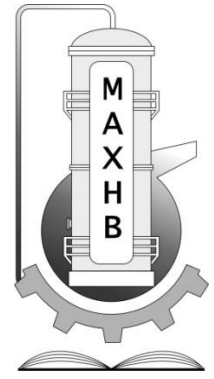


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"**



ДРОСЕЛЮВАННЯ У КАПЛЯРАХ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ

для студентів спеціальності 133 - Галузеве машинобудування

спеціалізація: Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів (Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв)

освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

З ДИСЦИПЛІНИ

“ Холодильна техніка помірного холоду у хімічних у процесах ”

Київ – 2017

Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи для студентів для студентів, які навчаються за програмою професійного спрямування (спеціалізації): Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів (Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв), освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр, з дисципліни “Холодильна техніка помірною холоду у хімічних процесах”: [Електронний ресурс]: / НТУУ „КПІ”; уклад. Двойнос Я.Г. – Київ: НТУУ „КПІ ім. Ігоря Сікорського”, 2017. – 22 с.

*Гриф надано Вченою радою
інженерно-хімічного факультету НТУУ „КПІ”
(Протокол № 8 від 23 жовтня 2017 р.)*

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ до виконання РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ
для студентів спеціальності 133 - Галузеве машинобудування
спеціалізація: Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних
матеріалів (Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних
виробництв), освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр
дисципліна “Холодильна техніка помірною холоду у хімічних процесах”

Укладач: *Двойнос Ярослав Григорович*, канд. техн. наук, ст. викладач

Відповідальний

редактор *А.Р. Степанюк*, канд. техн. наук, доцент

Рецензент *О.Л. Сокольський*, канд. техн. наук, доцент

За редакцією укладача

Зміст

| | |
|---|---|
| ВСТУП _____ | 4 |
| 1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ _____ | 4 |
| 2 ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВУ РОБОТУ _____ | 5 |
| 3 СКЛАД, ОБСЯГ І СТРУКТУРА РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ _____ | 5 |
| 4 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗДІЛІВ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ _____ | 5 |
| 5 ВИМОГИ ДО ФОРМАТУВАННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНИХ ЗАПИСОК _____ | 6 |
| 6 ОФОРМЛЕННЯ ДОДАТКІВ _____ | 7 |
| 7 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ РОБОТИ _____ | 7 |
| 8 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПОРЯДКУ ЗАХИСТУ РОБОТИ _____ | 7 |
| 9 СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ _____ | 8 |
| ДОДАТОК _____ | 9 |

ВСТУП

Шлях до впровадження у виробництво наукових розробок лежить через розрахунки та створення конструкторської документації. Розробка такої документації це творчий процес, який потребує від проектувальника не тільки глибоких знань дисциплін, що викладаються у ВНЗ, але й уміння використовувати їх при проектуванні та в умовах виробництва. Від якості розрахунків, як правило, залежить кінцевий результат наукової розробки, доля нових машин і апаратів.

Методичні вказівки складено у відповідності до ГОСТ 2.105-95.

1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Метою розрахункової роботи є надання студентам певного комплексу знань щодо методів отримання низьких температур; принципів побудови, роботи та розрахунку холодильних машин помірною охолодження. Вивчення матеріалу дисципліни “Холодильна техніка помірною холоду у хімічних процесах” базується на широкому використанні фізичних уявлень та теоретичних положень фундаментальних і загально-інженерних дисциплін, які розкривають фізичну сутність процесів, що протікають при утворенні температур нижчих ніж оточуючого середовища.

Завданнями розрахункової роботи є:

- обрати діаметр капіляра, та розрахувати його довжину;
- виконати розрахунки для заданого перепаду тиску, але для значень холодопродуктивності 50% та 150% від заданої;
- зробити висновки щодо залежності діаметра капіляра та його довжини на холодопродуктивність;
- презентувати виконану роботу.

2 ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВУ РОБОТУ

Завдання видається кожному студенту особисто протягом перших двох тижнів навчання.

Текст завдання підписується студентом, що буде виконувати розрахункову роботу та керівником розрахункової роботи.

Зразок завдання розміщено у Додатку.

3 СКЛАД, ОБСЯГ І СТРУКТУРА РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ

Розрахункова робота складається з розділів і додатку, який містить графічну частину.

Пояснювальна записка складається з розділів, наведених у зразку змісту (Додаток). Орієнтовний обсяг пояснювальної записки 10...15 аркушів формату А4.

Графічна частина складається з T–S діаграми, на якій графічно зображено процес дроселювання, та виписано параметри холодоагенту у початковій та кінцевій точках процесу.

4 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗДІЛІВ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ

При виконанні розділів, необхідно звернути увагу на:

Розділ "**Вступ**".

У вступі коротко надається інформація про процес дроселювання, який рахується ізоентальпійним. Далі у відповідності до змісту роботи ставляться мета та задачі розробки. В кінці вступу вказується, коли було видано завдання на проектування.

