

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування»
Освітньо-професійна програма «Холодильні машини і установки»
Тема роботи «Розрахунок пароежекторної холодильної машини
із проектуванням ежектора»

Завідувач кафедри ТТФ	_____	Ванєєв С. М.
Керівник роботи	_____	Козін В. М.
Студент	_____	Штукар О.О.

Суми 2020

Зміст

Вступ.....	3
Завдання і вихідні дані.....	4
Порівняльний аналіз тепловикористовуючих холодильних машин.....	5
Розрахунок одноступеневої пароежекторної холодильної машини, розрахунок прямоструменевого ежектора.....	12
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	18
Висновки.....	20
Список літератури.....	21
Додаток А.....	22

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ					
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	Пояснювальна записка Розрахунок пароежекторної холо- дильної машини із проектуванням ежектора			Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Штукар О.О.						2		
Перевір.		Козін. В.М.								
Н. контр.		Шарапов С. О.						СумДУ, гр. ХК-61		
Затв.		Ванєєв.С.М								

Вступ

Холод штучний, результат охолодження деякого середовища або тіла (об'єкту) нижчий за температуру довкілля, отримуваний унаслідок відведення від них певної кількості теплоти. У промисловості і техніці і отримують головним чином за допомогою холодильних машин і сумішей, що охолоджують .

Холодильне устаткування — це сукупність взаємопов'язаних технічних засобів, холодильних машин, вузлів, агрегатів, елементів, трубопроводів, що необхідні для створення, розподілу і використання холоду.

На даний момент дуже багато різних холодильних установок, за допомогою яких виробляють штучний холод.

В даній роботі пропоную розглянути одну з тепловикористовуючих холодильних машин, а саме пароежекторну холодильну машину.

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						3
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Завдання

Виконати розрахунок одноступеневої пароежекторної холодильної машини відповідно до вихідних даних. За результатами розрахунку розрахувати та спроектувати прямоструменевий ежектор.

Вихідні дані:

- холодопродуктивність $\dot{Q}_0 = 50 \text{ кВт}$;
- температура конденсації $t_k = 30^\circ\text{C}$;
- температура у парогенераторі $t_h = 80^\circ\text{C}$;
- температура навколишнього середовища $t_{н.с} = t_{вл} = 22^\circ\text{C}$;
- температура кипіння $t_0 = 0^\circ\text{C}$.
- холодильний агент – ізопентан R601a;
- коефіцієнт, який ураховує втрати кінетичної енергії пари в соплі на тертя $\varphi_1 = 0,94$;
- коефіцієнти, які враховують втрати на переміщення і тертя пари у камері змішування ежектора $(\varphi_2 \cdot \varphi_3) \leq 0,9$.
- перегрів пари на виході:
 - * з парогенератора та випарника $\Delta t_{пер} = 5^\circ\text{C}$.

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

1. Порівняльний аналіз тепловикористовуючих холодильних машин

Ежекторні холодильні машини представляють приватний випадок компресорних тепловикористовуючих холодильних машин, в яких механічний компресор і механічна турбіна замінені одним елементом – ежектором, який може бути описаний як з'єднання пароструменевого компресора і пароструминних турбіни.

