

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання
Кафедра технічної теплофізики

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

_____ Сергій ВАНЄЄВ
(підпис)

« _____ » _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня бакалавр
зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»,
освітньо-професійної програми «Компресори, пневмоагрегати та вакуумна
техніка»

на тему: «Розрахунок пароежекторної холодильної машини у схемі
газоперекачувальної станції»

Здобувача групи ХКз-91с
(шифр групи)

Сірого Сергія Володимировича
(прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело.

_____ (підпис)

Сергій СІРИЙ
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник Доцент кафедри ТТФ, доцент, к.т.н. Юрій МЕРЗЛЯКОВ
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ (підпис)

Зміст

Вступ.....	3
1 Типи тепловикористовуючих холодильних машин	5
2 Схема пароежекторної холодильної машини у складі газоперекачувальної станції	10
3 Принцип дії та розрахунок ПЕХМ	13
4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	24
Висновки	28
Список використаних джерел	29

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.		Сірий			Розрахунок пароежекторної холодильної машини у схемі газоперекачувальної станції	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Мерзляков				2	29	
Н. контр.						СумДУ, гр. ХКз-91с		
Затв.		Ванєєв						

ВСТУП

Холодильна машина – це замкнута система з апаратів та пристроїв, призначених для здійснення холодильного циклу. Використовують холодильні машини для охолодження різноманітної продукції нижче температури навколишнього середовища та для безперервної підтримки заданої температури протягом необхідного часу.

Тепловикористовувальна холодильна машина – це холодильна машина, в якій холодильний цикл здійснюється за рахунок підведення теплоти.

Штучне охолодження (тобто охолодження нижче температури навколишнього середовища) може відбуватися тільки з витратою енергії, найчастіше електричної, що витрачається на привод холодильної машини. Завдання холодильної техніки - забезпечити створення оптимальних умов холодильної технології при мінімальних витратах енергії (сировини), збереженні високої якості продукції, що випускається.

Проблеми енергозбереження в даний час мають важливе значення в першу чергу у зв'язку з обмеженістю природних ресурсів, нерівномірним їх розподілом, а також у зв'язку з техногенним забрудненням навколишнього середовища, частиною якого є теплові скидання холодильних машин.

В даній роботі буде розглянуто одна із тепловикористовуючих машин – пароежекторна холодильна машина, також приведено її розрахунок.

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						3
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Завданням кваліфікаційної роботи є розрахунок одноступеневої пароежекторної холодильної машини у складі газоперекачувальної станції відповідно до вихідних даних. За результатами розрахунку розрахувати та спроектувати пряموструменевий ежектор.

Вихідні дані:

- масова витрата природного газу: $m_r = 10$ кг/с.
- тиск природного газу: $p_r = 5,2$ МПа.
- температура природного газу при вході в нагнітач: $t_{r1} = 60$ °С.
- температура природного газу при виході з парогенератора: $t_{r2} = 30$ °С.
- температура повітря на вході до компресора: $t_{п1} = 30$ °С.
- масова витрата повітря: $m_{п} = 4$ кг/с.
- тиск повітря на вході до компресора: атмосферний.
- температура кипіння холодильного агента: $t_0 = 0$ °С.
- температура пари холодильного агента на виході з випарника: $t_9 = 10$ °С.
- температура конденсації: $t_k = 30$ °С.
- температура холодильного агента в парогенераторі: $t_{п} = 80$ °С.
- пар на виході з парогенератора: насичений сухий.
- холодильний агент: R134a.

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

1 РОЗДІЛ

ТИПИ ТЕПЛОВИКОРИСТОВУЮЧИХ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН

Тепловикористовуючі холодильні машини знайшли широке застосування у різних галузях промисловості. До них відносяться пароежекторні (далі - ПЕХМ), абсорбційні (далі - АХМ) та сорбційні холодильні машини. Відмінною особливістю перерахованих типів машин від парокompресорних та газових холодильних машин є принцип отримання в них холоду за рахунок використання теплоти джерел, які нагрівають.

Тепловикористовуючі холодильні машини на відміну від парових і газових, функціонують, використовуючи енергію у формі теплоти, а не механічної роботи. У цьому область застосування таких холодильних машин обмежується наявністю дешевих джерел теплоти, про вторинних енергетичних ресурсів.

Абсорбційні холодильні машини. Абсорбція, тобто поглинання пари рідиною (абсорбентом), важливий процес у циклах таких машин. Абсорбційні процеси здійснюються за допомогою розчинів, що складаються, як правило, із двох компонентів, що мають різні нормальні температури кипіння. Низькокипляча речовина є холодоагентом, а висококипляча речовина - абсорбентом. Найбільш поширеним двокомпонентними розчинами є аміак-вода та вода-бромистий літій. Причому аміак у першому та вода у другому є холодильними агентами. [1]

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

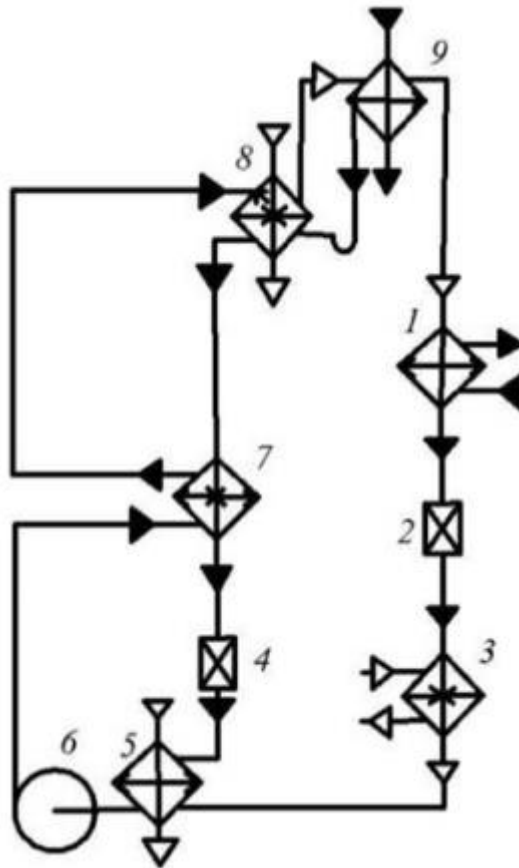


Рисунок 1 – Схема абсорбційної холодильної машини

1 – конденсатор; 2,4 - регулюючі вентиля; 3 – випарник; 5 – абсорбер; 6 – насос; 7 – регенеративний теплообмінник; 8 - генератор з колоною ректифікації; 9 – дефлегматор.

