

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Донецький національний університет економіки і  
торгівлі імені Михайла Туган-Барановського

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

**О. В. Омельченко**

**ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ**

**Методичні рекомендації  
до виконання курсової роботи**

Ступінь: бакалавр

**Кривий Ріг  
2020**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Донецький національний університет економіки і  
торгівлі імені Михайла Туган-Барановського

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

**О. В. Омельченко**

## **ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ**

### **Методичні рекомендації до виконання курсової роботи**

Ступінь: бакалавр

Затверджено на засіданні  
кафедри загальноінженерних  
дисциплін та обладнання  
Протокол № 8  
від «20» січня 2020 р.

Схвалено навчально-методичною  
радою ДонНУЕТ  
Протокол № 5  
від «28» лютого 2020 р.

**Кривий Ріг  
2020**

УДК 621.56/.59(076)

О 57

**Омельченко О.В.**

**О 57** Холодильні установки [Текст] : метод. рекомендації до виконання курсової роботи / О.В. Омельченко; Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, каф. загальноінженерних дисциплін та обладнання. – Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2020. – 31 с.

В методичних рекомендаціях до виконання курсової роботи з дисципліни «Холодильні установки» визначено ціль, задачі, загальні вимоги до виконання та оформлення курсової роботи.

**УДК 621.56/.59(076)**

© Омельченко О.В., 2020  
© Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, 2020

## ЗМІСТ

Передмова	5
1. Загальні рекомендації щодо виконання курсової роботи	6
2. Тематика курсових робіт	6
3. Завдання розрахункової частини курсової роботи	7
4. Структура і зміст курсової роботи	20
5. Оформлення курсової роботи	22
6. Критерії оцінювання курсової роботи	22
7. Література	25
Додаток	26

## ПЕРЕДМОВА

Курсову роботу з дисципліни «Холодильні установки» виконують студенти як підсумок при завершенні вивчення дисципліни. Курсова робота навчає студентів працювати з технічною літературою, розвиває навички самостійного отримання і накопичення знань. Виконання курсової роботи з дисципліни «Холодильні установки» є важливим засобом формування у студентів стійких професійних компетентностей.

*Мета виконання курсової роботи* — здобуття студентами навиків самостійної роботи і закріплення знань та умінь, що одержані при вивченні спеціальних дисциплін, а також формування навиків самостійного рішення задач при проектуванні установок для отримання штучного холоду. Курсова робота дає можливість установити ступінь засвоєння навчального матеріалу та вміння студентів застосовувати знання, які були отримані при проходженні практик.

Робота студента над літературою вчить його логічно мислити, узагальнювати опрацьований матеріал, викладати свої думки з приводу прочитаного і творчо пов'язувати теорію із практикою. Така робота дає студентам навички наукового пошуку і самостійного викладу тексту курсової роботи.

## **1. ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ**

Процес виконання курсової роботи складається з декількох етапів:

1. Вибір теми курсової роботи, визначення її структури та попередні розрахунки відповідно до заданої конструкції холодильної установки.
2. Робота зі спеціальною технічною вітчизняною та зарубіжною технічною літературою, довідковими даними за обраною темою.
4. Оформлення курсової роботи.
5. захист курсової роботи.

Кожний вид роботи має часові межі згідно з індивідуальним графіком (Додаток), що надається кожному студенту та потребує узгодження з керівником курсової роботи. Невиконання графіку може спричинити зниження оцінки за курсову роботу.

Загальні вимоги до курсової роботи:

- актуальність;
- високий теоретичний рівень роботи;
- комплексність дослідження;
- самостійність та оригінальність конструкторського рішення;
- використання реальних даних;
- точність, грамотність оформлення роботи;
- практична значущість результатів, обґрунтованість висновків та пропозицій.

## **2. ТЕМАТИКА КУРСОВИХ РОБІТ**

Тема курсової роботи погоджується з керівником. Тематика курсових робіт з дисципліни «Електрообладнання енергетичних установок» складається з наступних блоків, що дозволяють поглибити знання з дисципліни та виявити її практичну значущість:

1. Розрахунок холодильної установки для зберігання продуктів заданої холодопродуктивності.
2. Розрахунок холодильної установки з заданим об'ємом для зберігання.
3. Розрахунок побутового холодильника з заданим об'ємом морозильної камери та холодоагентом.
4. Розрахунок абсорбційної холодильної установки для охолодження промислового приміщення до заданої температури.
5. Розрахунок середньотемпературної холодильної установки для зберігання овочевої сировини з заданою холодопродуктивністю і температурою зберігання.
6. Розрахунок парової компресійної холодильної установки для охолодження рідини до заданої температури

Курсова робота складається з теоретичної, аналітичної, проблемно-питальної та практично-розрахункової частин відповідно до одного із основних блоків тем курсу. Номер завдання з кожної теми курсової роботи визначається

викладачем. Слід мати на увазі, що роботи, які не відповідають тематиці курсових робіт, рецензуванню не підлягають.

### 3. ЗАВДАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ ЧАСТИНИ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Розрахувати і вибрати типові одноступінчасті компресійні холодильні установки холодопродуктивністю  $Q$  для отримання холоду при температурі  $t$ . Холодильні установки працюють на різних хладагентах. Температуру охолоджуючої води прийняти  $t = 20^{\circ}\text{C}$ . Варіанти завдань представлені в таблиці 1.1. Використовуючи спеціальну літературу, описати параметри і властивості холодоагенту, зазначеного в варіанті завдання.

Всі типи холодильних установок можна класифікувати по ряду подібних ознак. Кожен з них відображає лише одну характерну особливість установки, тому у визначенні холодильної установки може бути два і більше ознаки. Холодильні установки або станції можуть відрізнятися за такими показниками (ознаками).

За призначенням: стаціонарні та пересувні з централізованим і децентралізованим охолодженням для холодопостачання, тепlopостачання, змішаного тепло- і холодопостачання, для акумулювання теплової енергії та її транспорту і утилізаційні енергоустановки.

За продуктивністю холодильні установки підрозділяються: великі - продуктивністю понад 3,0 МВт; середні - до 1,00 МВт, дрібні - до 60 кВт.