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

Розділ "**1 Опис парокомпресійної холодильної машини** "

У розділі наводиться опис парокомпресійної холодильної машини та її схема, обирається холодильний агент, описуються складові машини та процеси, які в них відбуваються.

Приблизний обсяг розділу – 1...2 аркуші.

Розділ "2 Розрахунок процесу дроселювання у капілярі"

У розділі наводиться розрахунки дроселювання у капілярі для холодопродуктивності 50% та 150% від заданої.

Приблизний обсяг розділу – 5...7 аркуші.

Розділ "3 Аналіз розрахункових даних"

Побудувати залежність розрахункових даних (довжина капілярної трубки як функція від холодопродуктивності), та вивести аналітичну залежність.

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

Розділ "Висновки"

Зробити висновок по розрахунках та аналізу результатів.

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

Розділ "Додатки"

Містить графічну частину, яка складається з T–S діаграми, на якій графічно зображено процес дроселювання, та виписано параметри холодоагенту у початковій та кінцевій точках процесу.

Обсяг розділу – 1 аркуш.

Пояснювальна записка для розрахункової роботи має титульний лист, та "завдання на проектування", далі розташовано "Зміст" і розділи пояснювальної записки. Додаток розташовано після всіх розділів. Пояснювальна записка має бути скріплена у будь-який доступний студенту спосіб.

5 ВИМОГИ ДО ФОРМАТУВАННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНИХ ЗАПИСОК

Текст пояснювальної записки розділяють на розділи і підрозділи, відповідно до змісту.

Розділи повинні мати порядкові номери в межах усього документа (частини), позначені арабськими цифрами з крапкою. Підрозділи повинні мати нумерацію в межах кожного розділу. Номер підрозділів складаються з номерів розділів або підрозділу, розділених крапкою. Наприкінці номера розділу або

підрозділу крапка не ставиться. Розділи, як і підрозділи, можуть складатися з декількох пунктів.

Найменування розділів повинні бути короткими. Найменування розділів і підрозділів записують у вигляді заголовків з абзацу прописними літерами (окрімпершої великої літери) напівжирним форматом літер (Приклад 5.1). Використання курсивного форматування, підкреслення та переноси слів у заголовках не допускаються. Крапку наприкінці заголовка не ставлять. Якщо заголовок складається з двох речень, їх розділяють крапкою. Розташовувати назву розділу, підрозділу та тексту на різних сторінках забороняється.

Відстань між заголовком розділу або підрозділу і текстом повинна бути у 3 інтервали. Відстань між заголовками розділу і підрозділу – 1,5 інтервали. Коженрозділ пояснювальної записки починають з нового листа (сторінки). Відстань між попереднім підрозділом та наступним заголовком підрозділу повинна бути 3 інтервали.

Нумерація сторінок повинна бути наскрізна для всієї записки, включаючи додатки.

6 ОФОРМЛЕННЯ ДОДАТКІВ

Додаток в пояснювальній записці виконують на аркуші формату А4. Додаток містить у верхній частині слово "Додаток". В наступній строчці розташовується заголовок додатку "Процес дроселювання у T–S діаграмі".

Для всієї роботи повинна бути наскрізна нумерація аркушів.

7 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ РОБОТИ

Під час виконання розрахункової роботи необхідно виконати рисунок, який накладається поверх наданої T–S діаграми стану фреону R22 .

8 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПОРЯДКУ ЗАХИСТУ РОБОТИ

Пояснювальна записка має бути зброшурована, або скріплена.

Розрахункова робота захищається після перевірки керівником всіх розділів та рисунку, про що свідчать підписи керівника та студента на першому аркуші записки.

9 СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Определение длины капиллярных трубок для дросселирования хладоагентов / В.Н. Эрлихман, Л. Кукелка // Кошалинский политехнический университет. – 2014. – №2. – С. 26 – 34.

2. Диагностика работы дросселирующих устройств малых холодильных установок: учеб. пособие /В.С. Бабакин, В.А. Выгодин, В.Н. Кулагин, С.Б. Бабакин. – Рязань: «Узорочье», 2000. – 136 с.

3. Ейдеюс, Н.И. Гидродинамический расчет капиллярных трубок / Н.И. Ейдеюс, В.Л. Кошелев // Вестник Международной академии холода. – 2008. – №3. – С. 36 – 39.

4. Киселев, П.Г. Гидравлика. Основы механики жидкости / П.Г. Киселев. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.

5. Богданов, С.Н. Холодильная техника. Свойства веществ: справочник / С.Н. Богданов, О.П. Иванов, А.В. Куприянова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 208 с.

6. Кириллин, В.А. Техническая термодинамика: учебник для вузов / В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин. – М.: Энергия, 1974. – 448 с.