В АХМ низька температура виходить в результаті кипіння холодоагенту, що надійшов у випарник через детандер з конденсатора. Однак холодоагент подається з випарника в конденсатор за допомогою абсорбції та випарювання, а для здійснення останнього і потрібно підведення теплоти від зовнішнього джерела при температурі вище температури навколишнього середовища.

Абсорбційні холодильники мають ряд незаперечних переваг у порівнянні з компресійними, до їх числа насамперед належать:

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

- відсутність рухомих частин і, отже, більш висока надійність і
- довговічність;
- відсутність в холодильному апараті різномірних і дорогих матеріалів, а, отже, більш висока технологічність і менша вартість;
- безшумність в роботі і можливість використання дешевих джерел теплової енергії замість електричної;
- висока працездатність в умовах підвищеної температури зовнішнього повітря (в районах тропічного клімату) та ін.

Недолік абсорбційних машин – збільшення їх маси в результаті заміни компресора тепловими апаратами [4].

АХМ представлені у галузях та технологіях нафтопереробки, хімічної промисловості, металургії, атомній енергетиці, харчовій промисловості, комунальному господарстві, сільському господарстві, тригенерації.

АХМ мають дуже низьке значення споживаної електричної потужності. Електроенергія споживається лише циркуляційними насосами для перекачування теплоносіїв [2].

Пароежекторні холодильні машини. У ПЕХМ холодоагентом є вода, що охолоджується за рахунок часткового переходу в пароподібний стан при глибокому вакуумі. Вода нешкідлива, доступна, має велику теплоту пароутворення, у випарниках пароежекторних машин кипить при температурі від 2 до 7 °С (зазвичай близько 5 °С), чому відповідають абсолютні тиски водяної пари від 700 до 1000 Па [4].

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

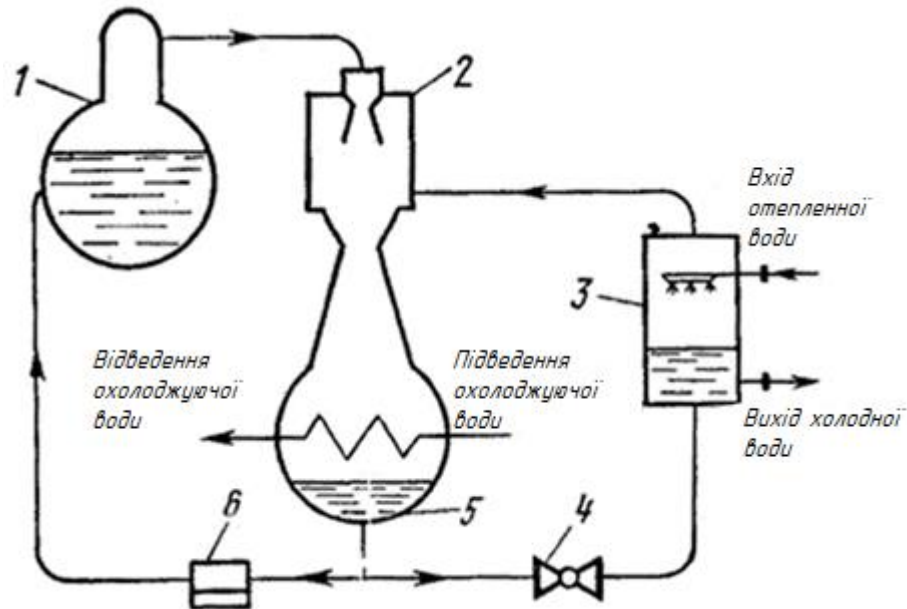


Рисунок 2 – Схема пароежекторної холодильної машини

1 - паровий котел, 2 - ежектор, 3 - випарник, 4 - регулюючий вентиль, 5 - конденсатор, 6 – насос

Робоча пара з джерела (парового котла) 1 надходить у головний ежектор 2, який захоплює (ежектуює) водяну пару, що утворилася при кипінні води у випарнику 3. Суміш робочої пари та захопленої з випарника холодної пари стискається до тиску конденсації за рахунок падіння швидкості руху парової суміші у дифузори. У конденсаторі 5 пар віддає тепло охолоджувальній воді та конденсується. Частина конденсату повертається насосом 6 джерело отримання робочої пари - котел 1, а частина дроселюється в регулювальному вентилі 4 і направляється у випарник 3, звідки охолоджена вода подається споживачам.

ПЕХМ переважно знаходять застосування на об'єктах, що мають (особливо влітку) надлишок водяної пари, наприклад пара проміжних відборів на електростанціях, пара випарного охолодження на металургійних підприємствах тощо, а також розвиненими системами оборотного

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

водопостачання або іншими, у тому числі природними джерелами охолоджуючої води. Також широко ПЕХМ застосовують у системах кондиціонування повітря на судах з парогенераторними енергетичними установками та на промислових підприємствах, що мають вторинні енергетичні ресурси підвищеного температурного потенціалу.

До переваг ПЕХМ відносяться: простота конструкції та обслуговування, порівняно низькі капітальні витрати, висока надійність і ресурс роботи, можливість експлуатації тривалими періодами без безпосереднього обслуговування, мала витрата запасних частин.

