_D = 0.65 \cdot 724.26 = 470.769 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

$q_{op} = 185 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль}}$ – за умовами, втрати холоду з продукційних киснем:

$$K \cdot (i_k - i_{k'}) = 0.194 \cdot (8527.1 - 106.54) = 1633 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль}}$$

втрати холоду від недорекуперації азоту,

$$q_H^A = A \cdot (i_{0,1}^{283} - i_{20})$$

$$i_{0,1}^{283} = 8235 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}},$$

$$q_H^A = 0.806 \cdot (8235 - i_{20}) = 6637 - 0.806 \cdot i_{20},$$

$$316 + 470.769 = 185 + 6637 - 0.806 \cdot i_{20},$$

$$i_{20} = \frac{6637 + 185 - 316 - 470.769}{0.806} = 7487 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}},$$

За $P_{20} = 0,125 \text{ МПа}$ знаходимо температуру азоту на виході із основного теплообмінника: $T_{20} = 277 \text{ К}$. Результати термодинамічної розрахунку представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Характеристики вузлових точок розрахункової схеми

установки

n	P, МПа	v, м ³ /моль	T, К	i, Дж/моль	s, Дж/моль·К	G, моль/моль	Речовина
1	20	0,1331	303	7869,8	127,723	1	В
2	20	0,1212	281	7032	124,852	1	В
3	20	0,1223	283	7109,8	125,128	1	В
4	20	0,0937	233	5028,5	117,016	0.6	В
5	0.67	1,3661	120.296	3247,1	131,009	0.6	В
6	20	0,0392	124,341	-922,5	82,233	0.4	В
7	0.67	0,3656	100,846	-922,5	90,428	1	В
8	0.67	0,0384	100,057	-2481,8	74,989	0.60491	Р
9	0.67	0,0371	96,437	-2716,4	72,601	0.60491	Р
10	0.17	0,5571	74,122	-3668,3	75,712	0.60491	Р
11	0.17	0,5672	84,129	2351,8	149,265	0.60491	Р
12	0.67	0,0373	97.74	-2213,9	92,460	0.39509	Н
13	0.67	0,0336	86.74	-2920,5	84,801	0.39509	Н
14	0.17	0,0355	81.3	-3253,0	81,058	0.39509	Н
15	0.16	0,0284	96.5	2728,8	148,745	0.194	К
16	0.15	0,0283	87.5	-4182,5	76,034	0.194	К
17	0.14	5,7803	100,22	2857	156,315	0.806	А
18	0.14	6,7114	115.1	3302	160,455	0.806	А
19	0.125	7,876	120,44	3465,7	162,771	0.806	А
20	0.125	17,2413	277	7487	185,086	0.806	А
21	0.125	18,181	275.7	8020,65	187,088	0.806	А

3. ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ УСТАНОВКИ

Питома витрата електроенергії на виробництво рідкого кисню розраховується з урахуванням всіх джерел енергії

$$L_{\text{уд}} = \frac{N_K + N_{\text{БО}} + N_{\text{ЩИТ}} + N_{\text{ХМ}}}{K^{\text{Д}}},$$

де $N_K = 500 \text{ кВт}$ – потужність, споживана електродвигуном компресора;

$N_{\text{ЩИТ}} = 6,5 \text{ кВт}$ – потужність, що витрачається на автоматичне керування;

$N_{\text{БО}}$ – потужність, споживана електронагрівачем блоку очищення;

$N_{\text{ХМ}} = 3,0 \text{ кВт}$ – потужність, споживана фреонової холодильної машиною;

$K^{\text{Д}}$ – дійсна продуктивність установки.

Величина $N_{\text{БО}}$ обчислюється зі співвідношення

$$N_{\text{БО}} = N_{\text{НАГ}} \tau_{\text{ВКЛ}} = 15 \cdot 0.344 = 4.5 \text{ кВт},$$

де $\tau_{\text{ВКЛ}} = 0,344$ – відносний час включення електропідігрівачів.

Значення $K^{\text{Д}}$ визначається з рівності

$$K^{\text{Д}} = B \cdot K,$$

тобто

$$K^{\text{Д}} = 720 \cdot 0.194 = 139.68 \frac{\text{м}^3}{\text{год}},$$

Знайдемо потужність, споживану компресором при тиску 20 МПа, використовуючи

$$N_R^{65} = 500 \text{ кВт}.$$

$$\frac{N^{50}}{N^{65}} = \frac{\ln 50}{\ln 65} \Rightarrow N^{50} = N^{65} = \frac{\ln 50}{\ln 65} \cdot N^{65} = 468,5 \text{ кВт}.$$

Таким чином, дійсні витрати енергії на одиницю продукції за одиницю часу рівні

$$L_{EL} = \frac{468,5 + 4,5 + 6,53 + 3}{500} = 0,962 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{кг}}.$$

Сумарні витрати потужності в установці N_C складають

$$N_C = N_K + N_{\text{шлг}} + N_{\text{бо}} = 482,5 \text{ кВт}$$

При обчисленні N_C враховувалося, що робота, отримана в детандері не вважалася корисною.

До енергетичних показників даної установки відносяться також ексергетичний (термодинамічний) ККД η_e і втрати від незворотності процесів D_e . Ці величини можуть бути визначені на основі ексергетичного балансу, який, в свою чергу, випливає з енергетичного балансу.

Для складання останнього на рис. 3.1 зображена схема енергетичних потоків розглянутої установки.

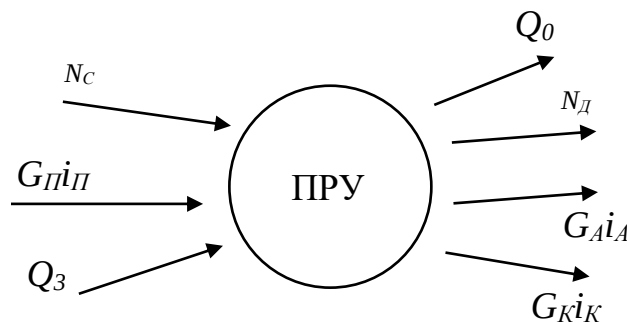


Рис. 3.1. Схема для складання енергетичного балансу установки

На даному рисунку використані наступні умовні позначення: G_P , G_A , G_K – відповідно витрати потоків П, А, К; Q_3 , Q_0 – відповідно сумарні теплопритоки з навколишнього середовища до установки і тепло, що віддається установкою навколишньому середовищу; i_P , i_A , i_K – відповідно питомі ентальпії повітря перед компресором, отбросного азоту на виході з установки і продукційного кисню;

N_d – потужність, отримана в детандері.

Виходячи зі схеми 3.1, рівняння енергетичного балансу установки записується як

$$N_C + G_B \cdot i_B + Q_3 = N_D + G_A \cdot i_A + G_K \cdot i_K + Q_0. \quad (3.1)$$

Схема ексергетичної потоків розглянутої установки представлена на рис. 3.2. величина D_e на цьому рисунку означає сумарні втрати від незворотності процесів в установці, а символ e – ексергетичну функцію.

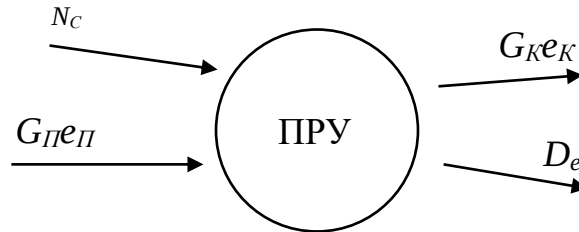


Рис. 3.2. Схема для складання ексергетичного балансу установки

Схема на рис. 3.2 передбачає, що потоки тепла Q_3 , Q_0 , а також роботи N_D є втратами і автоматично враховуються у величині D_e .