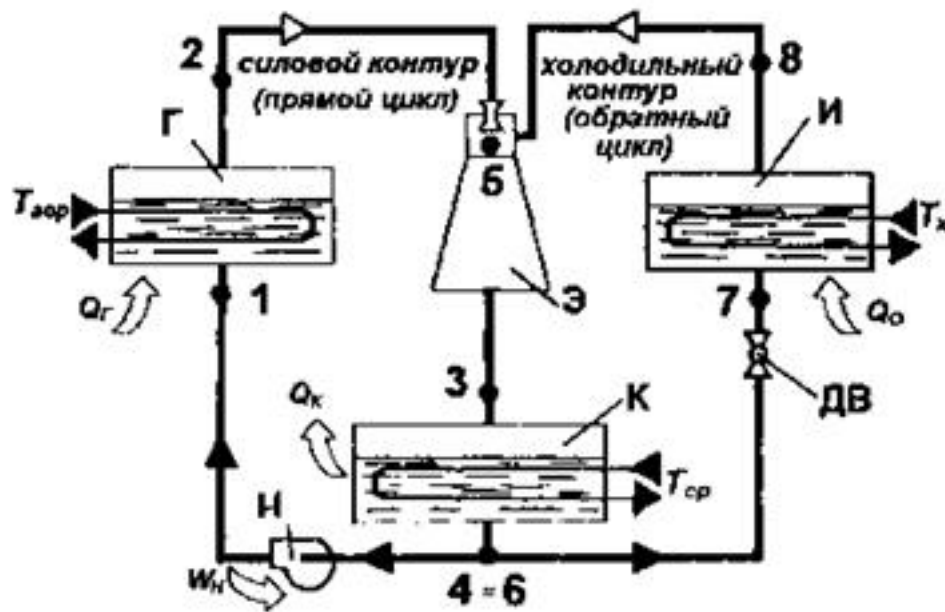


Рис.1.1 Принципова схема ежекторної холодильної машини

Основний недолік пароводяних ежекторних машин заснований на термодинамічних властивостях води: процес конденсації і кипіння робочої речовини (в випарнику) відбувається при тисках нижче 0,1 МПа, отже існує необхідність підтримувати вакуум в цих апаратах. Крім того, обмежений і рівень виробництва холоду тільки зоною позитивних температур.

Ежектор, струменевий апарат, в якому відбувається змішування і обмін енергією двох потоків різних тисків і утворенням змішаного потоку проміжного тиску. При цьому величина проміжного тиску залежить як від

витрат потоків робочої речовини, що знаходяться при високому і низькому тиску, так і від конструкції і пов'язаної з нею ефективністю самого ежектора

Ежектор в холодильній техніці називають пароструменевого компресором.

Ежектори знайшли широке застосування як допоміжні апарати енергетичних установок. Ежектори не мають масштабного фактор, тобто відомі конструкції ежекторів, довжина яких становить десятки метрів. Широко застосовуються також ежектори, довжина яких не перевищує десятків сантиметрів.

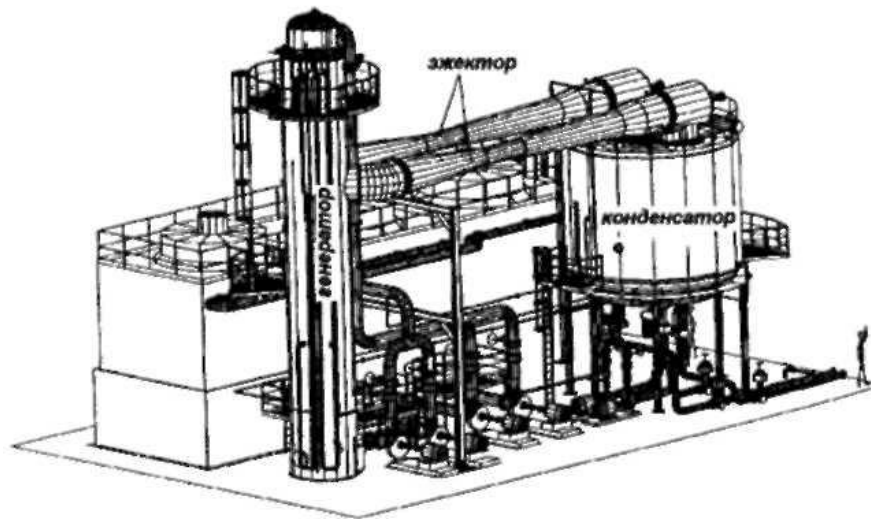


Рис. 1.2 Ежекторна холодильна установка

Ежекторні холодильні машини (телові насоси), незалежно від продуктивності і використовуваного робочого речовини, мають істотний недолік - низькою ефективністю, пов'язаної з великими незворотні в процесах, що протікають в ежекторі. Крім того, ежектор (як і розглянута раніше вихрова труба) вимагає високої частоти обробки внутрішніх поверхонь, що робить його виготовлення досить дорогим.

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Ежектор володіє істотною перевагою перед механічними турбіною і компресором - він не має рухомих частин, отже, надійний і довговічний в експлуатації. Крім того, ежекторні машини, незалежно від використовуваного робочого речовини, не вимагають мастила.

Однією з раціональних областей застосування ежекторних пароводяних холодильних машин в 1950-70-их роках стали системи кондиціонування повітря на підводних човнах. Зрозуміло, що для таких унікальних умов експлуатації (при забезпеченні 100% експлуатаційної надійності, 100% екологічній чистоті приймаємого робочої речовини і т.д.) питання термодинамічної і термoeкономічних ефективності не є визначальними у виборі типу холодильної машини.

1.1 Термодинамічний аналіз ежекторної машини

Ежекторна холодильна машина (тепловий насос) працює наступним чином. Робоча речовина після конденсатора розподіляється по контурах: одна частина рухається по лінії в контурі, що працює по зворотному термодинамічному циклу; інша частина - по лінії в контурі, що працює за прямим термодинамічним циклом.