За температурним режимом холодильні установки підрозділяються: високотемпературні ( $+10 -10^{\circ}\text{C}$ ), середньотемпературні ( $+5 -20^{\circ}\text{C}$ ) і низькотемпературні ( $-20 -120^{\circ}\text{C}$ ).

По режиму роботи підрозділяються: стаціонарні, нестаціонарні, безперервні або циклічні, нестаціонарні з акумулятором теплової енергії.

По виду холодильного агента поділяються: аміачні, фреонові, метанова, пропанові, вуглекислотні, на сумішах холодильних агентів.

По виду охолодження підрозділяються: з безпосереднім, проміжним охолодженням.

Розрахункова частина.

1) Розрахувати теоретичний робочий цикл холодильної компресійної установки по T-S і i-IgP діаграмі. Визначити параметри в характерних точках схеми, теплові навантаження апаратів, холодильний коефіцієнт і ККД установки;

2) Розрахувати дійсний цикл і вибрати компресор, визначити споживану потужність і вибрати електродвигун для компресора;

3) Визначити холодопродуктивність при різних режимах роботи;

4) Провести тепловий, гідравлічний та конструктивний розрахунок та вибрати типовий конденсатор;

5) Підібрати допоміжне обладнання: випарник, масловіддільник, ресивер, переохолоджувач, повітряохолодувач, фільтр, труби, трубні з'єднання, арматуру і регулятори температури, тиску і витрати холодоагенту.



Далі проводять лінії 2-2' (охолодження перегрітої пари до  $t_k$ ), 2'-3 (конденсація пара); 3-4 (переохолодження конденсату).

Точка 4 характеризує стан холодоагенту перед регулюючим вентиляем. Вона визначається перетином ізобари  $p$  до 3 ізотермою  $t$  п. В закінчення проводять лінію 4-5 (процес дроселювання при  $i = \text{const}$ ).

Проводять розрахунок побудованого циклу. З діаграми визначають ентальпію сухого пара, що всмоктується компресором  $i_1$ , кДж/кг; ентальпію в кінці стиснення  $i_2$ , кДж / кг; ентальпію рідкого холодоагенту перед регулюючим вентиляем  $i_4 = i_5$ , кДж / кг; питома обсяг всмоктуваного пара,  $m^3/\text{кг}$ .

За цими даними знаходять:

- холодопродуктивність 1 кг холодоагенту

$$q_0 = i_1 - i_5, \text{ кДж/кг}$$

- питому теоретичну роботу стиснення в компресорі

$$l = \frac{i_2 - i_1}{\eta_i}, \text{ кДж/кг}$$

де  $i_2$  - ентальпія парів холодоагенту на виході з компресора, визначається за формулою

$$i_2 = i_1 + \frac{l_a}{\eta_i} = i_1 + \frac{i'_2 - i_1}{\eta_i}$$

- тепло, що віддається 1 кг холодоагенту в конденсаторі,

$$q = q_0 + l, \text{ кДж/кг}$$

- теоретичний холодильний коефіцієнт циклу

$$\varepsilon_d = \frac{q_0}{l},$$

- кількість холодоагенту, що надходить у випарник

$$G = 3,6 \frac{Q_0}{q_0} \text{ кг/год}$$

- теоретичну потужність, затрачену в компресорі

$$N_m = \frac{Q_0}{1000 \varepsilon_m}$$

- обсяг парів холодоагенту, всмоктується компресором,

$$V = G v_1, \text{ м}^3/\text{год}$$

де  $v$  - питома об'єм пари холодоагенту на виході з випарника; теплове навантаження конденсатора

$$Q = Q_0 \frac{\varepsilon_m + 1}{v_1}, \text{ Вт}$$

Об'ємну холодопродуктивність холодильного агента (при стандартних умовах)

$$q_{ye} = \frac{q_0}{v_1}, \text{ кДж / м}^3$$

Для заданого типу холодоагенту перевіряють граничні параметри  $t$  і  $p$ , за межами яких застосування одноступінчатих холодильних машин економічно недоцільно.

Одноступінчаті машини на аміаку допускаються до роботи в діапазоні температур кипіння від  $0$  до  $30^\circ\text{C}$  при температурі конденсації не вище  $40^\circ\text{C}$ , щодо тиску  $\frac{P_K}{P_H} \leq 9$  і різниці тисків  $p - p_0 < 1,2$  МПа; для хладонів діапазон температур кипіння від  $0$  до  $-46^\circ\text{C}$  при температурі конденсації не вище  $40^\circ\text{C}$ , щодо тисків  $\frac{P_K}{P_H} \leq 12$  різниці тисків  $p - p < 3,2$  МПа;

Якщо перевірка граничних параметрів знаходиться в нормі, залишають раніше обрану одноступінчатую схему холодильної машини.

Побудова процесу в діаграмі  $T-S$  здійснюється в тій же послідовності, що і в  $i-lgP$  діаграмі.