ДОДАТОК

Зразок титульного листа розрахункової роботи

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО”**

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

РОЗРАХУНКОВА РОБОТА

З ДИСЦИПЛІНИ:

Холодильна техніка помірною холоду у хімічних у процесах
на тему: **ДРОСЕЛЮВАННЯ У КАПЛЯРНІЙ ТРУБЦІ**

Студента IV курсу, групи ЛН-41 Магдич Ю.М.
спеціальності 133 - Галузеве
машинобудування
спеціалізація: Обладнання хімічних виробництв
та підприємств будівельних матеріалів
(Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та
нафтопереробних виробництв)

Студент : _____ Ю.М. Магдич
(підпис, дата)

Керівник роботи: _____ Я.Г. Двойнос
(підпис, дата)

КИЇВ 2015

Зразок завдання на розрахункову роботу
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО”

ІНЖЕНЕРНО-ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

ЗАВДАННЯ

до розрахункової роботи: ДРОСЕЛЮВАННЯ У КАПІЛЯРІ

студентові _____

1. Тема проекту: ДРОСЕЛЮВАННЯ У КАПІЛЯРНИЙ ТРУБЦІ

2. Термін здачі студентом закінченого проекту: 10 квітня 2018 р.

3. Вихідні дані до проекту: холодоагент – фреон R12; діаметр капілярної трубки $\varnothing 0,65$ мм; номінальна холодопродуктивність 100 кВт; температура конденсації $+27^{\circ}\text{C}$; температура кипіння -20°C .

4. Перелік питань, які мають бути розроблені:

а) навести схему парокомпресійної холодильної машини, складові машини та процеси, які в них відбуваються;

б) розрахувати процес дроселювання у капілярі для холодопродуктивності 50% та 150% від заданої;

в) побудувати залежність розрахункових даних (довжина капілярної трубки як функція від холодопродуктивності), та вивести аналітичну залежність;

г) зробити висновок по розрахунках та аналізу результатів.

д) на T–S діаграмі графічно зобразити процес дроселювання, та вписати параметри холодоагенту у початковій та кінцевій точках процесу.

Завдання прийняв до виконання студент ЛН-41 _____

(підпис, дата)

Керівник розрахункової роботи, к.т.н., ст. викл. _____ Я.Г. Двойнос

(підпис, дата)

Зразок змісту розрахункової роботи

Зміст

| | |
|--|----|
| Вступ | |
| 1 Опис парокомпресійної холодильної машини | 3 |
| 2 Розрахунок процесу дроселювання у капілярі | 5 |
| 3 Аналіз розрахункових даних | 12 |
| Висновки | 13 |
| Додаток | 14 |

Зразок розділу "Вступ"

У малих холодильних машинах, призначених для побутових і торгових холодильників, морозильників, шаф і прилавоків, систем кондиціонування повітря, дроселювання холодоагенту здійснюють в капілярних трубках (КТ) діаметром від 0,5 до 5,0 мм і довжиною до 5 м в залежності від холодопродуктивності холодильної машини.

Особливістю процесу дроселювання холодоагенту в КТ є те, що він відбувається не в місцевому опорі, а за рахунок тертя потоку, і такий процес у технічній термодинаміці називають дроселюванням, "розтягненим" по довжині [6].

З огляду на складності процесу дроселювання, обумовленому утворенням двофазного потоку з змінною по довжині КТ ступенем сухості і іншими параметрами холодоагенту, традиційна розрахункова методика їх підбору дає велику похибку, а вибір характеристик КТ (довжини і діаметру) по номограмам, отриманим на основі експериментальних досліджень [3] ускладнено, тому що такі номограми розроблені тільки для деяких фреонів (R12, R22, R502).

При заданій номінальній холодопродуктивності і діаметрі КТ її довжина повинна забезпечити дроселювання холодоагенту за рахунок тертя від тиску конденсації до тиску кипіння у випарнику p_0 в процесі 1-2 (рисунок 1).

Якщо застосувати КТ довжиною менше, ніж повинна бути, то процес дроселювання холодоагенту завершиться в ній при тиску вище тиску кипіння p_0 в точці (рисунок 1) і процес кипіння у випарнику 2'-3 буде відбуватись з пониженням тиску і температури. При цьому внаслідок загального підвищення температури кипіння і відповідно холодопродуктивності компресора збільшиться пропускна здатність КТ, що може привести до переповнення випарника і, як наслідок, до зниження температури всмоктування і вологому ходу компресора.

При довжині КТ, що перевищує необхідну, процес дроселювання холодоагенту в ньому завершиться в точці 2'' (рисунок 1) при тиску нижче рас-

парного тиску кипіння p_0 . В цьому випадку процес кипіння 2'' – 3 буде відбуватись з підвищенням тиску і температури. Так як при зниженні температури кипіння холодопродуктивність компресора і витрата холодоагенту через КТ зменшуються, то перегрів пари холодоагенту на висмоктуванні в компресор і нагрів його корпусу зростуть.