1.2 «Метод циклів»

Розглянемо процес формування дійсного термодинамічної циклу ежекторний машини, використовуючи «метод циклів».

Цикл Карно-Карно є циклом-зразком також і для аналізу ежекторний холодильної машини (теплового насоса) на підставі наступних положень:

ежекторна машина є тепловикористовуючої, отже, її термодинамічний цикл представляє з'єднання прямого і зворотного циклів;

на першому етапі аналізу абсолютно коректно прийняти, що джерела тепла мають постійні температури і існують ідеальні умови теплопередачі в теплобмінних апаратах.

Ежектор може бути представлений як з'єднання турбіни і компресора.

					XM 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Наступним етапом «методу циклів» повинен стати облік властивостей дійсного робочого речовини, що супроводжується: перенесенням точок 4 = 6 із зони вологої пари на ліву прикордонну криву, а точок 3 і 8 на праву прикордонну криву з відповідним збільшенням витрат і виникненням додаткових незворотніх в процесів нагрівання робочої речовини від точки (переохолоджена рідина) до стану насичення (точка 1).

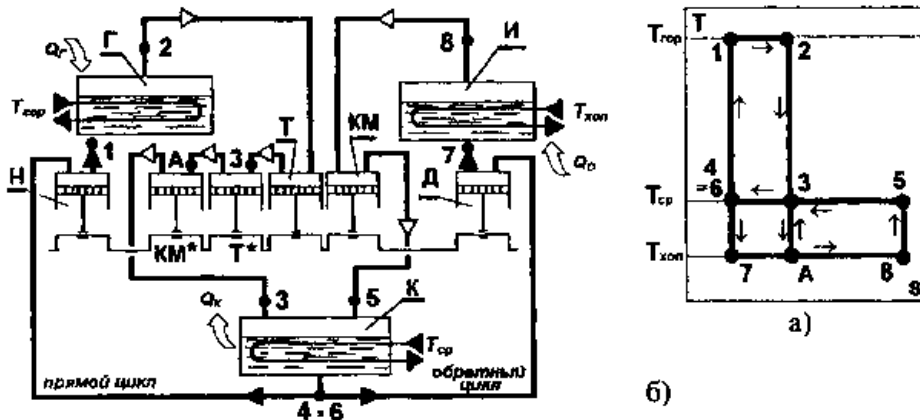


Рис. 1.3 Схема ежекторної машини (а), цикл-образець Карно-Карно(б)

Остаточно всі описані факти дозволяють побудувати цикл ежекторної машини у вигляді.

Незважаючи на те, що ежектор є працездатним в області вологої пари, бажаним є здійснення всіх процесів в ежекторі в зоні перегрітої пари. Цей факт відбивається в «методі циклів» як: необхідність переходу від ізотермічних процесів підведення-відведення тепла до ізобаричний.

Необхідність перегріву робочої речовини в генераторі, що забезпечує кінець розширення в соплі в зоні перегрітої пари.

1.3 Методи підвищення ефективності

Одним з методів підвищення термодинамічної ефективності ежекторних машин є введення процесів регенеративного теплообміну в обидва контури машини. Схема ежекторної машини з двома РТО зображена на рис.21.9. Цик-

лом-зразком для аналізу ежекторної машини з системою РТО буде цикл узагальнений Карно-узагальнений Карно.

Практика застосування пароводяних ежекторних машин довела нецільність системи РТО, оскільки незначне підвищення термодинамічної ефективності тягне за собою істотне підвищення одночасно капітальних і експлуатаційних витрат машини, пов'язаних з необхідністю підтримки вакууму також і в РТО.

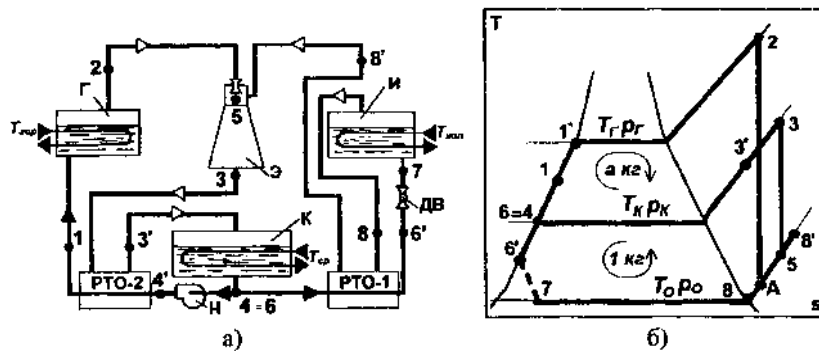


Рис.1.4 Ежекторна машина з регенерацією тепла: а) схема, б)цикл

Ще одним методом підвищення ефективності ежекторної машини є застосування складних ежекторів, в яких здійснюється двоступеневий стиск. Потік робочої речовини з випарника спочатку стискається від p_0 до p'' і далі від p'' до p_k , при цьому використовується потік робочої речовини $p_r = \text{const}$. У цьому випадку тиск кипіння і генерації зберігаються незмінними.