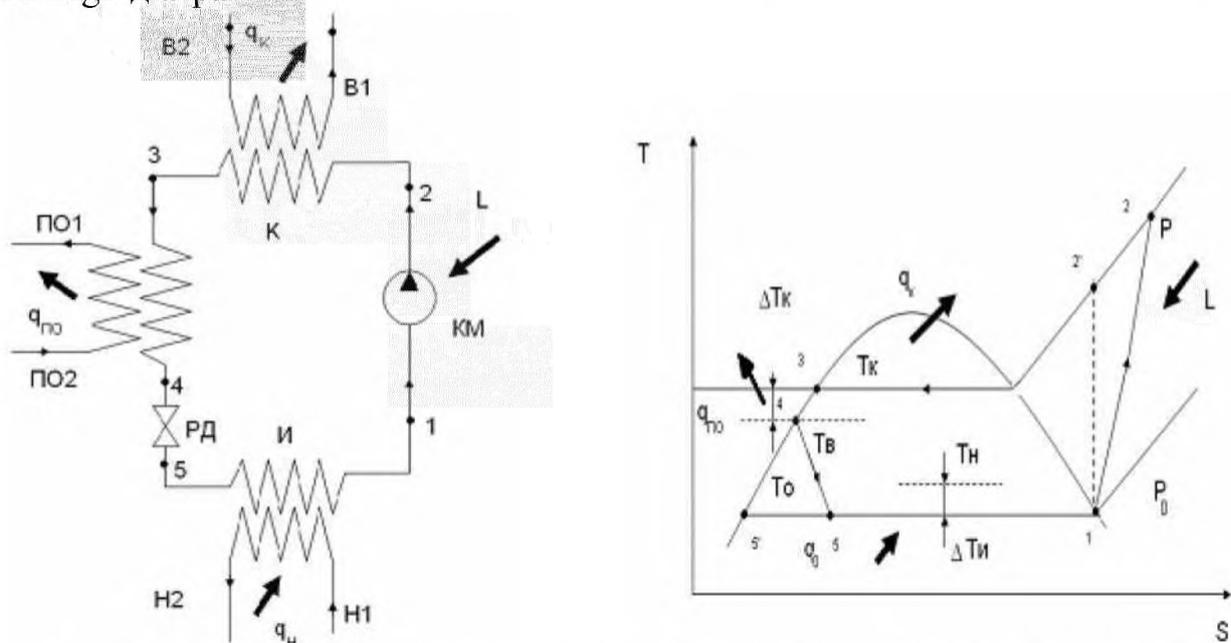


Рис. 3.2. Схема одноступінчатої парорідинної компресійної холодильної установки з переохолоджувачем і процес в  $T - s$  діаграмі

### 3.3. Розрахунок дійсного циклу

Дійсний цикл парової компресорної установки відрізняється від теоретичного наявністю об'ємних і енергетичних втрат як в компресорі, так і поза ним. Об'ємні втрати зменшують продуктивність холодильної установки, енергетичні - збільшують витрати потужності в порівнянні з теоретичною.

Об'ємні втрати, що знижують холодопродуктивність установки, виникають в основному в компресорі.

Всі види об'ємних втрат в практичних умовах враховують коефіцієнтом подачі, величина якого дорівнює:

$$\lambda = \lambda_i \lambda_w \lambda_{пл}$$

де  $\lambda_i$  - індикаторний коефіцієнт всмоктування;

$\lambda_w$  - коефіцієнт підігріву;

$\lambda_{пл}$  - коефіцієнт щільності.

Для розрахунку  $\lambda_i = \lambda_c \lambda_{др}$  приймаємо, що відносна величина обсягу шкідливого простору  $s$  може приймати значення (4-8)%, тоді, знаючи відношення  $\frac{P_k}{P_n}$ , за такою формулою визначаємо об'ємний коефіцієнт

$$\lambda_c = 1 + C_0 \left[ \left( \frac{P_k}{P_0} \right)^{1/x} - 1 \right]$$

де  $C_0$  - відносна величина обсягу шкідливого простору ( $C_0 = 0,01 - 0,08$ );

$X$  - показник політропи, по якій здійснюється процес розширення з шкідливого простору. Для аміачних машин  $X = 0,82 \dots 1,25$ . У швидкохідних компресорах показник політропи мало відрізняється від показника адіабати.

Коефіцієнт дроселювання  $\lambda_{др}$  приймають з інтервалу значень 0,91-0,9

Коефіцієнт підігріву для великих вертикальних прямоточних компресорів можна оцінити приблизно за формулою:

$$\lambda_w = \frac{T_0}{T_k}$$

де  $T_0$  - температура в випарнику для отримання холоду,  $T_k$  - температура охолоджуючої води в конденсаторі.

$$\lambda_w = \frac{T_0}{T_k + 26}$$

(для великих горизонтальних аміачних компресорів),

Коефіцієнт щільності приймають 2 - з інтервалу (0,95-0,99).

Визначається годинна продуктивність компресора

$$V_n = \frac{V}{\lambda}, \text{ м}^3 / \text{год}$$

Проводиться вибір розмірів і конструктивних параметрів компресора.

Для поршневого компресора простої дії справедливо:

$$V_n = 60 \frac{\pi D^2}{4} S z n$$

Приймаємо число циліндрів  $z$  з ходом поршня  $S$  в мм і число оборотів вала  $n$ , об / хв відповідно до редукторами, що випускаються промисловістю СНД. Звідси визначають діаметр поршня за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4V_n}{60\pi S z n}}$$

Згідно каталогу аміачних і хладонових компресорів, що випускаються промисловістю СНД, вибирається компресор, найбільш задовольняє вище зазначеним вимогам. Якщо вибір компресора вважається вдалим за величиною  $V$ , тобто дорівнює об'єму, описуваного поршнями компресора за 1 год., далі уточнюються значення коефіцієнта подачі  $\lambda$ , який був оцінений приблизно.

### 3.4. Визначення споживаної потужності і вибір електродвигуна для компресора

Збільшення роботи стиснення в дійсному процесі в порівнянні з теоретичним відбувається головним чином в результаті наявності в теплообміні в циліндрі компресора і гідравлічних опорів при всмоктуванні і виштовхуванні пара. Це збільшення роботи визначається індикаторним ККД. Для наближеного обчислення можна скористатися емпіричної формулою

$$\eta_1 = \lambda_w + bt_0$$

де  $b$  - коефіцієнт, для аміачних вертикальних машин, він дорівнює 0,001, для хладонових - 0,0025, і тоді індикаторна потужність визначиться за формулою

$$N_i = \frac{N_m}{\eta_i}, \text{ кВт}$$

Втрати, викликані тертям рухомих частин компресора, враховуються механічним ККД  $\eta_m$ . У сучасних компресорів з вертикальним розташуванням циліндрів  $\eta_m = 0,85 / 0,9$ . Вибирається значення  $\eta_m$  з зазначеного інтервалу і обчислюється ефективна потужність, необхідна для приводу компресора:

$$N_e = \frac{N_i}{\eta_m}, \text{ кВт}$$

Для вибору електродвигуна уточнюється значення ефективної потужності і приймається значення кратне п'яти або десяти (наприклад, розрахункове значення 99,6 кВт, прийняте значення буде 100 кВт).

Визначається потужність електродвигуна

$$N = \frac{N_e}{\eta_p}, \text{ кВт}$$

де  $\eta_p$  - коефіцієнт корисної дії редуктора (пасової клиновий передачі). Приймається як  $\eta_p = 0,88$ .

Компресори, як правило, працюють з постійною частотою обертання, тобто їх електроприводи є нерегульованими. При виборі електродвигуна до нерегульованого приводу слід орієнтуватися виключно на двигуни змінного струму.