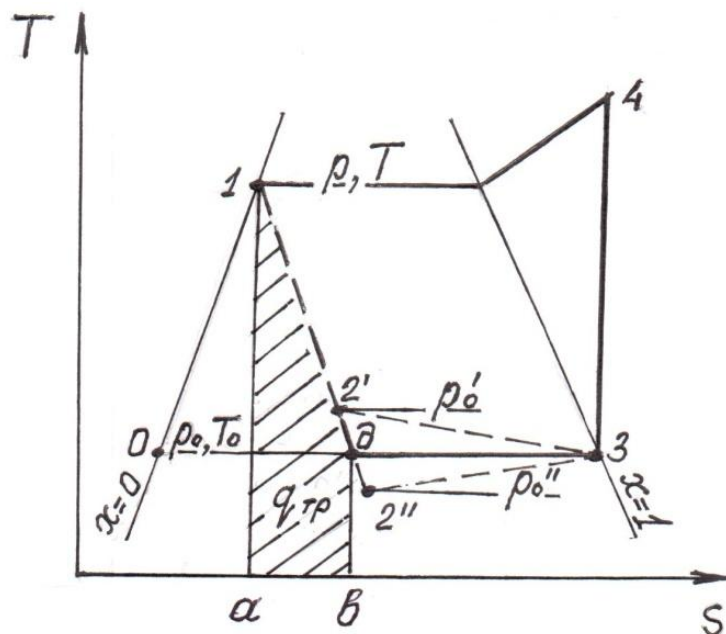


Рисунок 1 – Процес дроселювання холодоагенту в капілярній трубці

Таким чином, неправильний вибір довжини КТ при прийнятому її діаметрі d призводить до порушення температурного режиму охолоджуваного об'єкта і виникнення небезпечних для компресора режимів роботи.

Втрата тиску:

$$\Delta p = p - p_0 = \xi \frac{l w^2}{d 2\nu}, \quad (1)$$

де ξ – коефіцієнт тертя; w – швидкість холодоагенту в КТ, м/с; ν – питомий об'єм холодоагенту в КТ, м³/кг.

Перебіг дроселюемого двофазного потоку холодоагенту в КТ, в процесі якого знижуються його тиск і температура, збільшується ступінь сухості, питомий об'єм і, внаслідок незворотності процесу, ентропія, можна розглядати як адіабатна течія гомогенного середовища при деякій постійній

середній температурі T_{cp} . Тоді при прийнятому внутрішньому діаметрі КТ і заданому Δp її довжина, як впливає з формули (1), повинна скласти

$$l = \frac{2\Delta p v_{cp} d}{\xi w_{cp}^2}, \quad (2)$$

де v_{cp} и w_{cp} – питомий об'єм та швидкість холодоагенту при середній температурі T_{cp} .

Коефіцієнт тертя для потоку холодоагенту, с врахуванням шорсткості труб Δ може бути розраховано за формулою Д.А. Альтшуля [5]

$$\xi = 0,11 \left(1,46 \frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (3)$$

де $Re = \frac{w_{cp} d}{v_{cp}}$ – критерій Re , в якому v_{cp} – коефіцієнт кінематичної в'язкості холодоагенту при T_{cp} , m^2/c .

Для тягнутих труб з латуні, міді $\Delta = 0,0015 \dots 0,01$ мм.

Для визначення усереднених параметрів холодоагенту в незворотному процесі дроселювання через тертя скористаємося властивістю $T-S$ діаграми, згідно з яким для розглянутого випадку теплота тертя і еквівалентна їй робота тертя можуть бути наближено визначені площею трапеції $a-1-d-v-a$:

$$q_{mp} = l_{mp} = \text{пл. } a-1-d-v-a = \frac{1}{2} (S_d - S'_1) (T + T_0), \quad (4)$$

де S'_1 – ентропія рідкого холодоагенту в насиченому стані за температури T , Дж/(кг·К); S_d – ентропія холодоагенту на виході з КТ за температури T_0 , Дж/(кг·К).

С іншого боку, робота тертя в процесі дроселювання може бути представлена у вигляді формули

$$l_{mp} = \Delta p v_{cp}. \quad (5)$$

Тоді з формул (4) та (5) отримано вираз для визначення середнього питомого об'єму в процесі дроселювання

$$v_{cp} = \frac{(S_d - S'_1) (T + T_0)}{2\Delta p}. \quad (6)$$

Ентропія холодоагенту в кінці процесу дроселювання за правилом

адитивності

$$S_{\vartheta} = S'_0 + x(S''_3 - S'_0), \quad (7)$$

де S'_0 – ентропія рідкого холодоагенту у насиченому стані за температури T_0 , Дж/(кг·К); S''_3 – ентропія сухої насиченої пари холодоагенту за температури T_0 , Дж/(кг·К); x – ступінь сухості холодоагенту після дроселювання.