Виходячи з цієї схеми, рівняння ексергетичного балансу установки записується як

$$N_C + G_B \cdot e_B = G_K \cdot e_K + D_e. \quad (3.2)$$

Однак, беручи до уваги, що повітря в компресор подається з навколишнього середовища при її тиску і температури, слід покласти, що величина e_B дорівнює нулю. Тоді вираз (3.2) перетвориться до виду

$$N_C = G_K \cdot e_K + D_e. \quad (3.3)$$

З рівності (3.3) впливають розрахункові співвідношення для визначення ексергетичної втрати

$$D_e = N_C - G_K \cdot e_K \quad (3.4)$$

та ексергетичного ККД установки η_e^y

$$\eta_e^y = \frac{G_K \cdot e_K}{N_C}. \quad (3.5)$$

Розрахунок ексергії потоку e_K в точці 16 здійснюється за формулою

$$e_K = T_{oc}(s_{oc} - s_{16}) - (i_{oc} - i_{16}) - R \cdot T_{oc} z_K \ln(z_K), \quad (3.6)$$

де s_{oc} , i_{oc} – відповідно ентропія і ентальпія кисню при тиску p_{oc} і температурі T_{oc} навколишнього середовища; R – універсальна газова постійна; $z_K = 0,209$ – мольний вміст кисню в атмосфері.

Останній член в правій частині рівності (3.6) являє собою хімічну складову ексергії продукційного кисню N_D , яка за змістом є мінімальною мольною витратою енергії на виділення кисню з повітря. Перші два доданки представляють мінімальні мольні витрати енергії на зрідження кисню N_L від тиску і температури навколишнього середовища до стану на виході з установки (точка 16). Загальні мінімальні витрати в установці N_{MIN} дорівнюють

$$N_{MIN} = N_D + N_L. \quad (3.7)$$

При розрахунку величини e_K приймалось $p_{oc}=0,1$ МПа, $T_{oc}=293$ К. При даних параметрах навколишнього середовища визначено $s_{oc}= 185,5$ Дж/(моль·К), $i_{oc}= 8531,6$ Дж/моль. Як впливає з таблиці 2.1, в точці 16 тиск $p_{16}=0,15$ МПа і температурі $T_{oc}=87,5$ К. При цих параметрах кисню $s_{16}= 71,968$ Дж/(моль·К), $i_{16}= -4551,4$ Дж/моль.

Проведені розрахунки за формулами (3.3) - (3.8) привели до наступних результатів, наведених в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 Термодинамічні показники ефективності установки

Показник	Позначення	Розмірність	Значення
Мінімальна робота поділу	N_D	кВт	3,46
Мінімальна робота зрідження	N_L	кВт	87,61
Мінімальні витрати установки	N_{MIN}	кВт	91,07
Термодинамічний ККД	η_e	-	0,177
Загальні втрати від незворотності	D_e	кВт	422,93

Як видно з данної таблиці величина N_L значно перевищує значення N_D .

4. ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЕКТОВАНОЇ УСТАНОВКИ

Термодинамічний аналіз являє собою метод термодинамічного дослідження технічних систем (як в цілому, так і по засобом їх декомпозиції) з метою отримання найбільш повної інформації про процеси перетворення енергії, що відбуваються в них.

Форми енергії, що беруть участь у всіх енергетичних перетвореннях, можуть бути зведені до двох видів: до першого, куди відносяться форми енергії, повністю перетворені в будь-які інші форми; до другого, куди відносяться ті форми, які не можуть бути в загальному випадку повністю перетворені в інші форми енергії

4.1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕРМОДИНАМІЧНОГО АНАЛІЗУ

Енергія першого виду (наприклад, електрична, механічна, магнітна і ін.) В силу своєї оборотності, що не залежить від параметрів навколишнього середовища, може бути в межі повністю використана в технічних цілях. Всі форми енергії такого виду рівнозначні не тільки кількісно, але і якістю. Для аналізу таких технічних систем і їх елементів, всередині яких не накопичується і не витрачається енергія, без обмежень може бути застосовано рівняння

$$\sum W' = \sum W'', \quad (4.1)$$

де, $\sum W'$ и $\sum W''$ - суми відповідно підведених і відведених потоків енергії.

На основі балансу (4.1) складаються рівняння для обчислення безрозмірних коефіцієнтів, що характеризують різні системи перетворення енергії. Всі вони побудовані за формулою

$$\eta = \frac{\sum W_1}{\sum W_2}, \quad (4.2)$$

де величина $\sum W_1$ і $\sum W_2$ показують суми потоків енергії, обираємих для кожної системи, причому величина $\sum W_1$ повинна показувати корисний технічний ефект процесу, а $\sum W_2$ - витрати енергії на його проведення.

Всі балансові розрахунки, які стосуються енергії першого виду можуть вестися на основі тільки першого початку термодинаміки.

Форми енергії другого виду (наприклад, внутрішня енергія робочого тіла, енергія, що передається у вигляді теплового потоку та ін.) Якісно різні, оскільки ступінь їх «необоротності», яка характеризується ентропією, різна. Межі оборотності таких форм енергії пов'язані не тільки з параметрами, її визначальними, але і з параметрами навколишнього середовища. в межі при рівності параметрів робочого тіла і навколишнього середовища технічна цінність його енергії дорівнює нулю.

При вирішенні інженерних задач в області низькотемпературної техніки необхідно враховувати, що в них беруть участь форми енергії як першого, так і другого виду.

Мірою оборотності, придатності заданої кількості енергії будь-якого виду, що характеризується ентропією, служить кількість енергії, незв'язане з ентропією (рівне, наприклад, механічної або електричної роботи), яке може бути отримано з неї в оборотному процесі взаємодії з навколишнім середовищем. Умови такого перетворення визначається другим початком термодинаміки. Цей захід придатності будь-якого виду енергії і була названа - ексергією.

Отже, ексергія термодинамічної системи в даному стані визначається кількістю енергії, що не характеризується ентропією, яка може бути отримана зовнішнім приймачем енергії від системи при її оборотному переході з одного стану в стан повної рівноваги з навколишнім середовищем.

Вже згадана система може бути як термодинамічною (наприклад, деяка кількість робочого тіла в замкнутому просторі або в потоці), так і технічною (наприклад, установка класу L, R або D).

Навколишнє середовище (під терміном «навколишнє середовище» розуміється рівноважна частина зовнішнього середовища, що знаходиться поза межами системи) характеризується тим, що її характеристики не залежать від параметрів даної системи і тим, що всі її компоненти повинні знаходитися в повному термодинамічній рівновазі. (Насправді ж у навколишньому середовищі існують градієнти температур, тисків і хімічних потенціалів, однак при вирішенні переважної більшості завдань цими обставинами можна знехтувати. Тому використання поняття навколишнього середовища, як і інших термодинамічних абстракцій, вельмиплідно і практично необхідно.)

Параметри навколишнього середовища в більшості завдань можуть вважатися постійними. Однак в ряді випадків ці параметри можуть змінюватися (наприклад, в авіаційних системах при різних висотах, під впливом кліматичних умов і ін.).

У переважній більшості завдань для повної характеристики навколишнього середовища досить знати температуру $T_{o.c.}$, тиск $p_{o.c.}$ і хімічний склад. До тих пір, поки всі параметри системи і її частин незрівняються з відповідними параметрами навколишнього середовища, рівновага не буде досягнута і система у взаємодії з середовищем може призвести і віддати деяку зовнішню роботу, що означає, що вона має певну ексергією. У ряді випадків система, не віддаючи енергію (і навіть отримуючи її), може виконувати роботу за рахунок навколишнього середовища (прикладом такої системи є посуд, в якому тиск менше атмосферного). При повній рівновазі системи і середовища ексергія дорівнює нулю. Такий стан системи називається нульовим (в літературі англійською мовою dead state - «мертве стан»).

Зовнішні об'єкти - джерела і приймачі енергії - характеризуються перш за все тим, що в них хоча б один з визначальних параметрів відрізняється від параметрів навколишнього середовища. Тому вони можуть бути використані в якості зовнішніх джерел ексергії для «живлення» системи і забезпечення її безперервного функціонування

					КРБ.КТ.1.613-03.1.19	Лист
						29
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

(наприклад, паливо, випромінювання з температурою, відмінною від рівноважної, стиснений природний газ, термальні води і т.д.).