Недоліками ПЕХМ є низька енергетична ефективність через великі втрати в ежекторі, а також необхідність підтримки глибокого вакууму у випарнику, конденсаторі та пароструйному апараті. [4]

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

2 РОЗДІЛ

СХЕМА ПАРОЕЖЕКТОРНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ У СКЛАДІ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ

Газова промисловість нашої країни, забезпечуючи видобуток та транспортування природного газу, водночас є великим споживачем цього палива. Основна потреба у газі падає на підприємства трубопровідного транспорту – газоперекачувальні станції (ГПС) магістральних газопроводів, оснащені тепловими двигунами. Основним тепловим двигуном, що використовується на ГПС магістральних газопроводів як привод до нагнітачів, є газотурбінне встановлення.

Сучасна ГПС – це складна інженерна споруда, що забезпечує основні технологічні процеси з підготовки до транспортування газу: очищення його від сторонніх домішок, компрімування та охолодження. Для здійснення технологічних процесів на ГПС магістральних газопроводів потрібні різні види енергії, насамперед механічна та електрична. [3]

Найбільш важливими завданнями, які визначають підвищення ефективності функціонування газотранспортних систем, є в першу чергу зниження енерговитратності, пов'язане зі зменшенням витрати паливного газу в приводних двигунах, переважно газотурбінних, та електроенергії, що використовується на привід вентиляторів в апаратах повітряного охолодження газу та масла, а також підвищення продуктивність газоперекачування, тобто збільшення пропускної спроможності газопроводів.

Велику роль у вирішенні цих завдань можуть зіграти технології комбінованого вироблення енергії, що базуються на використанні скидної теплоти компресорних станцій з газотурбінним приводом. Теплові потенціали однієї компресорної станції (далі – КС) середньої потужності за високопотенційною теплотою (вихлопні гази при температурах 350-550 °С)

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

становлять 100-150 МВт, за низькопотенційною (охладжувальне повітря після апаратів повітряного охолодження газу, що стискається, при температурі 50-70 °С) – до 50-70 °С.

Зменшити енерговитратність за рахунок зменшення витрати паливного газу на існуючих газоперекачувальних агрегатах, а також підвищити продуктивність газоперекачування можна шляхом введення нових приводних потужностей теплоутилізуючих енергетичних установок з механічним або електричним приводом нагнітачів.

Підвищення продуктивності газопроводу також можливе за рахунок зміни параметрів газу, що перекачується, а саме: за рахунок підвищення глибини охолодження стисненого газу після нагнітача. Глибина охолодження газу в штатних апаратах повітряного охолодження обмежується потенціалом зовнішнього повітря, що охолоджує.

Впровадження інтенсивних систем охолодження стисненого газу при його транспорті дозволяє збільшити пропускну спроможність газопроводу на 5-8 % та знизити питомі наведені витрати на 2-3 %.

На газоперекачувальних станціях, де в якості приводу до газоперекачувальних агрегатів використовуються газотурбінні установки, основними джерелами теплових попутних енергетичних ресурсів є системи охолодження мастила та газу теплових двигунів, що відходять.[3]

На рисунку пропонується схема газотурбінної установки із застосуванням пароежекторної холодильної машини (рис. 3), що використовує теплоту природного газу на вході газоперекачувальної станції з виробленням холодильної потужності для охолодження зовнішнього повітря на вході в компресор газотурбінного двигуна. Як холодильний агент пропонується використовувати хладон R134a, який забезпечить глибоке охолодження зовнішнього повітря та підвищення потужності на приводі компресора. Утилізація теплоти природного газу на вході ГПС у

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

парогенераторі дозволить збільшити пропускну здатність нагнітача за рахунок підвищення густини природного газу після парогенератора.

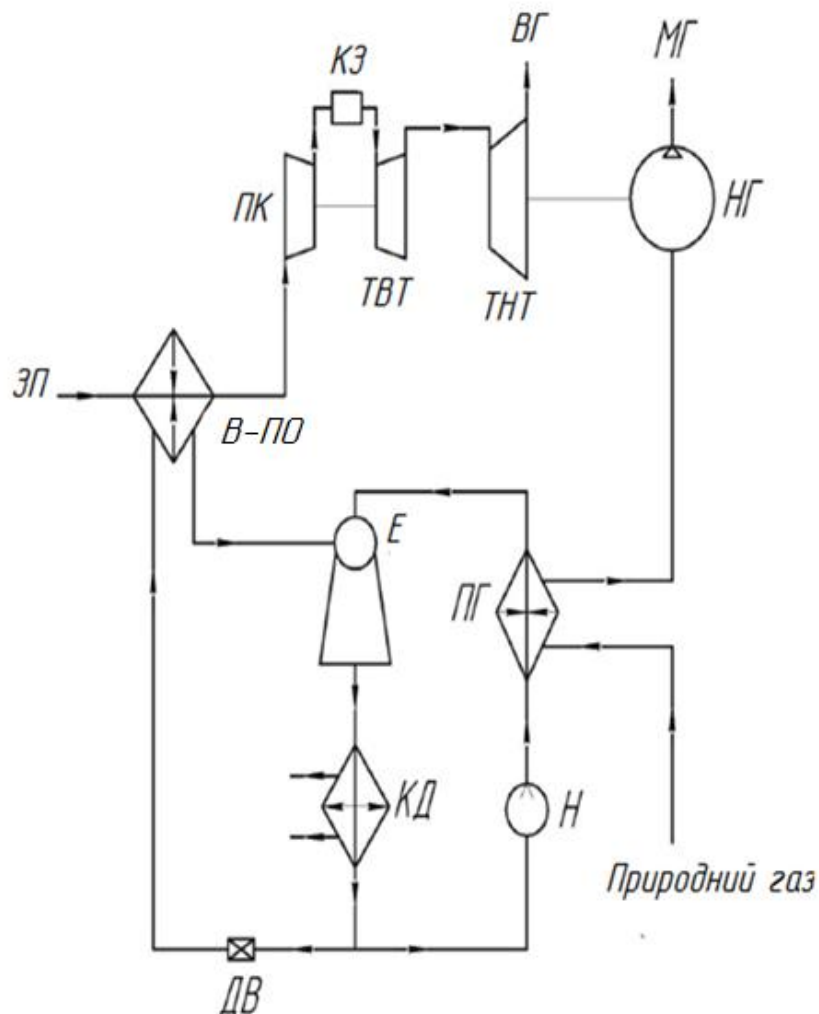


Рисунок 3 – Схема газоперекачувальної станції з використанням ПЕХМ

Умовні позначення: ПК – повітряний компресор; ТВТ – турбіна високого тиску; ТНТ – турбіна низького тиску; КЗ – камера згоряння; НГ – нагнітач газу; МГ – магістральний газопровід; ПГ-парогенератор; Е – ежектор; В-ПО - випарник холодильного агента-повітроохолоджувача; КД – конденсатор холодильного агента; Н – насос; ДВ – дросельний вентиль; ЗП – зовнішнє повітря; ВГ – гази, що видаляються.