Для приводу компресорів застосовуються в основному три типи електродвигунів: асинхронний з короткозамкнутим ротором (А), синхронний

двигун (СД) і асинхронний з фазовим ротором (АК).

У холодильній техніці в залежності від умов навколишнього середовища знаходять застосування наступні двигуни: захищені, закриті обдуваються, вибухозахищені.

В електроприводах середньої і великої потужності використовуються також модернізовані трифазні асинхронні двигуни єдиної серії А і АК. Вони виконуються на напругу 220, 380, 3000 і 6000В у діапазоні номінальної потужності від 55 до 400 кВт.

### **3.5. Вибір теплообмінного обладнання**

Основне обладнання вибирається на основі виконаних розрахунків і відповідно до характеристики компресора.

#### **3.5.1 Конденсатор.**

У холодильних установках застосовують конденсатори наступних типів: кожухотрубні (горизонтальні і вертикальні), кожухозмієві, елементні, двотрубні, пакетно-панельні, пластинчасті. Кожухотрубні конденсатори характеризуються високою інтенсивністю теплопередачі. Використання їх в системі оборотного водопостачання з градирнею дозволяє працювати з мінімальною витратою води. Останнім часом у зв'язку з дефіцитом води застосовують конденсатори повітряного охолодження. У великих холодильних установках найбільшого поширення набули горизонтальні кожухотрубні конденсатори. Конструкції їх для аміаку і фреонів розрізняються, в основному, матеріалом і характером поверхні теплообміну. У аміачних використані труби безшовні гладкі сталеві (сталь 10) діаметром 25x2,5 мм (площа поверхні теплообміну до 300 м<sup>2</sup>) і 38x3 мм (площа поверхні теплообміну > 300 м<sup>2</sup>). У фреонових конденсаторах через порівняно низьких коефіцієнтів тепловіддачі з боку конденсуючого ХА застосовують, як правило, труби з кольорових металів, на зовнішній поверхні яких накатав ребра.

Для фреонових кожухотрубних конденсаторів з коефіцієнтом оребрення 3,99 при  $\Theta_m = 6 \dots 100\text{C}$  і швидкості води 1,4 м / с коефіцієнт теплопередачі  $k_k = 2000 \dots 2100 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{ К})$ .

Це навантаження включає тепло, віднімає в трьох зонах: охолодження перегрітої пари холодоагенту, конденсації пари холодоагенту і часткового переохолодження рідини холодоагенту.

Переохолодження рідини виробляють в окремому апараті переохолоджувачі, який розраховується окремо. Теплове навантаження зони переохолодження мала, наприклад, в аміачної машині становить близько 2% навантаження конденсатора.

Розрахуємо поверхню нагріву конденсатора за формулою:

$$F = \frac{Q_k}{k\Delta t}$$

де  $\Delta t$  - середня різниця температур між робочою речовиною і водою (температурний напір);

$k$  - коефіцієнт теплопередачі;

$Q_k$  - теплове навантаження конденсатора, Вт.

Величина  $Q$  може бути визначена за вирахуванням теплового навантаження переохолоджувача за рівнянням

$$Q_k = Q - 0,278(i_4 - i_3), \text{ Вт.}$$

Приймаємо, що підвищення температури становить  $5^\circ\text{C}$ , тоді температурний напір

$$\Delta t = \frac{(t_k - t'_в) - (t_k - t''_в)}{2,3 \frac{t_k - t'_в}{t_k - t''_в}}$$

де  $t''$ ,  $t'_в$  - температури охолоджуючої води на вході і на виході в конденсатор,  $^\circ\text{C}$ .

Вибирається кожухотрубчасті горизонтальний конденсатор. Знаючи тип обраного апарату, хладагент і температурний напір, визначаємо наближене значення коефіцієнта теплопередачі  $k$ .

Тоді можна буде обчислити поверхню конденсатора  $F$  за формулою. Витрата охолоджуючої води на конденсатор

$$G_w = \frac{3,6 Q_k}{\rho c (t''_в - t'_в)}$$

Число трубок конденсатора

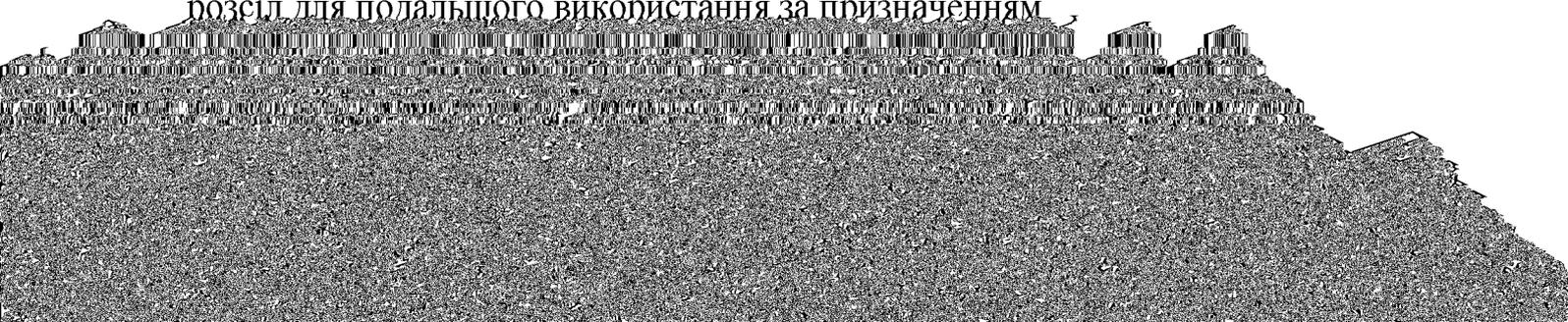
$$n = \frac{F}{\pi d_{cp} L z}$$

де  $d$  - середній діаметр трубок.

Наприклад трубки з внутрішнім і зовнішнім діаметром 25/28 мм, мають середній діаметр рівний  $26,5 = 0,0265$  м;  $L$ -довжина трубок, яка приймається відповідно Кожухотрубчасті конденсатором, що випускається промисловістю СНГ;  $z$  - число ходів для поверхні нагрівання конденсатора до  $100 \text{ м}^2$ .