З першого і другого почань термодинаміки безпосередньо впливає, що в кожному даному стані ексергія системи, так само як і енергія, має певне фіксоване значення.

Взаємодія системи з навколишнім середовищем може проходити як оборотно (ідеальний газ), так і необоротно (реальний процес).

В ідеальному процесі буде отримана робота, рівна ексергії. Якщо процес буде зупинений до настання рівноваги системи і середовища, то отримана робота буде дорівнює убутку ексергії системи.

У реальному процесі робота буде менше, ніж спад ексергії (в межі робота може дорівнювати нулю). Це означає, що частина ексергії не перетвориться в роботу, а зникне, буде втрачена. Ексергія підкоряється закону збереження тільки в оборотних процесах; у всіх інших випадках (реальні системи) вона може частково або повністю зникнути, губитися в результаті дисипації (розсіювання) енергії в необоротних процесах. Природно, що чим менше ця втрата ексергії, тим процес термодинамічно більш досконалий.

Складаючи рівняння типу (30) і (31) стосовно ексергії E , ми робимо їх універсальними і повністю придатними для будь-яких термодинамічних систем, незалежно від видів енергії, що беруть участь в процесі:

$$\sum E' \geq \sum E'' \quad (4.3)$$

або

$$D = \sum E' - \sum E'', \quad (4.3a)$$

$$\eta_e = \frac{\sum E''}{\sum E'} \quad (4.4)$$

де $\sum E'$ і $\sum E''$ - суми відповідно підведених і відведених потоків ексергії; D - втрата ексергії (Від dissipation - диссипація, розсіювання; диссипація енергії характеризується зникненням, знищенням, втратою відповідної кількості ексергії.)

На відміну від рівнянь (4.1) і (4.2), що відображають енергетичний баланс, рівняння (4.3), (4.3а) і (4.4) - відображають ексергетичний баланс системи, тобто спираються як на перше, так і на друге початки термодинаміки.

Ексергетичний баланс на відміну від енергетичного балансу у всіх випадках показує величину втрат від незворотності в системі і ступінь її термодинамічної досконалості.

Величини $\sum E$ включають ексергію тих видів речовин і енергій, які входять в енергетичний баланс даної технічної системи. Стосовно до низькотемпературної техніки $\sum E$ включає ексергію потоку речовини E_M , ексергію теплового потоку E_q , а також роботу L (рівну E для механічної або електричної енергії).

З рівняння (4.3) випливає, що ексергія будь-якого виду в оборотних процесах може бути приведена повністю в ексергію будь-якого іншого виду незалежно від напрямку цих процесів.

Для низькотемпературних систем в загальному випадку необхідно при розрахунку величин ексергії враховувати взаємодії трьох можливих видів в самій системі і між системою і навколишнім середовищем: термічні (узагальнена сила - температура T), деформаційні (узагальнена сила - тиск P) і хімічні (узагальнена сила - хімічний потенціал μ). Останній вид взаємодій пов'язаний здебільшого з обміном речовиною між системою і навколишнім середовищем, тому він характерний для відкритих систем, наприклад установок класу D.

Ексергія потоку речовини E_M^* складається з двох складових: термомеханічної (або фізичної) і нульовий (або хімічної). Перша пов'язана з різницею термічних (ΔT) і міханічних (ΔP) параметрів речовини і середовища і вимірюється кількістю роботи, яка може бути отримана в оборотному процесі встановлення рівноваги потоків речовини із середовищем за допомогою енергетичної взаємодії, але без обміну матерією.

(при цьому $p \rightarrow p_{o.c}$ і $T \rightarrow T_{o.c}$).

Друга складова пов'язана з встановленням рівності хімічних потенціалів між складовими компонентами робочого тіла і навколишнього середовища ($\mu_i \rightarrow \mu_{i,o.c}$). Вона вимірюється кількістю роботи, яка може бути отримана в оборотному процесі встановлення рівноваги компонентів робочого тіла даного складу з відповідними компонентами навколишнього середовища при $p_{o.c}$ і $T_{o.c}$.

Речовина знаходиться в так званому нульовому стані, так як термомеханічні параметри робочого тіла знаходяться в рівновазі з параметрами середовища. Термін «нульова», крім того, зручніше, оскільки відображає той факт, що процеси взаємодії з навколишнім середовищем, пов'язані з обміном масою, не завжди супроводжуються хімічними реакціями (наприклад, поділ суміші газів або процеси змішання і розчинення).

					КРБ.КТ.1.613-03.1.19	Лист
						32
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Інтерес представляють втрати через взаємодію всієї установки з навколишнім середовищем. Для низькотемпературних систем до них в основному відносяться теплопритоки з навколишнього середовища і тепло, що віддається установкою цьому середовищі. Якщо теплопритоки можуть бути подумки прийняті рівними нулю, то щодо цього тепла таке припущення не має сенсу. Це обумовлено необхідністю відведення даного тепла навіть в разі ідеального циклу. З цієї причини втратою може вважатися тільки частина віддається навколишньому середовищу тепла, яка є технічною втратою і зводиться до нуля.

У будь-якому випадку через аддитивності втрат для всієї установки в цілому і окремих її елементів має місце залежність

$$D_{\Sigma} = D_p + D_t, \quad (4.5)$$

де D_{Σ} , D_p , D_t – відповідно загальні (сумарні), власні та технічні втрати від незворотності.

Об'єктами аналізу співвідношення між власними та технічними втратами, природно, можуть бути тільки ті елементи, в яких вони одночасно присутні. В іншому випадку внесок будь-якого виду цих втрат становить 100%. Як впливає з таблиці, наведеної в статті, такими об'єктами кріогенної техніки може бути теплообмінний апарат і колона ректифікації. У даній роботі досліджується шукане співвідношення для теплообмінників як найбільш поширених елементів кріогенних установок.

Ексергетичний метод аналізу не представляє інструменту для обчислення складових втрат від незворотності. З цієї причини їх визначення проводиться лише наближене. Для вирішення поставленого завдання далі використовується метод послідовного виключення складових ексергетичної втрат, суть і приклади реалізації якого викладено в роботах.

Існує відмінності в способах впливу на величини D_p і D_t . Складові технічних втрат характеризуються параметрами, кардинально змінюють їх аж до нульових значень. Для теплообмінника, наприклад, до них

відносяться: величина теплопритоків з навколишнього середовища, гідравлічні опори потоків робочих тіл. Ці ж складові для машин визначаються значеннями відповідних ККД. При розгляді власних втрат, як правило, не можна встановити будь-які параметри, що характеризують втрати D_p . У той же час, необхідно мати на увазі, що зміна будь-якої технічної втрати будь-якому елементі призводить до трансформації енергетичних балансів у всіх елементах даної системи. Це, в свою чергу, тягне за собою зміну величини D_Σ в цих елементах, внаслідок чого змінюються значення відповідних власних втрат. Неможливість прямо обчислити величину D_p через відсутність регулюючого її параметра (за винятком випадку, коли всі втрати в елементі є власними) залишає єдиний варіант алгоритму визначення співвідношення між величини D_p і D_t , який зводиться до таких кроків:

На підставі рівнянь енергетичного та ексергетичного балансів даного об'єкту розраховуються сумарні втрати D_Σ в ньому.

Покладаються рівними нулю всі технічні втрати. Для двухпоточного і трехпоточная теплообмінників це означає, що нульові значення приймають теплопритоки, гідравлічні опору прямого і зворотного потоків робочих тіл, а також недорекуперації на теплом кінці апарату.

Знову складаються рівняння енергетичного і ексергетичного балансів, з яких обчислюються власні втрати D_p .