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

3 РОЗДІЛ

ПРИНЦИП ДІЇ ТА РОЗРАХУНОК ПЕХМ

У ПЕХМ пар високого тиску (P_{km}), генерується в котлі K_m за допомогою джерела з температурою t_h надходить у сопло ежектора E . При розширенні в ньому пари одержувана кінетична енергія витрачається на підсмоктування пари низького тиску P_i , що виходить з випарника I , і на стиск суміші, що утворилася в дифузори ежектора до тиску P_k , тобто до тиску конденсації пари в конденсаторі K .

Розширення пари у соплі і потім стиснення суміші у дифузори ежектора до тиску P_k , тобто до тиску конденсації пари в конденсаторі K . Розширення пари в соплі і потім стиснення суміші в дифузори ежектора пов'язане з високими енергетичними втратами. У конденсаторі K пар з тиском P_k охолоджується зовнішнім джерелом з температурою t_w і конденсується. Частина конденсату насосом H подається в котел K_m для генерації пари високого тиску, частина дроселюється в регулювальному вентилі PB і направляється у випарник для охолодження середовища, що охолоджується, має температуру t_s . Пари, що виходять із випарника, знову підсмоктуються ежектором.

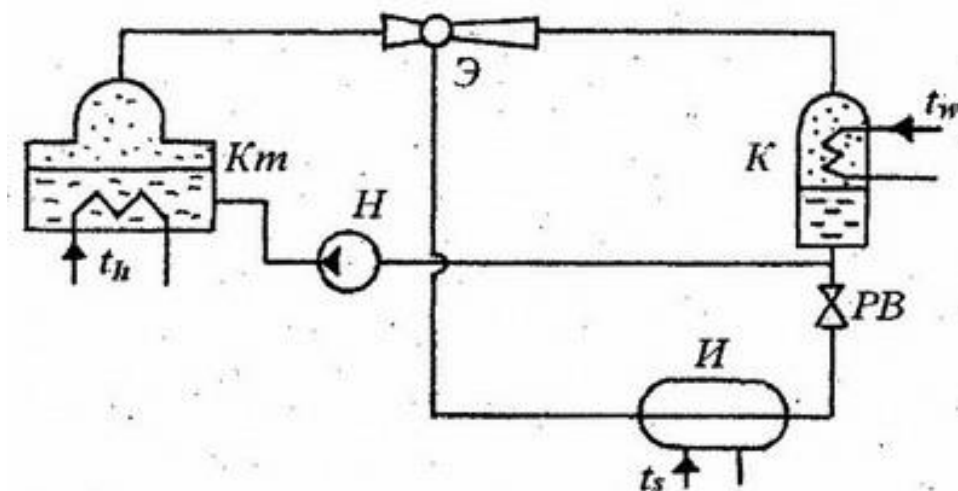


Рисунок 4 – Пароежекторна холодильна машина

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		13

В ПЕХМ всі основні апарати - випарник, головний конденсатор та інші - працюють під тиском нижче атмосферного, внаслідок чого в машину надходить повітря ззовні. Для підтримки в апаратах заданих тисків необхідно безперервно відсмоктувати повітря із системи. [2]

Теоретичний цикл ПЕХМ

Робоча пара з котла тиском P_{km} (точка 1) розширюється ізоентропно в насадці ежектора до тиску P_i , процес 1-2. З випарника підсмоктується холодна насичена пара з параметрами точки 9. Процес змішування йде по лінії, що з'єднує точки 2 і 9. Положення точки суміші 3 визначається коефіцієнтом підмішування ежектора. Точка 3 розділяє відрізок 2-9 у співвідношенні обернено пропорційному масі потоків пари, що змішуються.

Волога пара, утворена змішуванням потоків, що надходять із сопла і від випарника, далі стискається в дифузорі (процес 3-4). Конденсація пари у конденсаторі – процес 4-5. Процес 5-8 - дроселювання частини конденсату, що надходить у випарник. Далі здійснюється кипіння холодоагенту у випарнику (процес 8-9). У прямому циклі далі здійснюється стискання робочої речовини в насосі (процес 5-6), а 6-7-1 - процес нагрівання та випаровування робочої речовини в парогенераторі. Отже, прямий цикл відбувається за круговим процесом 1-2-3-4-5-6-7-1, круговий процес 9-3-4-5-8-9 є зворотним (холодильним циклом).

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

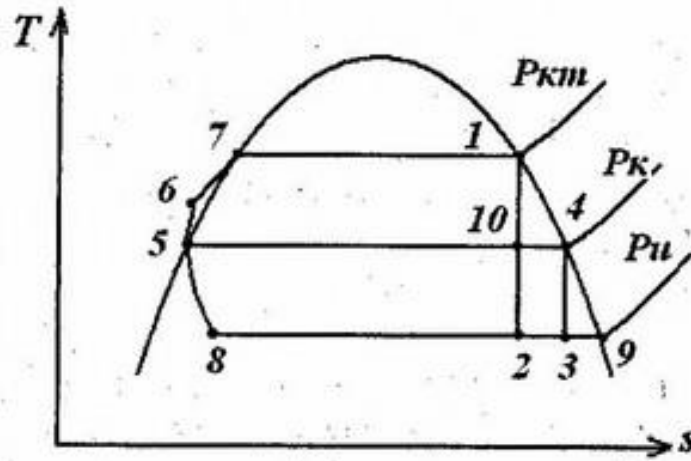


Рисунок 5 – Теоретичний цикл ПЕХМ

Тепловий баланс ПЕХМ можна представити у такому вигляді

$$(1 + \alpha_T) \cdot \alpha_K = \alpha_0 + \alpha_T \cdot \alpha_G + \alpha_T \cdot \alpha_H,$$

де α_T - кратність циркуляції теоретичного циклу, кг/кг;

$m_{рп}$ - масова витрата робочої пари, через парогенератор, кг/с;

$m_{хп}$ - масова витрата холодної пари, через охолоджувач повітря, кг/с;

$$\alpha = \frac{l_0}{l} = \frac{i_{10} - i_9}{i_1 - i_{11}}$$

де l та l_0 – роботи відповідно до прямого та зворотного циклів.