1.4 Пароводяна ежекторна машина

Переваги та недоліки пароводяних ежекторних холодильних машин вже згадувалися раніше. Тепер розглянемо особливості цих машин.

Пароводяна ежекторна холодильна машина може бути будь-якої холодопродуктивності. Виходячи з термодинамічних властивостей води, температура виробництва холоду обмежена 0°C . Температура в генераторі може варіюватися в широкому діапазоні температур, що дозволяє використовувати навіть нетрадиційні джерела енергії.

Пароводяна ежекторна холодильна машина здатна виробляти холод також і при негативних температурах для чого воду, як робочу речовину, замінюють водо-соляними розчинами. Негативним моментом в експлуатації ежекторної машини з водо-соляним розчином є випадання кристалів солі на внутрішній поверхні ежектора, що призводить до додаткових незворотніх в процесів стиснення-розширення в ежекторі, викликаним зміною газодинамічних характеристик цих процесів.

Існують два типи регулювання величин в пароводяних ежекторних холодильних машинах:

При незначній зміні величин (допускають деяке відхилення температурного режиму виробництва холоду). Для систем кондиціонування повітря такий метод цілком допустимий.

При значній зміні величин (наприклад, на 25%) метод регулювання холодопродуктивності повинен бути закладений в конструкцію машини. У цьому випадку конденсатор проектується секційним, причому кожна секція конденсатора має власний ежектор. Пар робочої речовини з одного генератора і одного випарника паралельно подається на ежектори. При зміні холодопродуктивності відключають необхідну кількість блоків «ежектор-конденсатор».

Розглянемо особливість процесів, що відбуваються в випарнику. Вода одночасно є робочою речовиною ежекторної холодильної машини і проміжним холодоносієм. У випарнику відбувається тепло-масообмін між робочою речовиною і холодоносієм. Вода, підігріта в процесі виробництва холоду з охолоджуваного об'єкта виходить у випарник, де розбризкується через форсунки. Краплі води, потрапляючи в розріжений простір, випаровуються, охолоджуючи весь обсяг води, що знаходиться в випарнику. Для забезпечення заданого значення кількість води, що знаходиться в випарнику має відповідати розрахунковим, для чого в машині використовується най-

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

простіший прилад автоматики -поплавковий регулятор рівня, який регулює подачу води (робочої речовини) з конденсатора.

Принцип роботи допоміжних ежекторів повністю збігається з принципом роботи головного ежектора за тим винятком, що потік робочої речовини, що направляється в камеру змішування, знаходиться при рк і представляє суміш повітря і пари води. Тиск у допоміжному конденсаторі РТО буде визначатися геометрією допоміжного ежектора.

1.5 Ежекторні машини

На відміну від інших тепловикористовуючих машин, ежекторні машини є працездатними при використанні досить низьких температур.

Слід зазначити, що ежектор як самостійний елемент, знайшов застосування в деяких спеціальних типах холодильних машин (наприклад, в машині Бадилькеса, в абсорбційних-ежекторних абсорбційних машинах, системі кондиціонування повітря з використанням вихровий труби і т.д.), для яких низька ефективність процесів в ежекторі компенсується експлуатаційною надійністю, можливістю здійснення процесів розширення і стиснення в немеханічному компресорі, тривалим терміном експлуатації і т.д.

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		11

2. Розрахунок одноступеневої пароежекторної холодильної машини, розрахунок прямоструменевого ежектора

2.1 Розрахунок циклу пароежекторної холодильної машини

Знаходимо параметри тиску через температуру.

$$\text{по } t_h = 80^\circ\text{C} \quad \text{визначаємо } p_p = 0,4575 \text{ МПа}; \quad s_p = 1,229 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot \text{К});$$
$$h'' = 424,4 \text{ кДж} / \text{кг}$$

Знаходимо параметри точки 1

$$\text{за } p_p = 0,4575 \text{ МПа} \quad \text{та } t_1 = t_h + \Delta t_{\text{неп}} = 80 + 5 = 85^\circ\text{C} \quad \text{визначаємо стан у т. 1}$$
$$h_1 = 434,8 \text{ кДж} / \text{кг}; \quad s_1 = 1,258 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot \text{К}).$$