Виходячи з рівності (4.5) обчислюються технічні втрати

$$D_t = D_\Sigma - D_p. \quad (4.6)$$

4.3 Визначення ексергії потоків робочих тіл

Для розрахунку ексергії необхідно визначити для кожного виду робочого тіла хімічну складову ексергії, використовуючи наступну формулу:

$$e_{ch} = T_{oc} \cdot s_{oc} - i_{oc} \quad (4.7)$$

де: e – ексергія робочих тіл у вузлових точках;

					КРБ.КТ.1.613-03.1.19	Лист
						34
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

ос – навколишнє середовище;

s_{oc} , i_{oc} - ентропія і ентальпія робочого тіла (N_2 , O_2 , Air, $0,3O_2 + 0,7N_2$) при T_{oc} і $P_{oc} = 0,1$ МПа.

Фізична складова ексергії e_{ph} розраховується за формулою:

$$e_{phk} = T_{oc}(s_{oc} - s_k) - (i_{oc} - i_k) \quad (4.8)$$

Де: s_k , i_k - ентропія і ентальпія робочого тіла в вузловій точці.

Величина e_k обчислюється за формулою:

$$e_k = e_{ch} + e_{phk} \quad (4.9)$$

Повна ексергія E_k обчислюється за формулою:

$$E_k = e_k \cdot G_k \quad (4.10)$$

Результати обчислень занесені в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1. Ексергії робочих тіл у вузлових точках системи

п	P, МПа	T, К	е, Дж/моль	G, кмоль/с	E, Вт	Рід тіла
1	20	303	13397,8	0,139	1862	Air
2	20	281	13430,8	0,139	1866	Air
3	20	283	13425	0,139	1866	Air
4	20	233	13801,7	0,083	1145	Air
5	0.67	120.296	7574,4	0,083	628	Air
6	20	124,341	18389,9	0,056	1029	Air
7	0.67	100,846	15906,8	0,139	2211	Air
8	0.67	100,057	23576,8	0,084	1980	0,3O ₂ + 0,7N ₂
9	0.67	96,437	24065,8	0,084	2021	0,3O ₂ + 0,7N ₂
10	0.17	84,122	22171,6	0,084	1862	0,3O ₂ + 0,7N ₂
11	0.17	84,129	5904,8	0,084	496	0,3O ₂ + 0,7N ₂
12	0.67	97.74	19037,7	0,055	1047	N ₂
13	0.67	86.74	20659,4	0,055	1136	N ₂
14	0.17	81.3	21452,5	0,055	1179	N ₂
15	0.16	96.5	5343	0,027	144	O ₂
16	0.15	87.5	20464,7	0,027	552	O ₂
17	0.14	100,22	4759,6	0,112	533	N ₂
18	0.14	115.1	3949	0,112	442	N ₂
19	0.125	120,44	3412,2	0,112	382	N ₂
20	0.125	277	672	0,112	75	N ₂
21	0.125	275.7	599	0,112	67	N ₂

5. РОЗРАХУНОК ЕКСЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ КРІОГЕННОЇ УСТАНОВКИ

Складаємо ексергетичні баланси для основних елементів кріогенних установок, з яких знаходимо їх ексергетичної втрати D_e і ККД η_e

5.1. Переохолоджувач азотної флегми

Розрахункова ексергетична схема переохолоджувача азотної флегми (ПАФ) представлена на рис. 5.1.

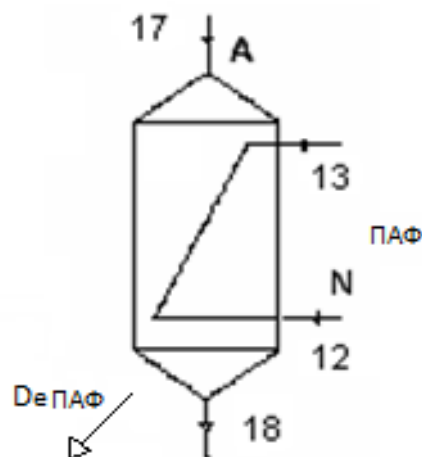


Рис.5.1. Схема ексергетичного аналізу переохолоджувача азотної флегми

Складаємо ексергетичний баланс переохолоджувача азотної флегми

$$A \cdot e_{17} + N e_{12} = A \cdot e_{18} + N e_{13} + De_{ПАФ} \quad (5.1)$$

$$E_{17} + E_{12} = E_{18} + E_{13} + De_{ПАФ} \quad (5.2)$$

З рівняння (5.2) знаходимо

$$De_{ПАФ} = (E_{17} + E_{12}) - (E_{18} + E_{13}) \quad (5.3)$$

$$\eta_{e ПАФ} = \frac{(E_{18} + E_{13})}{(E_{17} + E_{12})} \quad (5.4)$$

Значеннями ексергетичних показників ПАФ є:

$$D_{e ПАФ} = 2 \text{ кВт}, \quad \eta_{e ПАФ} = 0,99$$

5.2. Переохолоджувач кубової рідини

Розрахункова ексергетична схема переохолоджувача кубової рідини (ПКР) представлена на рис. 5.2

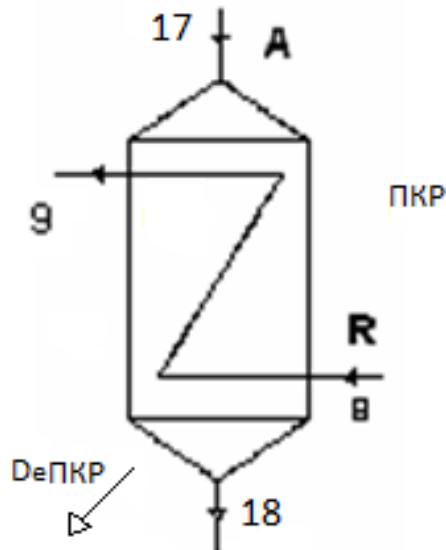


Рис.5.2. Схема ексергетичного аналізу переохолоджувача кубової рідини

Складаємо ексергетичний баланс переохладителя кубової рідини

$$R \cdot e_8 + A \cdot e_{17} = A \cdot e_{18} + R \cdot e_9 + De_{ПКР} \quad (5.5)$$

$$E_8 + E_{17} = E_{18} + E_9 + De_{ПКР} \quad (5.6)$$

З рівняння (5.6) знаходимо

$$De_{ПКР} = (E_8 + E_{17}) - (E_{18} + E_9) \quad (5.7)$$

$$\eta_{eПКР} = \frac{(E_{18} + E_9)}{(E_8 + E_{17})} \quad (5.8)$$

Значеннями ексергетичних показників ПКР є:

$$De_{ПКР} = 14,7 \text{ кВт} , \eta_{eПКР} = 0,98$$

5.3. Переохолоджувач рідкого кисню

Розрахункова ексергетична схема переохолоджувача рідкого кисню (ПРК) представлена на рис. 5.3

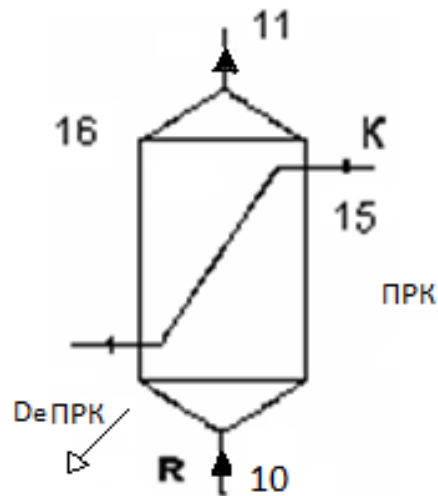


Рис.5.3. Схема ексергетичного аналізу переохолоджувача рідкого кисню

Складаємо ексергетичний баланс переохолоджувача рідкого кисню

$$R \cdot e_{10} + K \cdot e_{15} = K \cdot e_{16} + R \cdot e_{11} + De_{ПРК} \quad (5.9)$$

$$E_{10} + E_{15} = E_{16} + E_{11} + De_{ПРК} \quad (5.10)$$

З рівняння (5.10) знаходимо

$$De_{ПРК} = (E_{10} + E_{15}) - (E_{16} + E_{11}) \quad (5.11)$$

$$\eta_{eПРК} = \frac{(E_{16} + E_{11})}{(E_{10} + E_{15})} \quad (5.12)$$

Значеннями ексергетичних показників ПРК є:

$$De_{ПРК} = 75,8 \text{ кВт}, \eta_{eПРК} = 0,52$$

5.4. Вузол ректифікації

Розрахункова ексергетична схема вузла ректифікації (ВР) представлена на рис. 5.4.