Теплота, відведена у конденсаторі

$$(1 + \alpha_T) \cdot q_K = (1 + \alpha_T) \cdot (i_{4s} - i_5)$$

Питома холодопродуктивність

$$q_0 = i_9 - i_8$$

Теплота, підведена до парогенератора

$$\alpha_T \cdot q_G = \alpha_T \cdot (i_1 - i_6)$$

Під час розгляду теоретичного циклу робота насоса обчислюється по різниці ентальпій

$$a_T \cdot q_H = a_T \cdot (i_6 - i_5)$$

Так як рідина майже не стискається, різниця ентальпій дуже мала і нею нехтують. У практичних розрахунках роботу насоса визначають через тиск. [2]

Дійсний цикл ПЕХМ

Справжній цикл пароежекторної машини показаний на рис значно відрізняється від теоретичного циклу.

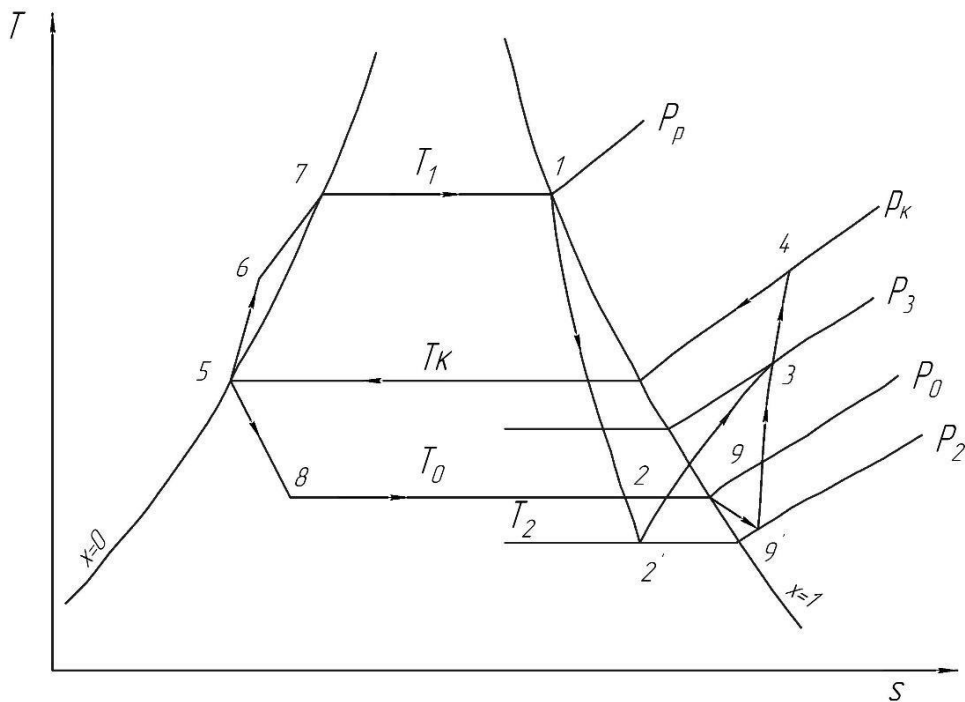


Рисунок 6 - Дійсний цикл пароежекторної машини

Відмінність обумовлена незворотними процесами розширення робочої пари в соплі, змішування та стиснення змішаної пари в дифузорі; процес змішування характеризується ще й втратами від удару робочої пари об

холодну пару; робоча пара розширюється до тиску p_2 , нижчого, ніж тиск p_0 у випарнику, на значення втрат у системі на ділянці від випарника до камери змішування.

У дійсному циклі ПЕХМ процеси:

1-2' - політропне розширення робочої пари у соплі від тиску 0 до тиску 2;

9-9' – політропне розширення холодної пари від тиску p_0 до тиску p_2 у вхідній частині камери змішування ежектора;

2'-3 і 9'-3 – одночасне змішування робочої та холодної пари в камері змішування ежектора;

3-4 – політропний стиск суміші робочої та холодної пари в камері змішування ежектора;

4-5 – зняття перегріву та конденсація суміші парів у конденсаторі;

5-6 - підігрів конденсату в насосі, що подає конденсат у парогенераторі;

6-1 – нагрівання та пароутворення конденсату в генераторі;

5-8 - дроселювання конденсату в дросельному вентилі, що надходить з конденсатора у випарник.

Таким чином, у випарник потрапляє волога пара в стані 8 з тиском p_0 і температурою t_0 . Процес 8-9 - кипіння холодильного агента у випарнику. Пара з випарника в стані 9 надходить в ежектор.

Внаслідок незворотних втрат в елементах холодильної машини дійсний тепловий коефіцієнт ξ_d менше теоретичного.

Дійсний тепловий коефіцієнт

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\xi_d = \frac{q_0}{a_d * q_\Gamma} = \frac{i_9 - i_8}{a_d * (i_1 - i_6)}$$

де a_d - кратність циркуляції в дійсному циклі ПЕХМ.