Так як ентальпія холодоагенту на початку процесу дроселювання h'_1 а по закінченню h_{ϑ} дорівнюють, то за правилом адитивності

$$x = \frac{h_{\vartheta} - h'_0}{h''_3 - h'_0} = \frac{h'_1 - h'_0}{h''_3 - h'_0}, \quad (8)$$

де h'_0 і h''_3 ентальпії холодоагенту в стані насиченої рідини і сухої насиченої пари при температурі T_0 , Дж/кг.

При заданій холодопродуктивності Q_0 і температурному режимі роботи холодильної машини кількість циркулюючого холодоагенту, або необхідна пропускна здатність КТ

$$G = \frac{Q_0}{h''_3 - h_{\vartheta}} = \frac{Q_0}{r(1-x)}, \quad (9)$$

де r – теплота пароутворення, Дж/(кг·К).

Тоді середня швидкість двофазного потоку у КТ в процесі дроселювання від p до p_0 буде дорівнювати

$$w_{cp} = \frac{GV_{cp}}{f}. \quad (10)$$

Для визначення критерію Re і коефіцієнта тертя ξ необхідно попередньо обчислити коефіцієнт кінематичної в'язкості і ступінь сухості холодоагенту при середній температурі, яка відповідає середньому питомому об'єму V_{cp} на лінії процесу дроселювання.

Для цього діапазон робочих температур від T до T_0 слід розділити на інтервали і для кожного значення температури T_i визначити ступінь сухості x_i і питомий об'єм V_i холодоагенту при його дроселюванні при $h'_1 = \text{const}$ по рівняннях

$$x_{Ti} = \frac{h'_1 - h'_{Ti}}{h''_{Ti} - h'_{Ti}}, \quad (11)$$

де h'_{Ti} та h''_{Ti} – ентальпія холодоагенту в стані насиченої рідини і сухого насиченої пари при температурі T_i , Дж/кг; v'_{Ti} і v''_{Ti} – питомий об'єм холодоагенту в стані насиченої рідини і сухого насиченої пари при температурі T_i , м³/кг.

Після визначення інтервалу температур, в який потрапляє величина V_{cp} , і приймаючи зміна теплофізичних характеристик в ньому, що підкоряються лінійної залежності, неважко знайти середню температуру T_{cp} , відповідну середньому питомій обсягом V_{cp} .

Для середньої температури розраховують ступінь сухості x_{cp} і коефіцієнт кінематичної в'язкості за формулами

$$x_{cp} = \frac{h'_1 - h'_{T_{cp}}}{h''_{T_{cp}} - h'_{T_{cp}}}, \quad (12)$$

$$v_{cp} = v'_{T_{cp}} + x_{cp} (v''_{T_{cp}} - v'_{T_{cp}}), \quad (13)$$

де $h'_{T_{cc}}$ і $h''_{T_{cc}}$ – ентальпія холодоагенту в стані насиченої рідини і сухого насиченої пари при середній температурі T_{cp} , Дж/кг; $v'_{T_{cp}}$ і $v''_{T_{cp}}$ – кінематична в'язкість холодоагенту в стані насиченої рідини і сухого насиченої пари при середній температурі T_{cp} , м²/с.

Представлені вище залежності дозволяють визначити усереднені параметри потоку холодоагенту в процесі дроселювання і в кінцевому підсумку довжину КТ залежно від режиму роботи холодильної машини, її холодопродуктивності, типу холодоагенту і прийнятого діаметра КТ.

Зразок розділу "Розрахунок процесу дроселювання у капілярі"

розрахункової роботи

Холодопродуктивність $Q_0 = 1000$ Вт. Холодоагент – фреон R22, температура конденсації дорівнює температурі переохолодження і складає $t = t_u = 30^\circ\text{C}$. Температура кипіння $t_0 = -30^\circ\text{C}$. Діаметр КТ $d = 2$ мм.

Для прийнятого режиму роботи по таблицям властивостей фреону R22 [5]: $p = 1,1913$ МПа, $p_0 = 0,01640$ МПа, $h'_1 = 536,4$ кДж/кг, $h'_0 = 465,7$ кДж/кг, $h''_3 = 692,2$ кДж/кг, $r = 2265,1$ кДж/кг, $s'_1 = 1,1244$ кДж/(кг·К), $s'_0 = 0,8681$ кДж/(кг·К), $s''_3 = 1,7994$ кДж/(кг·К).