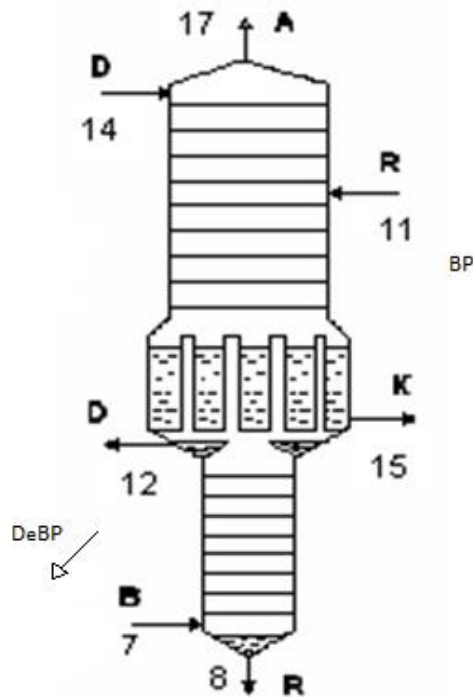


Рис.5.4. Схема ексергетичного аналізу вузла ректифікації

Складаємо ексергетичний баланс вузла ректифікації

$$R \cdot e_{11} + B \cdot e_7 + N \cdot e_{14} = N \cdot e_{12} + R \cdot e_8 + K \cdot e_{15} + A \cdot e_{17} + De_{BP} \quad (5.13)$$

$$E_{11} + E_7 + E_{14} = E_{12} + E_8 + E_{15} + E_{17} + De_{BP} \quad (5.14)$$

З рівняння (5.14) знаходимо

$$De_{BP} = (E_{11} + E_7 + E_{14}) - (E_{12} + E_8 + E_{15} + E_{17}) \quad (5.15)$$

$$\eta_{e_{BP}} = \frac{(E_{12} + E_8 + E_{15} + E_{17})}{(E_{11} + E_7 + E_{14})} \quad (5.16)$$

Значеннями ексергетичних показників ВР є:

$$De_{BP} = 132,3 \text{ кВт}, \eta_{e_{BP}} = 0,62$$

5.5. Основний теплообмінник

Розрахункова ексергетична схема основного теплообмінника (ОТ) представлена на рис. 5.5.

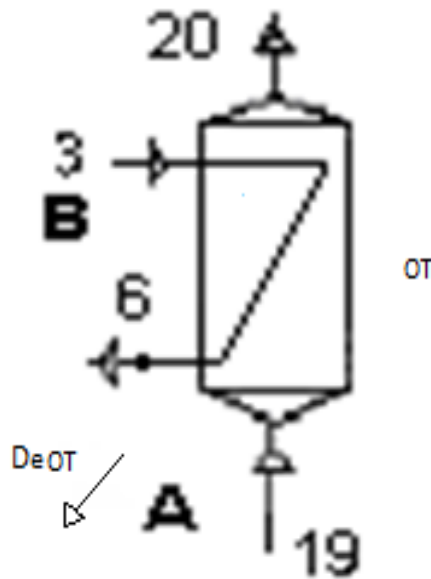


Рис.5.5. Схема ексергетичного аналізу основного теплообмінника

Складаємо ексергетичний баланс основного теплообмінника

$$B \cdot e_3 + A \cdot e_{19} = A \cdot e_{20} + B \cdot e_6 + De_{OT} \quad (5.17)$$

$$E_3 + E_{19} = E_{20} + E_6 + De_{OT} \quad (5.18)$$

З рівняння (5.18) знаходимо

$$De_{OT} = (E_3 + E_{19}) - (E_{20} + E_6) \quad (5.19)$$

$$\eta_{eOT} = \frac{(E_{20} + E_6)}{(E_3 + E_{19})} \quad (5.20)$$

Значеннями ексергетичних показників ОТ є:

$$De_{OT} = 94,4 \text{ кВт} , \eta_{eOT} = 0,69$$

5.6. Теплообмінник-зріджувач

Розрахункова ексергетична схема теплообмінника-зріджувача (ТЗ) представлена на рис. 5.6.

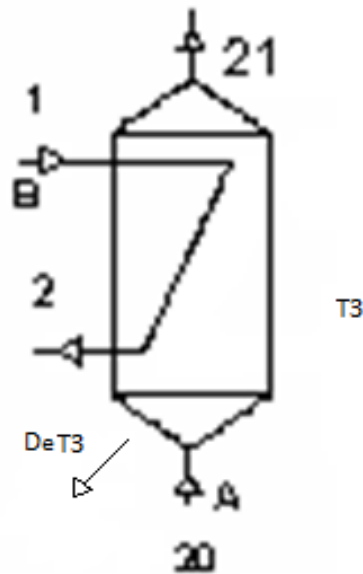


Рис.5.6 Схема ексергетичного аналізу теплообмінника- зріджувача

Складаємо ексергетичний баланс теплообмінника- зріджувача

$$B \cdot e_1 + A \cdot e_{20} = A \cdot e_{21} + B \cdot e_2 + De_{TZ} \quad (5.21)$$

$$E_1 + E_{20} = E_{21} + E_2 + De_{TZ} \quad (5.22)$$

З рівняння (5.22) знаходимо

$$De_{TZ} = (E_1 + E_{20}) - (E_{21} + E_2) \quad (5.23)$$

$$\eta_{e_{TZ}} = \frac{(E_{21} + E_2)}{(E_1 + E_{20})} \quad (5.24)$$

Значеннями ексергетичних показників ТЗ є:

$$De_{TZ} = 5,6 \text{ кВт} , \eta_{e_{TZ}} = 0,99$$

5.7. Детандер

Розрахункова ексергетична схема детандера (Д) представлена на рис. 5.7.

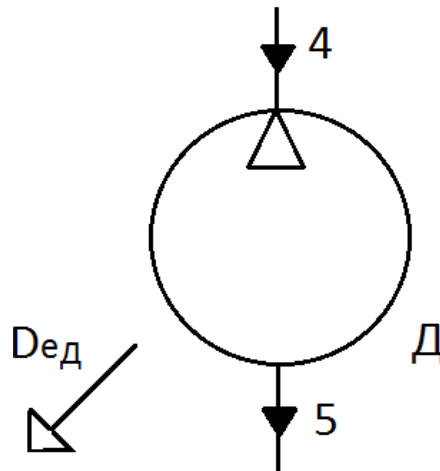


Рис.5.7. Схема ексергетичного аналізу детандера

Складаємо ексергетичний баланс детандера

$$B \cdot e_4 = B \cdot e_5 + DeД \quad (5.25)$$

$$E_4 = E_5 + DeД \quad (5.26)$$

У рівнянні (5.25) відсутній потік ексергії, відповідний роботі, отриманої в детандері. Це пов'язано з тим, що в даній схемі ця робота корисно не використовується, що є втратою.

З рівняння (5.26) знаходимо

$$DeД = E_4 - E_5 \quad (5.27)$$

$$\eta_{eД} = \frac{E_5}{E_4} \quad (5.28)$$

Значеннями ексергетичних показників Д є:

$$DeД = 30,1 \text{ кВт} , \eta_{eД} = 0,74$$

5.8. Дросель

Розрахункова ексергетична схема дроселя (ДР) представлена на рис. 5.8.