### 3.5.2 Випарник.

Так як холодильна установка в подальшому застосовується для охолодження харчових або продуктів промислового виробництва, що зберігаються на спеціальних складах, вважається, що установка охолоджує розсіл для подальшого використання за призначенням



обслуговуванні і володіти високими теплотехнічними якостями. Найбільшого поширення набули кожухотрубчасті випарники.

Для охолодження холодоносія найбільшого поширення набули кожухорубні випарники затопленого типу. У них холодильний агент кипить на зовнішній поверхні труб (гладких або оребрених), а хладоносій протікає в трубах.

Вибір типу випарника проводиться на підставі розрахунку поверхні теплопередачі. Для орієнтовних розрахунків площу поверхні теплопередачі можна визначити, задавшись щільністю теплового потоку  $q_F$  зі значеннями, представленими в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Значення щільності теплового потоку  $q_F$  № (Вт/м<sup>2</sup>) у фреонових випарниках типу ІТП для R-22 при  $t_0 = -15 / 5^\circ\text{C}$

Швидкість хладоносія, м/с	Середній перепад температур, °C		
	4	5	6
1,0	3300	4700	5700
1,5	4700	6400	7900

наприклад:

$$F_{\text{и}} = \frac{Q_0}{q_F} = \frac{380000}{6400} = 59,375 \text{ м}^2$$

Таблиця 3.2 - Кожухотрубні горизонтальні випарники затопленого типу

Марка	Площа поверхні теплообміну, м <sup>2</sup>	Габаритні розміри		Умовні проходи штуцерів, мм			Число труб
		Діаметр кожуха, мм	Довжина, мм	Паровий	Рідинний	Хладоносій	
Холодильний агент R-22							
ІТР-65	65	500	2435	100	32	80	210

Так як умови компонування не задані, вибираємо вертикально-трубний випарник, який має розсолу бак з двома або кількома випарними секціями (за розрахунком). Кожна секція складається з вертикальних коротких труб, вигнутих по кінцях і приварених з боків до горизонтальним колекторам. Секції колектора об'єднані колекторами для подачі рідкого аміаку або іншого холодоагенту, відсмоктування пара і відведення масла.

Відтеплений розсіл зливається в баки і пропелерної проганяється уздовж випарних секцій.

Вибір типу випарника може також проводитися на розрахунку поверхні випарника за формулою

$$F = \frac{Q_0}{k\Delta t}$$

де  $Q$  - необхідна робоча холодопродуктивність, Вт;

$\Delta t$  - логарифмічна різниця температур між циркулюючим розсолем і холодильним агентом; в практичних розрахунках  $\Delta t$  зазвичай приймають  $5^\circ\text{C}$ ;

$k$  - коефіцієнт теплопередачі, для розрахунків береться по практичним даним на підставі типу випарника і виду холодоагенту,

Після розрахунку поверхні випарника вибирається конкретний випарник з типорозмірами.

### 3.5.3 Масловіддільник.

Масловіддільувач вловлюють масло, що буря з компресора парами холодоагенту, не допускаючи попадання його у великих кількостях в теплообмінні апарати - конденсатори і випарники.

Масловіддільники встановлюються на нагнітальному трубопроводі між конденсатором і компресором. Для одноступінчатих аміачних компресійних установок можна вибрати пустотіла масловіддільувач з відбійними насадками. Відділення масла відбувається внаслідок різкої зміни напрямку руху пара при одночасному великому зниженні швидкості до  $\omega = 0,7$  м/с. Що осідають частинки стікають в нижню частину посудини. Масло з масловіддільника надходить в клоака, а з нього назовні. Для створення зниженого тиску в Маслозбірники його з'єднують з всмоктуючим трубопроводом.

Маркування масловіддільників і маслозбірники проводиться по діаметру трубопроводів. Діаметр трубопроводу визначається за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi\omega}}$$

де  $V$  - об'єм пари холодоагенту, що всмоктується компресором.

Розрахованому діаметру трубопроводу повинен відповідати конкретний тип марки масловіддільника з типовими розмірами корпусу і маслозбірника.

Точніше підбір масловіддільників виробляють за діаметрами приєднувальних штуцерів.

При відомій годинниковій об'ємної продуктивності компресора  $V_n$  і рекомендованої швидкості пара в штуцері  $w = 1 \dots 0,7$  м / с діаметр визначається з рівняння суцільності:

$$d = \left( \frac{4G_x v_{2A}}{\pi w} \right)^{0,5} = \left( \frac{4 \cdot 2,71 \cdot 0,00105}{3,14 \cdot 0,75} \right)^{0,5} = 0,069$$

Таблиця 3.3. - Ам'ячні промивні масловіддільники

Марка	Розміри, мм		Діаметр умовного проходу штуцерів, мм		Місткість
	Діаметр	Висота	Пар	Рідина	
80 ОММ	307x9	1570	80	20	0,078

### 3.5.4 Ресивер.

Ресивери для рідкого агента призначені для компенсації змінного заповнення рідким агентом випарника і конденсатора при різних режимах роботи. Ресивери представляють собою сталеві зварні циліндричні судини. Залежно від призначення ресивери діляться на лінійні, запасні, дренажні і циркуляційні.

Відповідно до прийнятої схемою вибирається лінійний ресивер, ємність якого приблизно дорівнює половині годинної кількості циркулюючого в системі холодоагенту, тобто  $V$ , м<sup>3</sup> / год.

Розміри ресивера визначається по його ємності, він розташовується нижче рівня конденсатора, в зв'язку з чим передбачається вирівнююча парова лінія. Ресивер забезпечується манометром, пружинним запобіжним клапаном для випуску холодоагенту в атмосферу і показчиком рівня рідини.

Ресивери для рідкого агента призначені для компенсації змінного заповнення рідким агентом випарника і конденсатора при різних режимах роботи. Ємність ресивера приймається рівною половині годинної кількості циркулюючого в системі холодоагенту:

$$V_p = 1800 \cdot G_x \cdot v_5$$

де  $G_x$ ,  $V$  - витрата хладагента і питома холодоагенту в точці 5 процесу в  $h - l_gP$  діаграмі.