Степінь сухості холодоагенту в кінці процесу дроселювання за формулою (8)

$$x = \frac{h'_1 - h'_0}{h''_3 - h'_0} = \frac{536,4 - 465,7}{692,2 - 465,7} = 0,312.$$

Ентропія холодоагенту в кінці процесу дроселювання за формулою (7)

$$s_3 = s'_0 + x(s''_3 - s'_0) = 0,8681 + 0,312(1,7994 - 0,8681) = 1,1587 \text{ кДж/(кг·К)}.$$

Питома робота тертя за формулою (4)

$$l_{mp} = \frac{1}{2} (v_0 - v'_1)^2 + T_0 \left[\frac{1}{2} (s_{1587} - s_{1244}) \left(\frac{273 + 30}{273} \right) + (s_{73} - s_{30}) \right] = 9,200 \text{ кДж/кг} = 9,200 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}.$$

Заданий перепад тиску при дроселюванні в КТ

$$\Delta p = p - p_0 = 1,1913 - 0,01640 = 1,0273 \text{ МПа} = 1,0273 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Середній питомий об'єм холодоагенту в процесі дроселювання за формулою (6)

$$V_{cp} = \frac{l_{mp}}{\Delta p} = \frac{9,200 \cdot 10^3}{1,0273 \cdot 10^6} = 8,956 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Необхідна пропускна спроможність КТ за формулою (9)

$$G = \frac{Q}{r(1-x)} = \frac{1000}{226,5(1-0,312) \cdot 10^3} = 6,417 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}.$$

Середня швидкість двофазного потоку в КТ за формулою (10)

$$w_{cp} = \frac{GV_{cp}}{f} = \frac{4GV_{cp}}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 6,417 \cdot 10^{-3} \cdot 8,956 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2} = 18,303 \text{ м/с}.$$

Для визначення середньої температури, що відповідає середньому питомій обсягом, складемо таблицю властивостей дроселюємого холодоагенту в діапазоні температур мінус 5 ... 5°C з використанням даних, наведених в довіднику [5], і формул (12) і (13) для розрахункового визначення ступеня сухості і питомого об'єму.

Таблиця 1. Властивості дроселіруємого фреону R22

| t_i , °C | h' , кДж/ кг | h'' , кДж/ кг | r , кДж/ кг | $x_i = \frac{h'_1 - h_2}{h'' - h''}$ | $V' \cdot 10^3$, м ³ /кг | $V'' \cdot 10^3$, м ³ /кг | $V = V'_i + x \times$ $\times (V''_i - V'_i) \cdot 10^3$ м ³ /кг |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------------------|---|--|---|
| -5 | 494,2 | 702,6 | 208,4 | 0,202 | 0,7698 | 55,157 | 11,756 |
| 0 | 500,0 | 704,4 | 204,4 | 0,178 | 0,7800 | 46,992 | 9,006 |
| 5 | 505,9 | 706,2 | 200,3 | 0,152 | 0,7905 | 40,258 | 6,801 |

З табл. 1 видно, що величина середнього питомого об'єму дроселюємого холодоагенту $V_{cp} = 8,956 \cdot 10^{-3}$ м³/кг знаходиться в діапазоні температур 0 ... 5°C.

Неважко показати, що рівняння залежності питомої обсягу дроселюємого холодоагенту від температури в цьому діапазоні температур має вигляд

$$V_x = (0,441t + 9,006) \cdot 10^{-3}.$$

Звідси випливає, що середня температура дроселюємого потоку холодоагенту складе

$$t_{cp} = -\frac{V_{cp} \cdot 10^3 - 9,006}{0,441} = -\frac{8,956 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 - 9,006}{0,441} = +0,11^\circ\text{C},$$

яка практично дорівнює середньоарифметичному значенню температури холодоагенту на початку та наприкінці процесу дроселювання:

$$t_{cpa} = \frac{+30 + (-30)}{2} = 0,0^\circ\text{C}.$$

Ентальпія фреону R22 при середній температурі $t_{cp} = 0^\circ\text{C}$ [5] в стані:

насиченою рідини $h' = 500,0$ кДж / кг;

сухого насиченої пари $h'' = 704,4$ кДж / кг.

Ступінь сухості дроселюємого холодоагенту при середній температурі $t_{cp} = 0^\circ\text{C}$ за формулою (13)

$$x_{cp} = \frac{h'_1 - h'_{tcc}}{h''_{tcc} - h'_{tcc}} = \frac{536,4 - 500,0}{704,4 - 500,0} = 0,178.$$

Коефіцієнти кінематичної в'язкості фреону R22 при середній температурі $t_{cp} = 0^\circ \text{C}$ [2] в стані:

насиченої рідини $\nu'_{icc} = 0,208 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{кг}$;

сухого насиченої пари $\nu''_{icc} = 0,563 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Коефіцієнт кінематичної в'язкості фреону R22 при середній температурі $t_{cp} = 0^\circ \text{C}$ за формулою (14)

$$\nu_{cp} = \nu'_{icc} + x_{cp} (\nu''_{icc} - \nu'_{icc}) = 0,208 + 0,178 (0,563 - 0,208) \cdot 10^{-6} = 0,271 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Критерій Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{w_{cp} d}{\nu_{cp}} = \frac{18,303 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{0,271 \cdot 10^{-6}} = 135,077 \cdot 10^3.$$