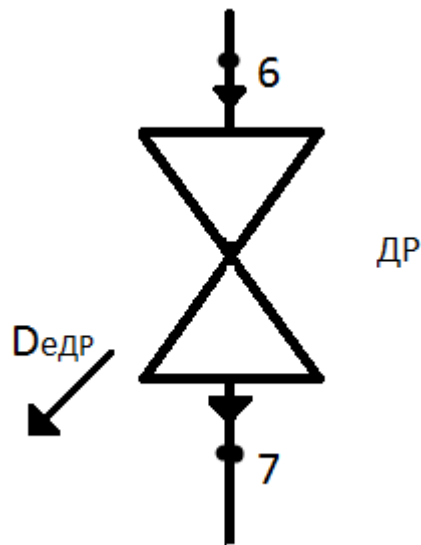


Рис.5.8. Схема ексергетичного аналізу дроселя

Складаємо ексергетичний баланс дроселя

$$B \cdot e_6 = B \cdot e_7 + De_{ДР} \quad (5.29)$$

З рівняння (5.29) знаходимо

$$De_{ДР} = G_7 (e_6 - e_7) \quad (5.30)$$

$$\eta_{e\ ДР} = G_7 \frac{e_7}{e_6} \quad (5.31)$$

Значеннями ексергетичних показників ДР є:

$$De_{ДР} = 64,5 \text{ кВт} , \eta_{e\ ДР} = 0,66$$

6. АНАЛІЗ ТЕРМОДИНАМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ УСТАНОВКИ

В даному розділі розрахунково-пояснювальній записці представлений аналіз отриманих значень показників термодинамічної ефективності для основних елементів установки. Ці показники зведені в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1. Ексергетичні показники основних елементів установки

№	Елемент	Втрати, D_e , кВт	ККД, η_e
1	Переохолоджувач азотної флегми (ПАФ)	2,0	0,99
2	Переохолоджувач кубової рідини (ПКР)	14,7	0,98
3	Переохолоджувач рідкого кисню (ПРК)	75,8	0,52
4	Вузел ректифікації (ВР)	132,3	0,62
5	Основний теплообмінник (ОТ)	94,4	0,69
6	Теплообмінник-зріджувач (ТЗ)	5,6	0,99
7	Детандер (Д)	30,1	0,74
8	Дросель (ДР)	64,5	0,66

Як видно з даної таблиці, всі розглянуті елементи мають досить високі значення ексергетичного ККД. При цьому величина η_e для дроселя близька до аналогічного показника для детандера. Однак, слід мати на увазі, що втрати від незворотності процесу дроселювання більш ніж в два рази перевищують втрати в детандері. Перевага детандеру перед дроселем полягає також у тому, що з його допомогою вдається отримати значно більше зниження температури прямого потоку. З основ термодинаміки відомо, що будь-яке зниження температури при $T < T_{oc}$ пов'язане з витратами енергії. З цієї причини використання детандера призводить до зменшення цих витрат навіть у разі даної установки, коли робота, отримана в детандері корисно не використовується.

Найменші втрати від незворотності мають місце в теплообміннику-зріджувачі. Але цей факт скоріше є негативним, ніж позитивним, що пояснюється принципом нерівноцінності втрат D_e . Суть цього принципу полягає в положенні про те, що чим нижче по технологічному ланцюжку установки виникають ексергетичної втрати, тим вони «цінніше».

Для теплообмінника-зжижувача втрати мають місце при температурах близьких до температури навколишнього середовища, з цієї причини їх «цінність» невелика. У той же час показники реальної кріогенної установки являють собою компроміс між енергетичними і техніко-економічними вимогами. Поліпшення енергетичних характеристик, зазвичай, призводить до ускладнення конструкції. Виходячи з принципу нерівноцінності втрат, для теплообмінника - зріджижувача доцільно їх збільшити, вибравши, велику недорекуперацію на тепловому кінці, великі гідравлічні опори.

Найменш термодинамічно ефективним серед, представлених в таблиці 6.1 елементів, є переохолоджувач рідкого кисню. Пояснення цього факту вимагає додаткових досліджень, пов'язаних із завданням вихідних даних для цього апарату.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ

1. Складена розрахункова схема кріогенної установки, для отримання з атмосферного повітря рідкого технічного кисню. На основі цієї схеми виконаний термодинамічний розрахунок установки, в результаті якого обчислені термодинамічні функції і витрати робочих тіл у вузлових точках.

2. Визначено енергетичні характеристики проектованої установки, які включають витрати енергії на отримання необхідного продукту, втрати енергії через незворотності процесів в елементах системи, а також її ексергетичний (термодинамічний) ККД.

3. Величина η_e для дроселя близька до аналогічного показника для детандера. Однак, при цьому втрати від незворотності процесу дроселювання приблизно в два рази перевищують втрати в детандері. Перевага детандеру перед дроселем полягає також у тому, що з його допомогою вдається отримати значно більше зниження температури прямого потоку.

4. Показано, що найбільш досконалими елементами, виходячи з термодинамічної ефективності, є теплообмінник-зріджувач, переохолоджувач азотної флегми, і переохолоджувач кубової рідини. Вони характеризуються значеннями ексергетичної ККД, близькими до одиниці, і відносно малими втратами від незворотності.

5. Найменш ефективним з розрахованих елементів є вузол ректифікації, що може бути пояснено високою незворотністю тепломасобмінних процесів в ньому.

ОХОРОНА ПРАЦІ

Техніка безпеки при роботі з продуктами поділу повітря

При отриманні, транспортуванні та використанні кисню в результаті контакту кисню з конструкційними матеріалами можуть утворюватися горючі та вибухові системи. Ступінь небезпеки систем залежить не лише від умов роботи та конструктивних особливостей кисневого обладнання, але головним чином від параметрів кисню.

Поряд із збільшенням обсягу споживаного кисню в сучасній техніці значно підвищуються параметри, за яких він використовується. Внаслідок цього підвищується інтенсивність згоряння речовин, а також можливість утворення горючих систем та ймовірність вибухів та пожеж від випадкових джерел. У загальному випадку це відбувається при підвищенні тиску, температури, концентрації та швидкості потоку кисню. Недооцінка цієї небезпеки експлуатації кисневого обладнання неодноразово призводила до серйозних аварій.

Забезпечення безпечної експлуатації кисневого обладнання полягає у вирішенні питання умов безпечного використання матеріалів і речовин у контакті з киснем, тобто. у визначенні сумісності матеріалів та речовин з киснем. Ці умови можуть бути встановлені в результаті вивчення процесів займання і горіння матеріалів та дослідження впливу на параметри цих факторів, що характеризують специфіку застосування даного матеріалу для виготовлення обладнання повітророзподільних установок.

Важко дати навіть невеликий перелік конструкційних матеріалів та речовин, застосування яких у контакті з киснем було б абсолютно безпечним. У ряді випадків можуть бути обмежені параметри кисню або введені певні вимоги до використання матеріалів, коли система загалом стає вибухонебезпечною, тобто. у ній неможливе поширення полум'я чи детонації. Наприклад, для газових вибухових сумішей такими

параметрами концентраційні межі горіння; для металів - граничні тиску кисню, при яких горіння не поширюється від місця запалення на всю замаслену поверхню або всю масу металу незалежно від розмірів.

З ряду причин (міцність, корозійна стійкість, вартість та ін.) при створенні багатьох видів кисневого обладнання важко, а іноді й неможливо забезпечити умови або використовувати матеріали, коли всі елементи конструкції абсолютно вибухові.

При оцінці небезпеки застосування матеріалів, що працюють у контакті з киснем, необхідно вирішити два питання: визначити умову, за яких використання матеріалів не становить небезпеки, визначити умови, за яких існує принципова можливість загоряння, але його ймовірність та наслідки можуть бути вивчені та обмежені відповідними вимогами при застосуванні цього матеріалу.

Виходячи з цього, вибирають методи дослідження поведінки матеріалів у кисні та визначають необхідні заходи з техніки безпеки.

Азот є інертним газом, він не токсичний і не пожежо- та вибухонебезпечний. Небезпека при роботі з цим газом виникає при забрудненні ним повітря в зоні знаходження обслуговуючого або ремонтного персоналу внаслідок зниження вмісту кисню, що призводить до недостатності кисню - задухою.