Дійсну кратність циркуляції a_d можна обчислити, користуючись даними досвіду, отриманими при випробуванні машин різних конструкцій, а також залежно від адіабатних перепадів у дифузорі Δi_2 та соплі Δi_1 . [5]

Залежність відношення $\Delta i_2 / \Delta i_1 = (i_{10} - i_9) / (i_1 - i_2)$ приведена на рисунку 7:

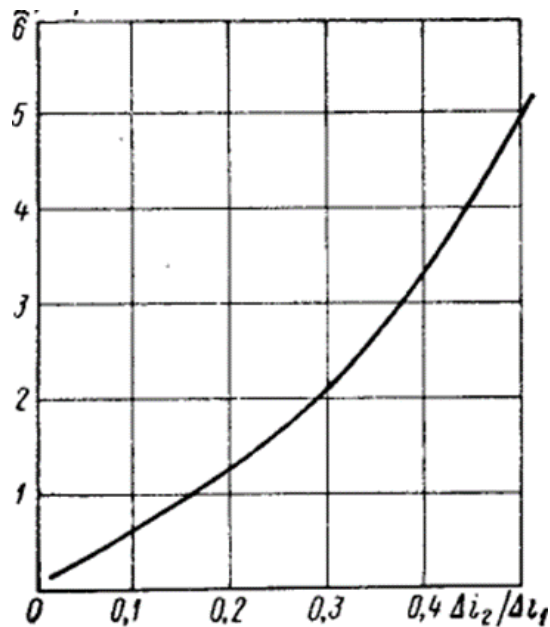


Рисунок 7 - Залежність дійсної кратності циркуляції від відношення $(i_{10} - i_9) / (i_1 - i_2)$

Розрахунок циклу ПЕХМ

Таблиця 1 – Параметри вузлових точок

Параметри	Точки										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
p , МПа	0,476	0,001	0,001	0,0056	0,0056	0,476	0,476	0,001	0,001	0,0056	0,0056
T , К	423	280	280	308	308	-	423	280	280	-	308
i , кДж/кг	274,6	191,6	-	256	146,56	146,56	-	146,56	2513,9	2792	2100

Питома масова холодопродуктивність циклу:

$$q_0 = i_9 - i_8 = 251,3 - 146,56 = 236,7 \text{ кДж/кг}$$

Теоретична кратність циркуляції:

$$a_T = \frac{i_{10} - i_9}{i_1 - i_{11}} = \frac{2792 - 2513,9}{2746,3 - 2100} = 0,43$$

Масова витрата холодної пари, що циркулює в циклі:

$$G_{x.p} = Q_0/q_0 = 500/2367,34 = 0,211 \text{ кг/с}$$

Масова витрата робочої пари, що циркулює в циклі:

$$G_{p.p} = G_{x.p} \cdot a_T = 0,211 \cdot 0,43 = 0,09 \text{ кг/с}$$

Ентальпія в точці 3 визначається за рівнянням змішування:

$$i_3 = \frac{i_9 + a_T \cdot i_2}{1 + a_T} = \frac{2792 + 0,43 \cdot 1916}{1 + 0,43} = 252,8 \text{ кДж/кг}$$

Тепловий баланс ПЕХМ:

$$(1 + a_T) \cdot q_K = q_0 + a_T \cdot q_G + a_T \cdot q_H$$

Питома холодопродуктивність:

$$q_0 = i_9 - i_8 = 2513,9 - 146,56 = 236,7 \text{ кДж/кг}$$

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Теплота, відведена у конденсаторі:

$$Q_K = (G_{p.n} + G_{x.n}) \cdot q_K = (G_{p.n} + G_{x.n}) \cdot (i_{4s} - i_5) = (0,09 + 0,211) \cdot (256 - 14,6) = 72,7 \text{ кВт}$$

Теплота, підведена до парогенератора:

$$Q_G = G_{p.n} (i_1 - i_5) = 0,09 \cdot (274,6 - 14,6) = 23,4 \text{ кВт}$$

Тепловим еквівалентом роботи насоса нехтуємо.

Елементарний тепловий баланс:

$$(1 + a_T) \cdot q_K = q_0 + a_T \cdot q_G = 236,7 + 23,4 = 260,1 \text{ кДж/кг}$$

Термічний коефіцієнт:

$$\eta_T = \frac{l}{q_G} = \frac{(i_1 - i_{11}) - (i_6 - i_5)}{i_1 - i_6} = \frac{(274,6 - 210) - 0}{274,6 - 14,6} = 0,24$$

Холодильний коефіцієнт:

$$\varepsilon_0 = \frac{q_0}{l_0} = \frac{i_9 - i_8}{i_{10} - i_9} = \frac{251,3 - 14,6}{279,2 - 251,3} = 8,51$$

Тепловий коефіцієнт:

$$\xi_T = \frac{q_0}{a_T \cdot q_G} = \frac{i_9 - i_8}{a_T \cdot (i_1 - i_6)} = \frac{251,3 - 14,6}{0,43 \cdot (274,6 - 14,6)} = 2,11$$

Тепловий потік від природного газу:

$$Q_G = m_G \cdot c_{pG} \cdot (t_{G1} - t_{G2}) = 100 \cdot 2,23 \cdot (60 - 30) = 66,9 \text{ кВт}$$

де $c_{pG} = 2,23 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$ [7, табл. 5, с. 513];

З іншого боку, теплота, підведена до парогенератора, кВт:

$$Q_G = m_{p.n} \cdot (i_1 - i_6)$$

звідси

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$m_{\text{рп}} = \frac{Q_{\Gamma}}{i1 - i6} = \frac{6690}{2746,3 - 146,56} = 2,53 \text{ кг/с}$$

Для визначення дійсної кратності циркуляції скористаємося графіком на рис. 7.

$$a_{\text{д}} = 4,25 \text{ кг/кг}$$

Масова витрата холодної пари:

$$m_{\text{хп}} = \frac{m_{\text{рп}}}{a_{\text{д}}} = \frac{2,53}{4,25} = 0,59 \text{ кг/с}$$