Коефіцієнт тертя за формулою А.Д. Альтшуля [4] при шорсткості $\Delta = 0,002 \text{ мм}$

$$\xi = 0,11 \left(1,46 \frac{\Delta}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25} = 0,11 \left(1,46 \frac{0,002}{2} + \frac{68}{135,077 \cdot 10^3} \right)^{0,25} = 0,023 = 2,3 \cdot 10^{-2}.$$

Довжина КТ за формулою (2)

$$l = \frac{2 \Delta p \nu_{cp} d}{\xi w^2} = \frac{2 \cdot 1,0273 \cdot 10^6 \cdot 8,956 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{2,3 \cdot 10^{-2} \cdot 18,303^2} = 4,77 \text{ м}.$$

Аналогічні розрахунки по визначенню довжини КТ були виконані для холодопродуктивності Q_0 500 і 1500 Вт і діаметра КТ $d=1 \text{ мм}$. Такі ж розрахунки були зроблені для тих же холодопродуктивності і діаметрів КТ, але при $p = 1,1913 \cdot 10^6 \text{ Па}$ і $p_0 = 0,498 \cdot 10^6 \text{ Па}$ ($t_0 = 0^\circ \text{C}$). Результати обчислень представлені в табл. 2.

Дані табл. 2 свідчать, що холодопродуктивність холодильної машини, перепад тиску і діаметр КТ істотно впливають на довжину КТ.

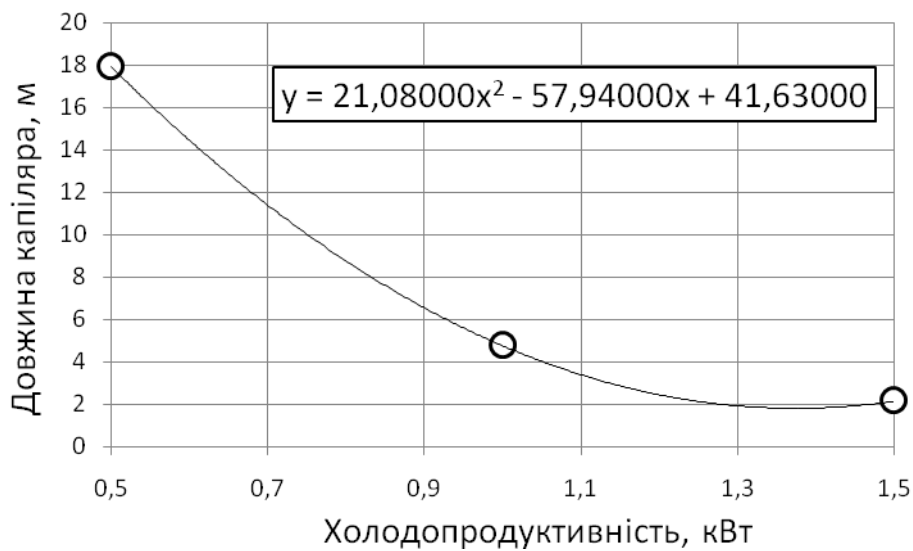
При заданому режимі роботи холодильної машини ($\Delta p = p - p_0$) і діаметрі КТ зі збільшенням холодопродуктивності збільшується кількість циркулюючого холодоагенту і його швидкість в КТ, що призводить, як випливає з виразу (2), до зменшення довжини КТ. З виразу (2) також випливає, що зі зменшенням діаметра КТ скорочується її довжина.

Таблиця 2. Довжина капілярної трубки при різних її діаметрах і умовах роботи холодильної машини (холодоагент – фреон R22)

| Холодопродуктивність холодильної машини Q_0 , Вт | Длина капиллярной трубки l , м | | | |
|--|---|--------|--|--------|
| | $p = 1,1913$ МПа ($t_0 = +30$ °С) $p_0 = 0,1640$ МПа ($t_0 = -30$ °С) $\Delta p = p - p_0 = 1,0273$ МПа | | $p = 1,1913$ МПа ($t_0 = +30$ °С) $p_0 = 0,498$ МПа ($t_0 = 0$ °С) $\Delta p = p - p_0 = 0,6933$ МПа | |
| | d=1 мм | d=2 мм | d=1 мм | d=2 мм |
| 500 | 0,52 | 17,93 | 0,95 | 31,29 |
| 1000 | 0,13 | 4,77 | 0,25 | 8,55 |
| 1500 | 0,06 | 2,15 | 0,11 | 3,94 |

Збільшення розрахункового перепаду тиску $\Delta p = p - p_0$, виходячи з виразу (2), повинно привести до збільшення довжини КТ. Однак цього не відбувається, тому що зі збільшенням перепаду тиску і, відповідно, температур при рівних тисках конденсації збільшуються кількість циркулюючого холодоагенту і його швидкість в КТ. Так, при $Q_0 = 1000$ Вт і діаметрі КТ $d = 2$ мм при $\Delta p = 1,0273$ МПа $G = 6,417 \cdot 10^{-3}$ кг/с і $w = 18,33$ м/с, а при $\Delta p = 0,6933$ МПа $G = 5,952 \cdot 10^{-3}$ кг/с і $w = 6,93$ м/с. При цьому зменшення швидкості потоку в КТ, величина якої входить у вираз (2) в знаменнику в квадраті, надає більш сильний вплив, ніж збільшення перепаду тисків.