У зонах обслуговування та ремонту, де можливі витікання азоту, повинен виконуватися контроль вмісту кисню у повітрі. Нормальний вміст кисню в повітрі робочої зони за об'ємною часткою має бути не нижчим за 19%.

При вмісті кисню в повітрі за об'ємною часткою менше 19% повинні бути вжиті термінові заходи щодо усунення витоків інертних газів, вентиляції та провітрювання приміщень та, у разі потреби, припинення роботи, та евакуація персоналу. При вмісті кисню у повітрі за об'ємною часткою менше 16%, у виняткових випадках допускається короткочасне перебування людей у шлангових чи кисневих протигазах. Використання

фільтруючих протигазів всіх марок для роботи в середовищі зі зниженим вмістом кисню забороняється.

Проби повітря на вміст кисню повинні відбиратися при забрудненні повітря азотом у верхній частині приміщення.

Категорично забороняється залишати на ніч у закритих приміщеннях судини з рідким азотом, якщо газоскид не виведено за межі приміщення.

При перебування в атмосфері зі зниженим вмістом кисню людина втрачає свідомість без будь-яких попередніх симптомів (запаморочення, нудота тощо).

Якщо хтось із працюючих знепритомніє, постраждалого слід негайно винести на свіже повітря і зробити штучне дихання. Крім того, необхідно одразу ж викликати лікаря.

Роботи в приміщенні можна відновити лише після того, як воно буде провітрюване і вміст кисню в повітрі буде не менше 19%.

Небезпеки при роботі з рідкими продуктами розподілу повітря.

Рідкі продукти поділу повітря мають дуже низькі (криогенні) температури, легко випаровуються при звичайних температурах, збільшуючи у багато разів свій обсяг.

Робота з рідкими продуктами поділу повітря пов'язана з такими небезпеками:

- 1) небезпека обмороження обслуговуючого персоналу;
- 2) небезпека швидкого закипання із створенням тисків у замкнутих судинах;
- 3) небезпека руйнування конструкцій з вуглецевої сталі та інших нехолодостійких металів та матеріалів;
- 4) при використанні рідкого азоту для охолодження виробів відбувається упарювання рідини, що супроводжується підвищенням концентрації кисню. При досягненні концентрації кисню в рідині до 30% виникають такі ж небезпеки, як при застосуванні рідкого кисню.

Щоб уникнути низькотемпературних опіків, не можна допускати потрапляння рідини та газу на відкриті ділянки тіла, в очі. Необхідно

уникати всіляких контактів з киплячою рідиною, що розбризкується. При попаданні рідкого продукту слід негайно добре промити уражене місце.

Зі зрідженими газами працюють у спецодязі. У закритих приміщеннях має

бути надійна вентиляція та налагоджений контроль за вмістом газу у навколишньому середовищі.

Вибухонебезпечність та пожежостійкість

У ПРУ вибухи відбуваються у тих місцях, де випаровується рідкий кисень або збагачене киснем повітря. При википанні в рідкому кисні накопичуються висококиплячі вибухонебезпечні домішки повітря. Коли вміст домішок рідини перевищує нижню межу її вибуховості або розчинності в рідкому кисні, утворюється вибухонебезпечна суміш, вибух якої може призвести до руйнування апарату або його частини.

Вибухобезпечність експлуатації повітророздільних блоків забезпечується розміщенням установок у місцях, де вміст вибухонебезпечних домішок у повітрі не перевищує граничних величин для даного типу установок; очищенням повітря та технологічних потоків від вибухонебезпечних домішок; підтримкою в апаратах, в яких відбувається кипіння рідкого кисню, режиму роботи, що унеможливило відкладення вибухонебезпечних домішок на теплопередаючих поверхнях; регулярним контролем вмісту домішоку рідкому кисні та вживання належних заходів у разі виникнення вибухонебезпечних умов.

Знежирення обладнання, що працює у середовищі кисню.

Необхідність ретельного очищення поверхонь обладнання, що стикаються з киснем, від олії та жиру викликана вибухонебезпечністю системи кисень.

Знежирення обладнання проводять при виготовленні виробів, а також після їх збирання та монтажу.

Крім того, знежирення здійснюють періодично під час експлуатації обладнання, якщо на його поверхнях, що працюють в контакті з киснем, можливе відкладення олії. Технологію знежирення регламентовано галузевим стандартом.

Для знежирення застосовують органічні розчинники та водомиючі розчини.

Необхідність знежирення виробів після виготовлення, монтажу та ремонту, а також при експлуатації визначається відповідною конструкторською та технологічною документацією. Виріб у зборі можна не знежирювати, якщо деталі та вузли знежирені після виготовлення, а при зберіганні та складанні виключалося забруднення поверхонь, що працюють у середовищі кисню.

Знежирення органічними розчинниками та водними миючими розчинами можна здійснювати заповненням внутрішніх поверхонь або зануренням у ванни; циркуляцією миючого засобу в виробах, що промиваються; конденсацією парів розчинників у виробах, що промиваються; струминним очищенням; протиранням забруднених місць; ультразвуковим очищенням.

Якість знежирення на внутрішній поверхні виробів визначають зі зміни вмісту олії в розчиннику після знежирення. Якість знежирення вважається задовільною, якщо при повторному знежиренні методами заповнення або циркуляції вмісту олії в розчиннику зростає не більше ніж на 20 мг/дм³. Знежирення методом конденсації закінчують при вмісті олії в розчиннику (зливається з виробу) менше 20 мг/дм³. Якість знежирення відкритих поверхонь може бути перевірена шляхом протирання або оглядом поверхні за допомогою люмінесцентних приладів.

Хлоровані вуглеводні відносяться до підгрупи Б групи IV сильнодіючих отруйних речовин (СДОР). При їх зберіганні повинні виконуватись вимоги “Санітарних правил проектування обладнання, складів для зберігання сильнодіючих отруйних речовин (СДОР)

Приміщення цеху поділу, компресії продуктів поділу повітря (машинне відділення), апаратне відділення, вентилявані підвали під блоком поділу повітря, камера фільтрів (повітряних) за категорією приміщень за вибухонебезпечністю та пожежною безпекою за ОНТП 24-86 відносяться до категорії Д. За ступенем вогнестійкості будівельних конструкцій – II, IIIa. За

класом вибухонебезпечних та пожежонебезпечних зон за ПУЕ – вибухопожежонебезпечний. Додаткові умови: у цеху поділу необхідно проведення аналізу на вміст кисню у газонебезпечних місцях один раз на зміну;

в апаратному відділенні підвали забезпечуються витяжною примусовою вентиляцією, яка включається персоналом, що обслуговує, за сигналом автоматичного газоаналізатора.

Довиробнича допомога

Як і в житті кожного з нас трапляються різного роду травми, забої переломи і т.д. Цей розділ присвячений тому, як допомогти людині в тих чи інших ситуаціях надзвичайного стану. Будь то через незнання або через недбалість робітників ми повинні їм допомогти в тій чи іншій ситуації. Підприємство приховує у собі масу різноманітних небезпек. Наша - мета звести цей фактор ризику до мінімуму, а якщо він все-таки сталося то як допомогти іншим і - собі самому. Холод здавалося – що може статися, але за дуже низьких температурах може бути сумні наслідки -190 °C чи +190°C насправді ми відчуємо різниці а постраждає тіло людини це в першу чергу людина, це добре спрацьована команда відповідно і згуртованість роботи організації в цілому.

Перша допомога при обмороженні

При кріогенному обмороженні необхідно, перш за все, зняти одяг, що утруднює кровообіг у ураженій ділянці. Негайно зробити теплову ванну ураженого місця при температурі води 40-45°C. Не слід проводити

					КРБ.КТ.1.613-03.1.19	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		56

сухе відігрівання або використовувати воду з температурою вище 46°C, оскільки в цьому випадку можливе посилення ураження тканин, що постраждали.