Повна холодопродуктивність повітроохолоджувача:

$$Q_0 = m_{\text{хп}} \cdot (i_9 - i_8) = 0,59 \cdot (251,3 - 14,6) = 139,67 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт ежекції, кг/кг:

$$u = \frac{1}{a_{\text{д}}} = \frac{1}{4,25} = 0,235$$

Дійсний тепловий коефіцієнт:

$$\xi_{\text{д}} = \frac{q_0}{a_{\text{д}} \cdot q_{\Gamma}} = \frac{i_9 - i_8}{a_{\text{д}} \cdot (i1 - i6)} = \frac{251,3 - 14,6}{4,25 \cdot (274,6 - 14,6)} = 0,214$$

Коефіцієнт, що враховує втрати дійсного циклу:

$$\eta = \frac{\xi_{\text{д}}}{\xi_{\text{т}}} = \frac{0,214}{2,11} = 0,10 \text{ або } 10\%$$

Рівняння теплового балансу для охолоджувача повітря

Тепловий потік від повітря, кВт:

$$Q_{\text{в}} = m_{\text{в}} \cdot (i_{\text{в1}} - i_{\text{в2}}) = m_{\text{в}} \cdot c_{\text{рв}} (t_{\text{в1}} - t_{\text{в2}})$$

Навантаження на повітроохолоджувач:

$$Q_0 = m_{\text{хп}} \cdot (i_9 - i_8) = 139,6 \text{ кВт}$$

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Якщо теплота гарячого теплоносія повністю сприймається холодним теплоносієм, то рівняння теплового балансу набуде вигляду:

$$Q_0 = m_{\text{хп}} \cdot (i_9 - i_8) = m_{\text{в}} \cdot c_{\text{рв}}(t_{\text{в1}} - t_{\text{в2}})$$

звідси:

$$t_{\text{в2}} = t_{\text{в1}} - \frac{Q_0}{m_{\text{в}} \cdot c_{\text{рв}}} = 30 - \frac{139,6}{4 \cdot 1,01} = -4,57 \text{ } ^\circ\text{C}$$

де $c_{\text{рв}} = 1,01 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$ – теплоємність повітря.

Щільність повітря перед компресором базової схеми кг/м^3 :

$$\rho_{\text{в1}} = \frac{p_{\text{в}}}{R_{\text{в}} \cdot T_{\text{в1}}}$$

Щільність повітря перед компресором схеми з ПЕХМ, кг/м^3 :

$$\rho_{\text{в2}} = \frac{p_{\text{в}}}{R_{\text{в}} \cdot T_{\text{в2}}}$$

Рівняння нерозривності для базової схеми, кг/с :

$$m_{\text{в1}} = \rho_{\text{в1}} \cdot w \cdot F$$

Рівняння нерозривності для схеми з ПЕХМ, кг/с

$$m_{\text{в2}} = \rho_{\text{в2}} \cdot w \cdot F$$

Приріст масової витрати природного газу за рахунок впровадження ПЕХМ:

$$\Delta m = \frac{m_{\text{в2}}}{m_{\text{в1}}} = \frac{\rho_{\text{в2}}}{\rho_{\text{в1}}}$$

Приріст потужності на приводі компресора за рахунок застосування ПЕХМ:

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\Delta N = \frac{m_{B2}}{m_{B1}} = \frac{\rho_{B2}}{\rho_{B1}} = \frac{1,165}{1,315} = 0,89$$

де $\rho_{B1} = 1,165 \text{ кг/м}^3$ – щільність повітря при $t_{B1} = 30^\circ\text{C}$ [5, табл. 81, с. 236].

$\rho_{B2} = 1,315 \text{ кг/м}^3$ – щільність повітря при $t_{B2} = - 4,57^\circ\text{C}$ [5, табл. 81, с. 236].

Геометричний розрахунок ежектора

Площа вихідного перерізу сопла

$$f_p = V_{p.n} / \omega_p = 0,00058 / 40 = 0,145 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Площа критичного перерізу сопла

$$f_{xp} = G_{p.n} / (b \cdot \sqrt{p_p / v_1}) = 0,00739 / (0,635 \cdot \sqrt{4,575 \cdot 10^5 / 0,079483}) = 0,03 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Площа вихідного перерізу сопла

$$f_{p1} = (G_{p.n} \cdot v_2) / w_1 = (0,00739 \cdot 0,99275) / 480,26 = 0,152 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Площа перерізу циліндричного ділянки камері змішування

$$f_3 = (G_{p.n} + G_{x.n}) / (b \cdot \sqrt{p_k / v_4}) = (0,00739 + 0,00112) / (0,635 \cdot \sqrt{1,09 \cdot 10^5 / 0,50706}) = 0,289 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Площа перерізу конічного ділянки камері змішування

$$f_2 = \beta \cdot f_3 = 2 \cdot 0,289 \cdot 10^{-4} = 0,578 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Площа перерізу на виході з дифузора

$$f_c = (G_{p.n} + G_{x.n}) \cdot v_4 / w_4 = (0,00739 + 0,00112) \cdot 0,50706 / 70 = 0,616 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

4 РОЗДІЛ

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Вимоги охорони праці під час експлуатації холодильних і компресорних установок

Інструкція з охорони праці при експлуатації холодильного обладнання розроблена відповідно до Закону України «Про охорону праці» (Постанова ВР України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ) в редакції від 20.01.2018р, на основі «Положення про розробку інструкцій з охорони праці», затвердженого Наказом Комітету по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України від 29 січня 1998 року № 9 в редакції від 1 вересня 2017 року.

Роботодавці, працівники яких здійснюють експлуатацію холодильних і компресорних установок, зобов'язані забезпечити [6, 7]:

1) утримання холодильних і компресорних установок у справному стані та їх експлуатацію відповідно до вимог Правил та технічної документації організації-виробника;

2) навчання працівників з охорони праці та перевірку знань вимог охорони праці;

3) контроль за дотриманням працівниками вимог Правил та інструкцій з охорони праці.

До виконання робіт з експлуатації холодильних і компресорних установок допускаються працівники віком не молодше 18 років, які пройшли обов'язковий попередній медичний огляд у порядку, встановленому чинним законодавством, інструктажі з охорони праці, навчання безпечним методам та прийомам виконання робіт та стажування на робочому місці.