Знаходимо параметри точки 7

$$\text{точка 7: } p_7 = p_p = 0,4575 \text{ МПа}; \quad t_7 = t_h = 80^\circ\text{C}; \quad h_7 = h' = 127,4 \text{ кДж} / \text{кг};$$
$$s_7 = 0,387 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot \text{К}).$$

Знаходимо параметри точки 11

$$\text{точка 11: по } t_k = 30^\circ\text{C} \quad \text{визначаємо } p_k = 0,109 \text{ МПа}; \quad \text{за}$$
$$p_{11} = p_k = 0,109 \text{ МПа} \quad \text{та } s_{11} = 1,1435 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot \text{К}) \quad \text{знаходимо}$$
$$h_{11} = 346,6 \text{ кДж} / \text{кг}.$$

Знаходимо параметри точки 2s

$$\text{по } t_0 = 0^\circ\text{C} \quad \text{визначаємо } p_0 = 0,0345 \text{ МПа}; \quad \text{за } p_{2s} = p_0 = 0,0345 \text{ МПа} \quad \text{та}$$
$$s_{2s} = s_1 = 1,258 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot \text{К}) \quad \text{знаходимо } h_{2s} = 342,27 \text{ кДж} / \text{кг}.$$

Знаходимо параметри точки 2

$$h_2 = h_1 - (h_1 - h_{2s}) \cdot \varphi_1^2 = 434,8 - (434,8 - 342,27) \cdot 0,94 = 347,82 \text{ кДж} / \text{кг}.$$

Знаходимо параметри точки 5, так як ентальпія точки 5 = точки 8 маємо

$$h_5 = 5 (\text{кДж} / \text{кг}) = h_8 = 5 (\text{кДж} / \text{кг}) \quad v_5 = 0,00164 (\text{м}^3 / \text{кг}).$$

Знаходимо параметри точки 6 за формулою

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$h_6 = h_5 + l_{Hs} = h_5 + v_5 \cdot (p_p - p_k) = 5 + 0,00164 \cdot (457,5 - 109,2) = 5,57 \text{ кДж / кг}$$

Знаходимо параметри точки 9 по тиску $p_0 = 0,0345 \text{ МПа}$ і степені сухості $x = 1$, знайдемо

$$h_9 = 301,85 \text{ (кДж / кг)} .$$

Знаходимо параметри точки 10 через ентропію, яка в свою чергу має однакові значення в точки 9 і точки 10

по ентропії $s_9 = 1,1165 \text{ (кДж / кг} \cdot \text{K)}$ та тиску $p_k = 0,109 \text{ МПа}$, знайдемо

$$h_{10} = 338,41 \text{ (кДж / кг)} .$$

Питома масова холодопродуктивність циклу

$$q_0 = h_9 - h_8 = 301,85 - 5 = 296,85 .$$

Теоретична

кратність

циркуляції

$$a_T = (h_{10} - h_9) / [(h_1 - h_{11}) - (h_6 - h_5)] = (338,41 - 301,85) / [(434,8 - 382,5) - (5,57 - 5)] = 0,7 .$$

Масова витрата холодного пара

$$G_{x,n} = Q_0 / q_0 = 50 / 296,85 = 0,168 ,$$

$$G_{p,n} = a_T \cdot G_{x,n} = 0,7 \cdot 0,168 = 4,16 .$$

Знаходимо параметри точки 3

$$h_3 = (G_{p,n} \cdot h_{2s} + G_{x,n}) / (G_{x,n} + G_{p,n}) = (4,16 \cdot 342,27 + 0,168) / (0,168 + 4,16) = 329,02 \text{ кДж / кг}$$

Знаходимо параметри точки 4s

по $s_3 = 1,2130 \text{ (кДж / кг} \cdot \text{K)}$ та $p_k = 0,109 \text{ МПа}$, знайдемо

$$h_{4s} = 368,09 \text{ (кДж / кг)} .$$

Задаємося $a_D = 6$ згідно з відношенням дійсних кратностей циркуляції

Для стійкої роботи збільшимо на 10% $a_D = 6,6$

$$u = 1 / a_D = 1 / 6,6 = 0,151 ,$$

$$w_{1s} = 1,41 \sqrt{(h_1 - h_{2s}) \cdot 10^3} = 1,41 \sqrt{(434,8 - 342,27) \cdot 10^3} = 428,9 \text{ м / с} ,$$

$$w_1 = \varphi_1 \cdot w_{1s} = 0,94 \cdot 428,9 = 403,166 .$$

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Задаємося

$$\varphi_2 = 0,975; \varphi_3 = 0,925;$$

$$\Delta h_{Д} = 0,5 \cdot w_1^2 \cdot \left[1 - \left(\varphi_2^2 \cdot \varphi_3^2 \right) / (1+u) \right] = 0,5 \cdot 480,26^2 \cdot \left[1 - \left(0,975^2 \cdot 0,925^2 \right) / (1+0,151) \right] = 33,828 \text{ кДж / кг}$$

$$h_{3Д} = h_2 + \Delta h_{Д} + u \cdot h_9 / (1-u) = (347,82 + 33,828 + 0,151 \cdot 301,85) / (1-0,151) = 503,21 \text{ кДж / кг}$$