Якщо вражена більшість поверхні тіла, чим викликано загальне зниження температури тіла, то потерпілому потрібно створити загальну ванну, що зігріває. При цьому необхідно мати на увазі, що постраждалий може впасти у шоківий стан.

Безпосередньо після обморожування уражені поверхні тіла безболісні, здаються воскоподібними і мають блідо-синій відтінок. Після відтавання вони стають болючими і з'являються бульбашки. Рани, що утворюються при їх

руйнуванні, дуже схильні до занесення інфекції. Тому не слід робити негайного розморожування, якщо поразка відбулася в умовах, коли потерпілого не може бути негайно госпіталізовано.

Розморожування слід проводити протягом 15-60 хв доти, поки забарвлення ураженого місця не стане рожевим або червоним. При відтаванні рекомендується використовувати анестезуючі засоби для зменшення хворобливості. По можливості розморожування слід проводити під наглядом лікаря.

Якщо розморожування уражених частин відбулося до того, як могла бути надана медична допомога, то відігрівання проводити не слід. У цьому випадку необхідно закрити уражену поверхню сухою стерильною тканиною, а поверх неї покласти щільну захисну пов'язку. Після госпіталізації постраждалому необхідно зробити протиправцеве щеплення.

Неприпустимо давати постраждалому алкогольні напої, дозволяти курити, оскільки це погіршує кровообіг уражених частин тіла.

Перша допомога при ураженні електричним струмом

Перша долікарська допомога при нещасних випадках від електричного струму складається з двох етапів: звільнення потерпілого від дії струму та надання йому медичної допомоги.

Звільнення потерпілого від дії струму може бути здійснено кількома способами. Найбільш простий і вірний спосіб – це відключення відповідної частини електроустановки. Якщо відключення швидко зробити чомусь не можна, можна при напрузі до 1000 В перерубати дроти сокирою з дерев'яною рукояткою або відтягнути постраждалого від струмоведучої частини, взявшись за його одяг, якщо він сухий, відкинути від нього дріт за допомогою дерев'яної палиці.

При напрузі вище 1000 В слід застосовувати діелектричні рукавички, боти та у необхідних випадках ізолюючу штангу або ізолюючі кліщі, розраховані на відповідну напругу.

Заходи першої медичної допомоги постраждалому електричного струму залежить від його стану. Якщо потерпілий у свідомості, але до цього непритомний або тривалий час перебував під струмом, йому необхідно забезпечити повний спокій до прибуття лікаря або терміново доставити до лікувального закладу.

За відсутності свідомості, але дихання, що збереглося, і роботі серця потрібно рівно і зручно укласти потерпілого на м'яку підстилку, розстебнути пояс і одяг, забезпечити приплив свіжого повітря. Слід давати нюхати нашатирний спирт, оббризкувати обличчя холодною водою, розтирати та зігрівати тіло.

Якщо потерпілий погано дихає – рідко, судомно або якщо дихання поступово погіршується, тоді як у всіх цих випадках продовжується нормальна робота серця, необхідно робити штучне дихання.

За відсутності ознак життя треба робити штучне дихання та зовнішній масаж серця.

Штучне дихання має бути розпочато негайно після звільнення потерпілого від дії струму та виявлення його стану. Воно повинне

проводитися методом, відомим під назвою "з рота в рот" і полягає в тому, що той, хто надає допомогу, вдує повітря зі своїх легенів у легені постраждалого через його рот. Встановлено, що повітря, що видихається з легенів, містить достатню для дихання кількість кисню. При цьому способі потерпілого укладають на спину, відкривають йому рота і видаляють з рота сторонні предмети і слиз. Для розкриття гортані той, хто надає допомогу, закидає голову потерпілого назад, поклавши під потилицю одну руку, а другою рукою натискає на лоб або тем'я потерпілого до такого ступеня, щоб підборіддя опинилося на одній лінії з шиєю.

Після цього допомагає робить глибокий вдих і з силою видихає повітря в рот потерпілого. При цьому він повинен охопити своїм ротом весь рот постраждалого і своїм обличчям чи пальцями затиснути йому ніс. Потім той, хто надає допомогу, відкидається назад і робить новий вдих. У цей період грудна клітка потерпілого опускається, і він робить пасивний видих.

За одну хвилину слід робити 10-12 вдування. Вдування повітря можна проводити через марлю, хустку або спеціальну трубку. При відновленні у потерпілого самостійного дихання деякий час слід продовжувати штучне дихання до приведення потерпілого до тями, приурочуючи вдування до початку вдиху потерпілого.

Зовнішній масаж серця має на меті штучно підтримувати в організмі кровообіг та відновити самостійну діяльність серця.

Визначивши промацуванням місце натискання, яке має бути приблизно на два пальці вище м'якого кінця грудини. Надає допомогу кладе на нього нижню частину долоні однієї руки, а потім поверх руки кладе під прямим кутом іншу і натискає на грудну клітку потерпілого, злегка допомагаючи при цьому нахилом свого корпусу. Натискати слід приблизно один раз на секунду швидким поштовхом так, щоб просунути нижню частину грудини вниз у бік хребта на 3-4 см, а у повних людей - 5-

6 см. Після цього надає допомогу злегка випрямляється і розслаблює руки, не відбираючи їх від грудей.

Одночасно з масажем серця потрібно виконувати штучне дихання. Вдування треба проводити в проміжках між натисканнями або під час спеціальної паузи через кожні 4-5 натискань. Якщо допомогу надає одна людина, вона зобов'язана чергувати операції: після двох вдування повітря проводити 15 натискань на грудну клітину.

Про відновлення діяльності серця у потерпілого судять за появою в нього власного регулярного пульсу, що не підтримується масажем. Для перевірки пульсу необхідно перервати масаж на 2-3 секунди.

					КРБ.КТ.1.613-03.1.19	Лист
						60
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Архаров А.М. Кріогенні системи. Т.2 Основи проектування апаратів, установок та систем. - М: Машинобудування, 1999.
2. V. L. Bondarenko, Yu. M. Simonenko. Cryogenic Technologies of Rare Gases Extraction: monograph. — Odesa : Astroprint, 2014. — 312 p.
3. В. М. Арсеньєв, В. М. Козін. Кріогенна техніка: основи теорії і розрахунку циклів кріогенних установок: навч. посіб.. — Суми : СумДУ, 2021. — 272 с.
4. Б. Г. Грудка, А. М. Басов. Повітророздільні установки : конспект лекцій. — Одеса : ОНАХТ, 2022. — 57 с.
5. М. Kravchenko. Air separation units for cryogenic products : lecture notes. — Odesa : ONAFT, 2022. — 73 p.
6. Castle W. F. Air separation and liquefaction: Recent developments and prospects for the beginning of the new millennium // International Journal of Refrigeration. – 2002. – Vol. 25. – P. 158-172.
7. M. Kravchenko. Cryogenic technology and low-temperature machines : lecture notes. — Odesa : ONAFT, 2022. — 105 p.
8. Alsultanny Y. A., Al-Shammari N. N. Oxygen Specific Power Consumption Comparison for Air Separation Units // Engineering Journal. —2014. —Vol. 18 (2). —P. 68–80.
9. Harald Klein, Philipp Fritsch, Patrick Haider Flexible Operation of Air Separation Units // ChemBioEng Reviews. —2021. —Vol. 8. —P. 1-19.
10. Kumar, M., Panda, D., Behera, S. K. & Sahoo, R. K. Experimental investigation and performance prediction of a cryogenic turboexpander using artificial intelligence techniques. // Applied Thermal Engineering. —2019. —P.15
11. Sam, A. A. & Ghosh, P. Flow field analysis of high-speed helium turboexpander for cryogenic refrigeration and liquefaction cycles. // Cryogenics. —2017. —Vol. 82. —P. 5-13.
12. Дем'яненко Ю.І. Охорона праці під час роботи на установках розділення повітря. Навчальний посібник. – 2006.