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		24

До самостійного виконання робіт з експлуатації холодильних і компресорних установок працівники допускаються після перевірки знань у встановленому порядку. Періодична перевірка знань проводиться не рідше одного разу на 12 місяців.

Працівники, допущені до експлуатації холодильних і компресорних установок, повинні знати:

- правила користування засобами індивідуального захисту;
- правила з охорони праці під час експлуатації електроустановок та правила надання першої допомоги постраждалим, у тому числі при ураженні електричним струмом.

При організації проведення робіт, пов'язаних з можливим впливом на працівників шкідливих та (або) небезпечних виробничих факторів, роботодавець зобов'язаний вжити заходів щодо їх виключення або зниження до рівнів допустимого впливу, встановлених вимогами нормативних правових актів, що затверджуються органами виконавчої влади, уповноваженими на здійснення відповідного державного нагляду.

У машинному відділенні холодильних і компресорних установок має бути аптечка для надання першої допомоги, укомплектована відповідно до чинних норм.

Роботи в машинних та апаратних відділеннях, у холодильних камерах, що виконуються працівниками, не пов'язаними з експлуатацією холодильних установок (ремонт приміщень, теплоізоляції, фарбування обладнання та трубопроводів), проводяться після проходження ними цільового інструктажу з охорони праці та під наглядом працівника, призначеного роботою відповідальним за здійснення контролю за безпечною експлуатацією холодильних установок.

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Працівник зобов'язаний негайно сповіщати свого безпосереднього або вищого керівника про кожен нещасний випадок, що стався на виробництві, про всі помічені їм порушення Правил, несправності обладнання, інструменту, пристроїв та засобів індивідуального та колективного захисту.

Працювати з несправними обладнанням, інструментом та пристроями, а також засобами індивідуального та колективного захисту забороняється. [6]

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

1. Якщо з'явилися несправності в роботі холодильника негайно відключити його від електромережі і доповісти про це керівнику і електрику.

2. В разі загоряння холодильника необхідно відключити його від електромережі, евакуювати людей з приміщення, провести гасіння обладнання первинними засобами пожежогасіння, повідомити про інцидент своєму керівникові.

3. У випадку ураження електрострумом надати потерпілому першу допомогу, якщо відсутнє дихання і пульс провести штучне дихання і непрямий масаж серця до відновлення дихання і пульсу, викликати медсестру або транспортувати потерпілого в медичний кабінет установи, при необхідності викликати швидку медичну допомогу, доповісти керівнику.

4. При травмуванні надати першу допомогу потерпілому, викликати медсестру або транспортувати потерпілого в медичний кабінет установи, при необхідності викликати швидку медичну допомогу, доповісти керівнику. Як холодильний агент у циклі ПЕХМ використовується фреон R134a.

5. При виявленні витіку холодоагенту необхідно зупинити холодильну установку, перекрити запірною арматурою пошкоджену ділянку, видалити холодоагент із пошкодженої ділянки холодильної установки, керуючись вимогами технічної документації організації-виробника, увімкнути витяжну вентиляцію та усунути витік.

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

6. У разі попадання в очі миючих і дезінфікуючих засобів, під час миття холодильника, ретельно промити очі водою і звернутися до медичної сестри. При подразненні шкіри рук добре помити їх з милом і нанести крем. [6]

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		27

ВИСНОВКИ

Виробництво штучного холоду та здійснення різних технологічних процесів при цих температурах знаходять широке застосування у багатьох галузях народного господарства. Холодильна техніка виявилася необхідною майже всім сферам господарської діяльності. Розвиток деяких галузей не можна уявити без застосування штучного холоду. Тому ця тема є актуальною.

При виконанні даної роботи було проведено літературний огляд щодо тепловикористовувальних теплових машин, а саме пароежекторних холодильних машин. Було проаналізовано принцип дії пароежекторних холодильних машин і також їх схеми.

Ще було проаналізовано схему пароежекторної холодильної машини у складі газоперекачувальної станції. Встановлено, що провадження інтенсивних систем охолодження стисненого газу при його транспорті дозволяє збільшити пропускну спроможність газопроводу на 5-8 %.

Також було розраховано параметри пароежекторної холодильної машини:

Тепловий коефіцієнт $\xi_T = 2,11$

Термічний коефіцієнт $\eta_T = 0,24$

Дійсний тепловий коефіцієнт $\xi_D = 0,214$

Навантаження на повітроохолоджувач $Q_0 = 139,6$ кВт

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондаренко Г.А. Компресорні станції: посібник Ч.1. Повітряні компресорні станції / Г.А.Бондаренко, Г.В.Кирик.– Суми : СумДУ, 2012.– 344 с.
2. Компресорне устаткування в технологіях видобутку вуглеводнів / А.Ф.Булат, Г.В. Кирик, Г.А.Бондаренко та ін.; за заг. ред. акад. НАНУ А.Ф.Булата. – Суми : СумДУ, 2016. – 345 с.
3. Холод в енергетиці і на транспорті : сучасні проблеми кондиціонування та рефрижерації / Збірник наукових праць II Міжнародної науково-технічної конференції. Частина 2. – Миколаїв : НУК, 2013. – 320 с.
4. Тітлов О.С. Холодильне обладнання підприємств харчової промисловості : Навчальний посібник / О.С.Тітлов, Горикін С.Ф. – Львів : Новий Світ -200, 2012. – 286 с.
5. Холодильні установки: Підручник / 6-е вид., перероблене і доповнене /І.Г. Чумак, В.П. Чепурненко, С.Ю. Лар'яновський та ін.; За ред. І.Г. Чумака. –Одеса: Рефпринтінфо, 2006. – 550 с.
6. <https://osvita-docs.com/node/389> Інструкція з охорони праці при експлуатації холодильного обладнання [Електронний інтернет ресурс].
7. ДСТУ EN 1012-1:2018 Компресори та вакуумні насоси. Вимоги щодо безпеки. Частина 1. Компресори.

					К.з 02Б.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		29