Таблиця 3.4. - Ам'ячні ресивери горизонтальні типу РД

Марка	Розміри, мм		Діаметр умовного проходу, мм		Місткість
	Діаметр	Висота	рідина	до приладу	
1,5 РД	800x8	3610	50	25	1,651

### 3.5.5 Переохолоджувач.

Переохолоджувач - теплообмінні апарати, які служать для охолодження рідкого холодоагенту нижче температури конденсації. Вони являють собою протиточні двотрубні апарати, що охолоджуються водою. Охолоджуюча вода протікає по внутрішнім трубам, а рідкий холодоагент в міжтрубному просторі. Конструктивно ці апарати виконуються з труб діаметром 38x3,5 (внутрішня) і



$$Q_n = kF\Delta t$$

де Q - теплове навантаження переохолоджувача;  
 $k = 565 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$  (По досвідченим даним);

$$\Delta t = \frac{(t_k - t_{n,B}) - (t_n - t_B)}{2,3 \log \frac{t_k - t_{n,B}}{t_n - t_B}}$$

де t-температура води після переохолоджувача

$$F = \frac{Q_n}{k\Delta t}$$

Вибираємо переохолоджувач з конкретною поверхнею нагріву F, м<sup>2</sup> і габаритними розмірами.

Таблиця 3.5 - Аміачний переохолоджувач

Марка	Площа поверхні охолодження, м <sup>2</sup>	Кількість секцій	Висота
16ПП	15,6	2	1450

### 3.5.6 Повітряохолодувач.

Повітряохолодувач служить для видалення повітря з системи. Обираємо повітряохолодувач, в якому суміш холодоагенту і повітря підводиться з місць найбільшого скупчення повітря в міжтрубний простір апарату і тут охолоджується, стикаючись з холодною внутрішньої трубою, через яку проходить хладагент від регулюючого вентиля випарну систему. Холодоагент, що міститься в хладагентно-повітряної суміші, конденсується і потім перепускається у внутрішню трубу і далі в випарну систему, повітря ж з інертними очима з верхньої частини міжтрубному простору через трохи відкритий вентиль випускається під рівень води, наливої в скляну посудину, для спостереження за виходом бульбашок і поглинання проникаючих парів холодоагенту.

Повітряохолодувач складається з чотирьох безшовних труб, вставлених одна в іншу. У 1-й і 3-й трубах циркулює холодоагент, випаровується при низькій температурі, а у 2-й і 4-й циркулює хладагентно - повітряна суміш.

### 3.5.7 Фільтри.

Фільтри - це екрани з нержавіючої сталі з маленькими отворами, механічно відокремлюють сторонні частинки, які можуть засмітити регулятор витрати холодоагенту або пошкодити поверхні в компресорі.

Фільтри необхідно встановлювати перед усіма регуляторами витрати

холодоагенту, регуляторами тиску, електромагнітними та іншими автоматичними клапанами і перед всмоктуючим патрубком компресора. Більшість даних компонентів системи виробляють зі змінними фільтрами на вході. Якщо у пристрої немає фільтра, його можна встановити, як показано на рис. 3.5.

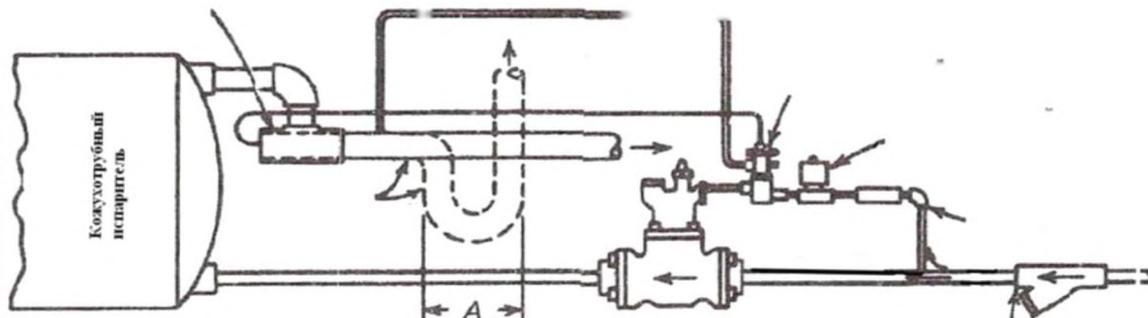


Рисунок 3.5. Підключення терморегулюючого вентиля на кожухотрубний випарник з холодоагентом в трубах

Фільтри монтують на всмоктуючій стороні, поблизу від компресора. Конструктивно вони виконуються у вигляді парових сітчастих фільтрів, при виборі яких задаються швидкістю холодоагента в приєднувальному штуцері в діапазоні  $w = 1 \dots 1,5$  м/с.

Діаметр штуцера визначається за відомим рівнянням:

$$d = \left( \frac{4G_x}{\pi \omega_A} \right)^{0,5}$$

В даній схемі якщо всмоктуючий трубопровід йде вгору, відстань А повинно бути якомога менше.

Для фільтрації рідкого і пароподібного холодоагента з метою захисту циліндрів від попадання в них забруднень у вигляді іржі, окалини і т.д., а також і для захисту приладів автоматичного регулювання від засмічення використовуємо сталеві сітки з розміром осередків 0,4 мм, що встановлюються в два- три шари.

### 3.5.8 Труби, трубні з'єднання, арматура.

Матеріали, найбільш часто використовувані для трубопроводу, - це вуглецева сталь, алюміній і мідь. Дані метали підходять для використання з звичайними галоїдоуглеродними холодоагентами.

Для аміачних ліній застосовує сталеві безшовні труби ГОСТ 301-50. Сталеві труби також використовують і для інших холодоагентів, якщо діаметр труби більше 15 см. У фланцевих з'єднаннях аміачних ліній передбачають западину і виступ в парних фланцях і ущільнюють прокладкою з пароніту товщиною 2 мм. Алюміній використовується в пристроях невеликої

потужності, але його нелегко зігнути і спаяти, тому нечасто використовується для з'єднання компонентів. Мідна труба легше за вагою, більш стійка до корозії, і її легше встановлювати, ніж трубу з вуглецевої сталі. Мідна труба для використання в кондиціонуванні і охолодженні позначена АСР. Її зовнішній діаметр буває від 0,3 до 15 см. Труби АСР очищають від газів і заповнюють азотом, тому що азот зменшує утворення оксидів в трубі при сплювання. Мідні труби називаються м'якотянуті, тому що і х при відпалі розжарюють, а потім повільно охолоджують до кімнатної температури. М'якотянуті труби бувають із зовнішнім діаметром від 0,3 до 4 см і довжиною 8,16 і 362 м. Холоднотянуті мідні труби не проходять процес відпалу, тому їх не можна зігнути без поломки. Тверда труба буває довжиною 2,5; 3 і 6 м.