Знайдемо

$$w_3 = \varphi_2 \varphi_3 w_1 / (1-u) = 0,975 \cdot 0,925 \cdot 403,166 / (1-0,151) = 428,27.$$

Задаємося

$$w_4 = 70 \text{ м / с.}$$

$$\Delta h_{Д} = 0,5 \cdot w_3^2 - 0,5 \cdot w_4^2 = 0,5 \cdot 428,27^2 - 0,5 \cdot 70^2 = 224,68 \cdot 10^{-6} \text{ кДж / кг.}$$

$$h_4 = h_{3Д} + \Delta h_{Д} = 503,21 + 224,68 = 727,89 \text{ кДж / кг.}$$

Результати визначення термодинамічних параметрів холодильного агента у холодильному циклі заносимо до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Результати термодинамічних параметрів холодильного циклу.

№	T, °C	P, МПа	h	s	x
1	85	0,4575	434,8	1,258	-
2	28,411	0,0345	347,82	1,2765	-
3	17,048	0,0345	329,02	1,2130	-
4	211,01	0,109	727,89	2,1158	-
5	29,955	0,109	5	0,016511	0,00031945
6	30,13	0,4575	5,57	0,016507	-
7	80	0,4575	127,4	0,387	-
8	-0,028	0,0345	5	0,029604	0,18376
9	-0,028	0,0345	301,85	1,1165	1
10	29,955	0,109	338,41	1,1165	0,97625
11	30	0,109	346,6	1,1435	-
2s	0	0,0345	342,27	1,258	-
3д	111,57	0,0345	503,21	1,7297	-
4s	42,276	0,109	368,09	1,258	-

2.2 Розрахунок властивостей пароежекторної холодильної машини

Тепло, підведене до робочої рідини в парогенераторі

$$Q_{\Gamma} = G_{p,n} \cdot (h_1 - h_6) = 4,16 \cdot (434,8 - 5,57) = 1785,5 \text{ кВт}$$

Тепло, відведене від робочої рідини в конденсаторі

$$Q_K = (G_{p,n} + G_{x,n}) \cdot (h_{4s} - h_5) = (4,16 + 0,168) \cdot (368,09 - 5) = 1571,4 \text{ кВт}$$

Термодинамічний коефіцієнт необерненого циклу

$$\eta_t = [(h_1 - h_{11}) - (h_6 - h_5)] / (h_1 - h_6) = [(434,8 - 346,6) - (5,57 - 5)] / (434,8 - 5,57) = 0,2041$$

Холодильний коефіцієнт необерненого циклу

$$\varepsilon_T = (h_9 - h_8) / (h_{10} - h_9) = (301,85 - 5) / (338,41 - 301,85) = 8,11$$

Тепловий коефіцієнт необерненого циклу

$$\xi_T = \varepsilon_T \cdot \eta_t = 8,11 \cdot 0,2041 = 1,65$$

Термічний коефіцієнт оберненого циклу

$$\eta_{t_{36}} = (T_h - T_{o.c}) / T_h = (353 - 295) / 353 = 0,164$$

Холодильний коефіцієнт оберненого циклу

$$\varepsilon_{36} = T_0 / (T_{o.c} - T_0) = 273 / (295 - 273) = 12,4$$

Тепловий коефіцієнт оберненого термічного циклу

$$\xi_{36} = \varepsilon_{36} \cdot \eta_{t_{36}} = 12,4 \cdot 0,164 = 2,033$$

Коефіцієнт зворотності

$$\eta = \xi_T / \xi_{36} = 1,65 / 2,033 = 0,811$$

Масова витрата холодної пари

$$G_{x,n} = Q_0 / [x \cdot r_0 + c \cdot (T_0 - T_{к.в})] = 80 / [0,95 \cdot 2484,5 + 4,182 \cdot (273 - 303)] = 0,00112 \text{ кг / с}$$