Зразок розділу "3 Аналіз розрахункових даних "



Висновки:

1. Визначено вплив холодопродуктивності і режиму роботи холодильної машини, а також діаметра капілярної трубки на її довжину.

Зразок додатку

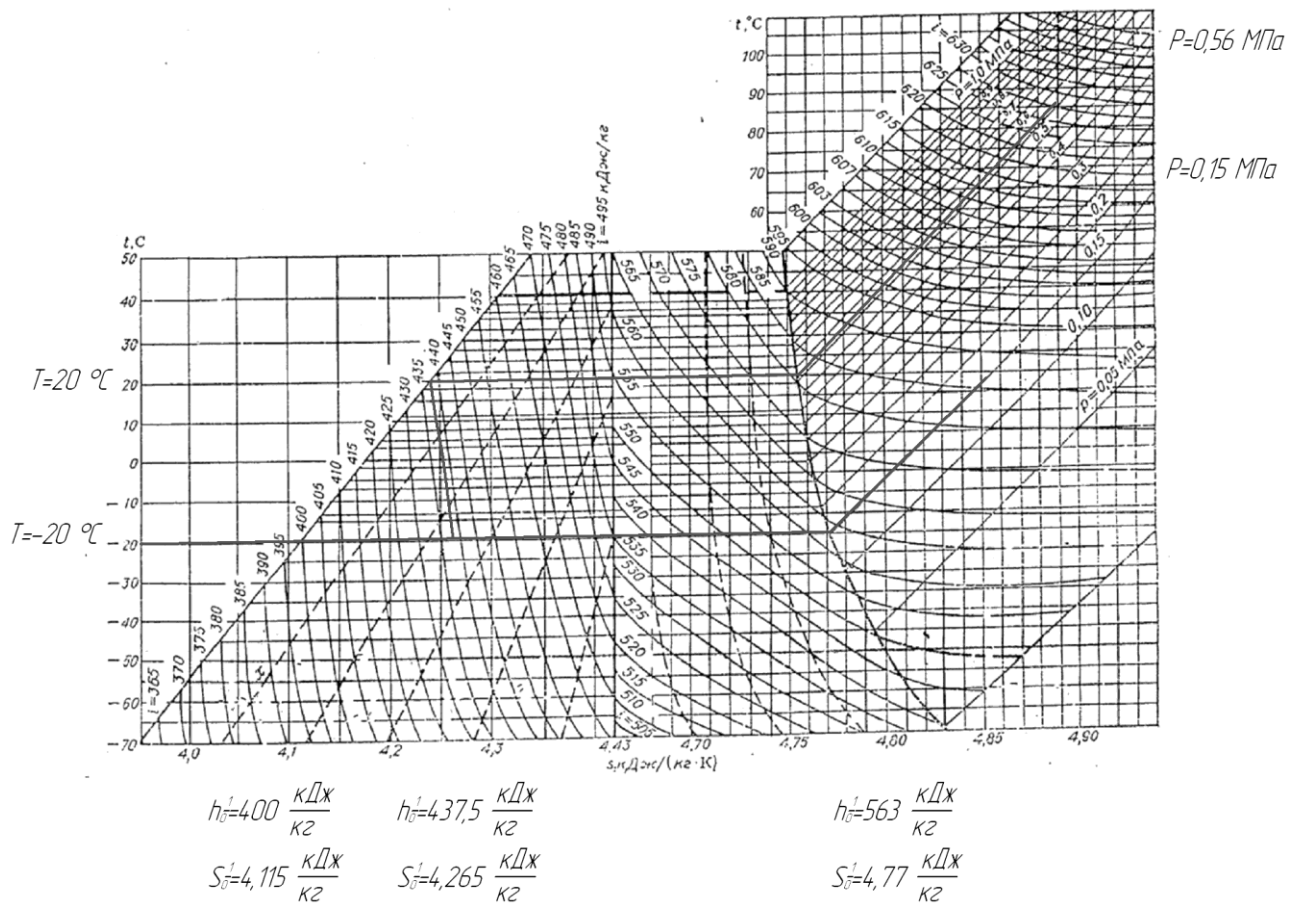


Рисунок 1 – процес дроселювання на T–S діаграмі R12