Вибір діаметрів трубопроводів при проектуванні холодильних установок виробляють з урахуванням швидкості холодоагенту, коефіцієнта місцевих опорів, а також допустимої втрати по довжині трубопроводу [3,9].

### 3.5.9 Регулювання установки.

Регулювання температури холодоносія здійснюється за допомогою регулятора ПРТ, змінює витрата розсолу зі зміною витрати або температури холодоагенту.

Регулювання температури холодоагенту проводиться двохопозиційним регулятором - реле температури, керуючим роботою компресора за способом пусків і зупинок. Можна також використовувати пропорційний регулятор температури прямої дії ПРТ, який при зниженні температури збільшують прохід розсолу на обвідної лінії.

Регулювання продуктивності компресора здійснюється зміною швидкості обертання компресора за допомогою пропорційного датчика тиску ПДР [3,9].

Регулювання заповнення випарників холодильним агентом здійснюється термогуліруючим вентилем (регулятором перегріву) ТРВ сприймає зміна перегріву пара в випарнику.

Регулювання тиску конденсації здійснюється за допомогою регулятора тиску водорегулюючого вентиля (водорегулятора), який підтримує задані температуру і тиск.

Видалення повітря з холодильної установки здійснюється в повітроохолоджувачі за допомогою поплавкового регулятора.

У заключній частині курсової роботи робляться висновки про обраної схемою одноступінчатої парокомпресійний установки. Коротко описується принцип дії прийнятої схеми установки. Вказуються технічні параметри типовий холодильної установки (повна і питома холодопродуктивність, потужність електродвигуна компресора, теоретичний і дійсний холодильні коефіцієнти і ін.).

Коротко описуються методики регулювання температури теплоносія і розсолу, регулювання продуктивності компресора, регулювання заповнення холодоагенту, а також способи видалення повітря з холодильної установки.

## 4. СТРУКТУРА І ЗМІСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Структура курсової роботи складається з наступних елементів: титул;

зміст; вступ; основна частина; практична частина; висновки; список літератури; додатки.

Робота повинна складатися зі вступу, основної частини, висновків, списку використаних джерел, можливого додатку (таблиць, схем, діаграм, зразків нормативних документів, тощо). Робота повинна бути доповнена таблицями, діаграмами, графіками, відповідними порівняннями автора тощо.

**У вступі** розглядається актуальність вибраної теми, визначається предмет, коло питань, що будуть аналізуватися в основній частині роботи, визначається мета і конкретні завдання.

**Основна частина** – це найбільша за обсягом частина курсової роботи, яка відображає вміння студента самостійно описувати, аналізувати та систематизувати теоретичний і практичний матеріал.

У розділах основної частини курсової роботи докладно викладається методика і техніка дослідження та узагальнюються результати. Усі матеріали, що не є принципово важливими, виносяться в додатки.

Зміст розділів основної частини має точно відповідати темі курсової роботи і цілком її розкривати. Розділи курсової роботи повинні показати уміння студента стисло, логічно та аргументовано викладати матеріал, виклад і оформлення якого повинні відповідати вимогам до друкованих робіт.

**У висновках** курсової роботи необхідно зробити певні узагальнення у вигляді коротких тез, викласти практичні рекомендації та пропозиції, до яких дійшов автор. Висновки не повинні підмінюватися механічним підсумовуванням висновків наприкінці розділів, що представляють коротке резюме. Послідовність висновків визначається логікою побудови курсової роботи.

У кінці роботи додається **список використаних джерел**, складений в алфавітному порядку та згідно з правилами бібліографічного оформлення наукових робіт, призначених для публікацій.

Виконання курсової роботи доцільно поділити на такі етапи:

- вибір теми;
- підбір і вивчення літератури;
- збір і обробка матеріалів;
- написання курсової роботи;
- рецензування курсової роботи;
- захист і оцінка курсової роботи.

*Тема курсової роботи* вибирається студентом самостійно із запропонованої кафедрою тематики.

Наступний крок - це *підбір літератури*. Необхідну для виконання курсової роботи літературу, студент повинен підібрати самостійно. Для загального, початкового ознайомлення із темою корисно використовувати енциклопедичну літературу, довідники, алфавітні та предметні покажчики, відповідні каталоги у бібліотеках. До збору і класифікації статистичних і фактологічних матеріалів слід підходити ретельно. Брати до увагу слід тільки ті статистичні і фактологічні дані, які мають безпосереднє відношення до вибраної теми курсової роботи, причому найважливіші з них, типові і



Таблиця 6.2 – Розподіл балів за виконання та захист курсової роботи

Виконання курсової роботи	Захист роботи	Загальна оцінка
до 60 балів	до 40 балів	до 100 балів

Оцінювання якості виконання курсової роботи здійснюється згідно критеріїв, наведених у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3. Шкала оцінювання якості курсової роботи