Масова витрата робочого пару

$$G_{p,n} = a_D \cdot G_{x,n} = 6,6 \cdot 0,00112 = 0,00739 \text{ кг / с}$$

Об'ємна витрата холодної пари

$$V_{x,n} = G_{x,n} \cdot v_9 = 0,00112 \cdot 0,89353 = 0,001 \text{ м}^3 / \text{с}$$

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Об'ємна витрата робочого пару

$$V_{p.n} = G_{p.n} \cdot v_1 = 0,00739 \cdot 0,079483 = 0,00058 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Теплота, підведена до робочої рідини в парогенераторі

$$Q_{\Gamma} = G_{p.n} \cdot (h_1 - h_6) = 0,00739 \cdot (434,8 - 5,57) = 3,17 \text{ кВт}$$

Теплота, відведена від робочої рідини в конденсаторі

$$Q_K = (G_{p.n} + G_{x.n}) \cdot (h_4 - h_5) = (0,00739 + 0,00112) \cdot (727,89 - 5) = 6,15 \text{ кВт}$$

Дійсний тепловий коефіцієнт

$$\xi_D = Q_0 / Q_{\Gamma} = 80 / 3,17 = 25,23$$

Коефіцієнт оберненості

$$\xi_{3\epsilon} = \xi_D / \xi_{3\epsilon} = 25,23 / 2,033 = 12,41$$

Масова витрата робочої води, циркулюючої через випарник

$$G_{p.\epsilon} = Q_0 / (c_{p.\epsilon} \cdot \Delta T_{p.\epsilon}) = 80 / (4,19 \cdot 3) = 6,36 \text{ кг} / \text{с}$$

Масова витрата охолодженої води, направленої в конденсатор

$$G_{\omega} = Q_{\omega} / (c_{\omega} \cdot \Delta T_{\omega}) = 0,49 / (4,174 \cdot 4) = 0,029 \text{ кг} / \text{с}$$

Теплоємність при середній температурі охолодженої води

$$\Delta T_{\omega} = T_{\omega 2} - T_{\omega 1} = 300 - 295 = 5 \text{ К}$$

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.3 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

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

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 кінцевого 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

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

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

3.Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях [4]

3.1. Загальні положення

1.1. 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.

1.2. Самостійно експлуатувати холодильне обладнання дозволяється особам не молодше 18 років, які пройшли інструктаж з охорони праці, пожежної безпеки, навчання та перевірку знань з електробезпеки для роботи на електроустаткуванні під напругою до 1000 В, з групою допуску по електробезпеці І, при відсутності будь-яких протипоказань за станом здоров'я.

1.3. Працівник повинен мати особисту медичну книжку встановленого зразка, до якої внесено результати медичних обстежень та лабораторних досліджень, відомості про щеплення, перенесені інфекційні захворювання та про проходження професійної гігієнічної підготовки та атестації, допуск до роботи.

3.2. Вимоги безпеки під час роботи

2.1. Завантажувати продукти в холодильник можна не раніше, ніж через 1 годину після часу включення його в електричну мережу.

2.2. Розміщувати, зберігати, заморожувати продукти відповідно до рекомендацій інструкції по використанню холодильника (холодильної шафи, камери).

2.3. Якщо під час роботи в морозильній камері з'явився щільний сніговий наліт, який перевищує 3 мм, якщо його не можливо видалити дерев'яною або пластмасовою лопаткою, що входить до складу комплекту поставки, то холодильник необхідно вимкнути для розморожування і прибирання. Великий

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

сніговий покрив створює перешкоду доступу холоду до продуктів, збільшуючи час охолодження і знижуючи якість продуктів, збільшує витрату електроенергії. Не користуватися для видалення снігового нальоту металевими предметами.

2.4. Розморожування холодильної камери відбувається автоматично — у ході роботи на задній стінці камери утворюється іній, який після відключення компресора перетворюється в краплі води. Утворена вода стікає в потік зливу, по трубці потрапляє в посудину на компресорі і випаровується. Слід періодично контролювати, щоб вода безперешкодно стікала в посудину.

3.3. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

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

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

3.3. 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.

3.4. При травмуванні надати першу допомогу потерпілому, викликати медсестру або транспортувати потерпілого в медичний кабінет установи, при необхідності викликати швидку медичну допомогу, доповісти керівнику.

4. Посилання на джерело знаходиться в списку літератури.