Бали	Критерії оцінювання
54-60	В роботі повно та послідовно розкрито зміст теми, творчо, самостійно досліджено проблеми, проаналізовано широке коло фактичних даних та матеріалів за останні роки. Висновки повні та обґрунтовані. Повністю дотримано вимоги до оформлення. Курсова робота виконувалася згідно графіку.
48-53	В роботі зміст розкрито на достатньо високому творчому рівні, змістовно розглянуто окремі питання плану, зібрано та проаналізовано фактичний матеріал за останні роки. Висновки повні та обґрунтовані. Однак в роботі мають місце окремі неточності, незначні помилки, недоліки в оформленні. Курсова робота виконувалася згідно графіку.
45-47	В роботі зміст розкрито на достатньо високому творчому рівні, досить змістовно розглянуто окремі питання плану, зібрано та проаналізовано фактичний матеріал за останні роки. Висновки досить повні та обґрунтовані. В роботі мають місце окремі неточності, незначні помилки, недоліки в оформленні. Курсова робота виконувалася з незначними відхиленнями від графіку.
42-44	В роботі в основному правильно, але недостатньо повно розкрито зміст основних питань, відсутня належна глибина аналізу теоретичного та фактичного матеріалу, роботі притаманні окремі стилістичні та граматичні помилки, є порушення щодо оформлення курсової роботи. Курсова робота виконана із запізненням.
36-41	В роботі зміст розкрито не досить повно, не досить обґрунтовані власні висновки, не було використано джерела інформації за останні роки. Висновки не досить повні, відсутні рекомендації. Є значні зауваження до оформлення. Курсова робота виконана із значним запізненням.
21-35	В роботі допущено суттєві помилки у викладенні програмного матеріалу, використано доволі вузьке коло літературних джерел, практично не наводяться фактичні та статистичні данні, немає їх аналізу. Оформлення не відповідає вимогам. Курсова робота виконана із значним запізненням.
0-20	Курсова робота виконана із значним запізненням та не відповідає висунутим вимогам.

**Захист роботи.** Заключним етапом є захист курсової роботи. Результати захисту курсової роботи оцінюється відповідно до критеріїв та за діючою шкалою оцінювання знань студента.

Студентам, які не захистили курсову роботу, призначається повторний захист.

Оцінювання захисту виконання курсової роботи здійснюється згідно критеріїв, наведених у таблиці 6.4.

Таблиця 6.4. Шкала оцінювання захисту курсової роботи

Кількість балів	Критерії оцінювання
36-40	Під час захисту давались правильні, чіткі та конкретні відповіді на більш, ніж 90% запитань.
32-35	Студент правильно відповів на 80-90% питань.
30-31	Студент відповів на 75% питань, був не в усьому послідовним.
28-29	Відповіді під час захисту були не завжди правильними. В цілому студент відповів на 70-74% запитань.
24-27	Студент відповів на 60-69% питань, був не послідовним у відповідях.
14-23	Студент відповів на 20-60% запитань. Відповіді нечіткі та непослідовні.
0-13	Під час захисту не виділено головні моменти теми, давались невірні відповіді на запитання.

При написанні курсової роботи неминучі труднощі й помилки, які студент долає за допомогою керівника курсової роботи. Однак є ряд типових недоліків, яких можна уникнути.

**Недоліки** курсових робіт, що найбільш розповсюджені:

- відсутність обґрунтування цілей і завдань курсової роботи;
- використання застарілих джерел і неактуальної інформації;
- незбалансований зміст;
- відсутність зв'язку між змістом роботи та загальними висновками;
- публіцистичний стиль викладання матеріалу;
- відсутність алгебраїчної та геометричної інтерпретації;
- відсутність графічних ілюстрацій;
- відсутність зв'язку між змістом роботи й матеріалами, розміщеними в додатках;
- відсутність зв'язку між змістом роботи та бібліографічним списком;
- неправильне оформлення списку літератури.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Хмельнюк М.Г., Подмазко О.С., Подмазко І.О. Холодильні установки та сфери їх використання: Підручник. Херсон : Грінь Д.С., 2014. –484 с.
2. Лозовський А.П., Іванов О.М. Основи холодильних технологій: навч. посібник. – Суми: Університетська книга, 2018. – 280 с.
3. Холодильні установки. Проектування / Чумак І.Г., Чепурненко В.П., Лагутін А.Ю., Лар'яновський С.Ю., Чумак Н.І., Оніщенко В.П. – Одеса : Друк, 2008. – Том 1, 145 с.
4. Холодильні установки. Проектування / Чумак І.Г., Чепурненко В.П., Лагутін А.Ю., Лар'яновський С.Ю., Чумак Н.І., Оніщенко В.П. – Одеса : Друк, 2008. – Том 2, 186 с.
5. Холодильні установки. Проектування / Чумак І.Г., Чепурненко В.П., Лагутін А.Ю., Лар'яновський С.Ю., Кочетов В.П. – Одеса : Друк, 2008. – Том 3, 156 с.
6. Холодильні установки / Під. заг. ред. І. Г. Чумака. – Одеса : Пальміра, 2016. 552 с.
7. Подмазко О.С., Мурашов В.С. Холодильна техніка і технологія (навчальний посібник). – Одеса, Видавничий центр ОДАХ. – 2015.
8. Масліков М.М. Холодильні технології харчових продуктів : навч. посібник / М. М. Масліков. –К.: НУХТ, 2015. – 335 с.

## **ДОДАТОК**

**ГРАФІК ВИКОНАННЯ**  
 курсової роботи з дисципліни «Холодильні установки»  
 студента (-ки) групи \_\_\_\_\_ курсу \_\_\_\_\_  
 (група) (П.І.Б.)

№ пп	Вид робіт	Строки виконання	Відмітка про виконання	Підпис керівника
1	Вибір теми курсової роботи	1-й тиждень		
2	Складання попереднього плану курсової роботи	2-й тиждень		
3	Добір літературних джерел та технічного довідникового матеріалу	3-й тиждень		
4	Корегування плану курсової роботи (у випадку необхідності)	3-й тиждень		
5	Написання і надання на перевірку першого розділу	4, 5, 6-й тижні		
6	Написання і надання на перевірку другого розділу	7, 8, 9-й тижні		
7	Написання і надання на перевірку другого розділу	10, 11, 12-й тижні		
8	Написання і надання на перевірку вступу та висновків	13- й тиждень		
9	Оформлення курсової роботи згідно з вимогами та подання до захисту	14-й тиждень		
11	Захист курсової роботи	15-й тиждень		

Керівник курсової роботи: \_\_\_\_\_  
 (підпис) (П.І.Б.)

Студент (-ка) гр. \_\_\_\_\_  
 (підпис) (П.І.Б.)

Навчальне видання

**Омельченко Олександр Володимирович**, к.т.н., доцент

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

## **ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ**

### **Методичні рекомендації до виконання курсової роботи**

---

Зведений план 2016 р., поз. № \_\_\_\_  
Донецький національний університет економіки і торгівлі  
імені Михайла Туган-Барановського  
50005, Дніпропетровська обл.,  
м. Кривий Ріг, вул. Трамвайна, 16.