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Висновок

У результаті виконання розрахунку були визначені параметри такі як,

Тепловий коефіцієнт в парогенераторі $Q_G = 1785,5 \text{ кВт}$,

Тепловий коефіцієнт в конденсаторі $Q_K = 1571,4 \text{ кВт}$, масова витрата холодної пари $G_{x.n} = 0,00112 \text{ кг/с}$, масова витрата робочого пару $G_{p.n} = 0,00739 \text{ кг/с}$, об'ємна витрата холодної пари $V_{x.n} = 0,001 \text{ м}^3/\text{с}$, об'ємна витрата робочого пару $V_{p.n} = 0,00058 \text{ м}^3/\text{с}$, масова витрата робочої води, циркулюючої через випарник $G_{p.e} = 6,36 \text{ кг/с}$, масова витрата охолодженої води, направленої в конденсатор $G_o = 0,029 \text{ кг/с}$.

Також розрахував геометричні параметри ежектора: площа вихідного перерізу сопла $f_p = 0,145 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, площа критичного перерізу сопла $f_{kp} = 0,03 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, площа вихідного перерізу сопла $f_{p1} = 0,152 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, площа перерізу циліндричного ділянки камері змішування $f_3 = 0,289 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, площа перерізу конічного ділянки камері змішування $f_2 = 0,578 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, площа перерізу на виході з дифузора $f_c = 0,616 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

З отриманих даних було створене складне креслення ежектора.

Креслення знаходяться на додатковому листі формату А1.

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Список літератури

1. Морозюк Т.В. Теория холодильных машин и тепловых насосов. - Одесса: Студия «Негоциант», 2006. - 712 с. (с приложением).
2. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин: Учеб. пособие для вузов по специальности «Холодильные и компрессорные машины и установки»/Е. М. Бамбуше к. Н. Н. Бухарин, Е. Д. Герасимов и др ; Под общ. ред. И. А. С а к у н а. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1987. — 423 с.: ил..
3. Холодильные машины: Учебн. для «Холодильные машины и установки» И. Н. Кошкин, И. А. Сакун, Е. М. Бамбушек и др.; Под общ. ред. И .А. Сакуна. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 510 с. ил.
4. <https://osvita-docs.com/node/389> Інструкція з охорони праці при експлуатації холодильного обладнання [Електронний інтернет ресурс]

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Додаток А

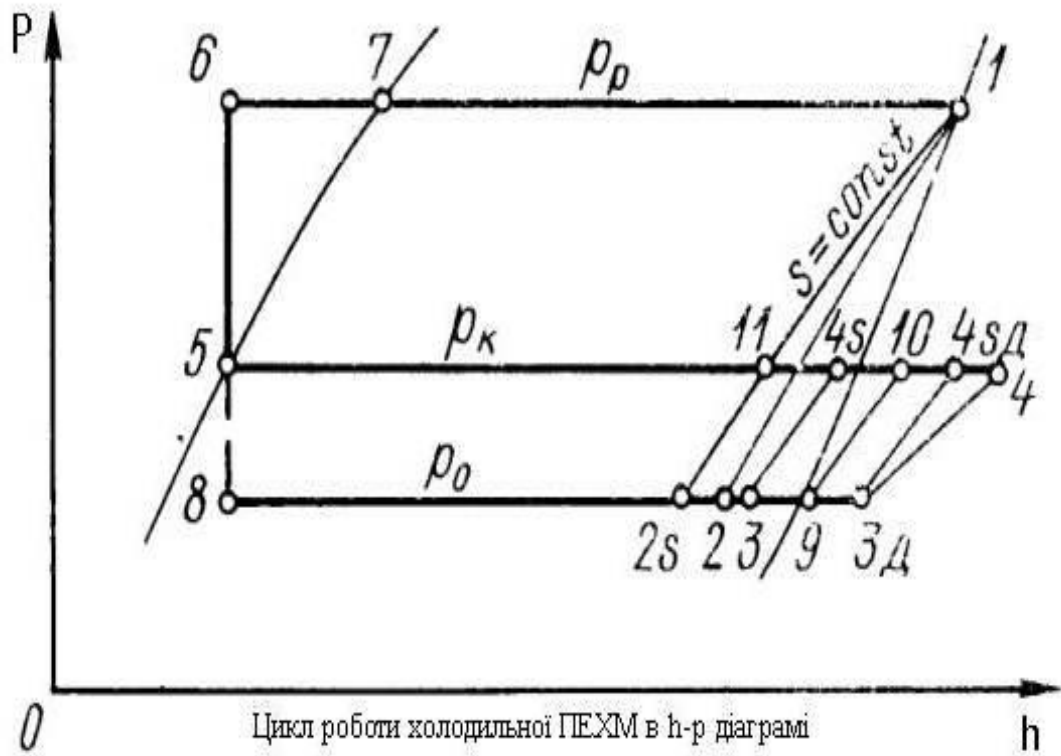


Рис. А.1- Рисунок- термодинамічний цикл ПЕХМ в p-h діаграмі