

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

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

І.Н. Красновский, Л.О. Цвіркун, Д.П. Заїкіна

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Основи проектування холодильних систем

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

І.Н. Красновский, Л.О. Цвіркун, Д.П. Заїкіна

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Затверджено на засіданні
кафедри загальноінженерних
дисциплін та обладнання
Протокол № 5
від «12» 11 2020 р.

Схвалено навчально-
методичною радою
ДонНУЕТ
Протокол № 4
від «17» 12 2020 р.

Кривий Ріг
2020

УДК 621.56/.59-025.12(076)
К 28

Красновский І.Н., Цвіркун Л.О., Заїкіна Д.П.

К 28 Основи проектування холодильних систем : метод. рекомендації до вивч. дисц. / М-во освіти і науки України, Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, Каф. загальноінженерних дисциплін та обладнання ; І.Н. Красновский, Л.О. Цвіркун, Д.П. Заїкіна. – Кривий Ріг : [ДонНУЕТ], 2020. – 64 с.

Методичні рекомендації розроблені для надання допомоги студентам у процесі вивчення дисципліни «Основи проектування холодильних систем». Методичні рекомендації містять перелік питань для підготовки до підсумкового контролю та перелік основної та додаткової літератури.

© Красновский І.Н., Цвіркун Л.О.,
Заїкіна Д.П., 2020
© Донецький національний
університет
економіки і торгівлі імені Михайла
Туган-Барановського, 2020

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
ЧАСТИНА 1. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ».....	6
ЧАСТИНА 2. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДГОТОВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ ТА ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ.....	10
Змістовий модуль 1. Об'ємно-планувальні рішення при проектуванні різних типів холодильників.....	12
Змістовий модуль 2. Основне та допоміжне обладнання холодильних систем.....	24
ЧАСТИНА 3. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ.....	48
Змістовий модуль 1. Об'ємно-планувальні рішення при проектуванні різних типів холодильників.....	49
Змістовий модуль 2. Основне та допоміжне обладнання холодильних систем.....	54

ВСТУП

Основною метою вивчення дисципліни є засвоєння студентами теоретичних та практичних знань, пов'язаних з підготовкою та проектуванням різних типів холодильників; формування практичних навичок у процесі розрахунків теплоізоляції, теплонадходжень, основного та допоміжного обладнання.

Головне завдання навчальної дисципліни полягає в навчанні студентів здійснювати об'ємно-планувальне рішення холодильника, розрахунок площі камер для зберігання продуктів, розрахунок товщини теплоізоляційного шару огорожуючих конструкцій камер холодильника, розрахунок теплопритоків в охолоджувані приміщення холодильника, здійснювати розрахунок і підбір обладнання (компресора, теплообмінних апаратів, повітроохолоджувачів).

Предмет: принципи та методи проектування холодильних систем.

ЧАСТИНА 1

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИВЧЕННЯ
ДИСЦИПЛІНИ

1. Опис дисципліни

Найменування показників	Характеристика дисципліни
Обов'язкова (для студентів спеціальності "назва спеціальності") / вибіркова дисципліна	Обов'язкова для студентів спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»
Семестр (осінній / весняний)	осінній
Кількість кредитів	5
Загальна кількість годин	150
Кількість змістових модулів	2
Лекції, годин	48
Практичні / семінарські, годин	24
Лабораторні, годин	8
Самостійна робота, годин	70
Вид контролю	Екзамен

2. Програма дисципліни

Ціль – засвоєння студентами теоретичних та практичних знань пов'язаних з підготовкою та проектуванням різних типів холодильників; формування практичних навичок у процесі розрахунків теплоізоляції, теплонадходжень, основного та допоміжного обладнання.

Завдання: навчити студентів здійснювати об'ємно-планувальне рішення холодильника, розрахунок площі камер для зберігання продуктів, розрахунок товщини теплоізоляційного шару огорожуючих конструкцій камер холодильника, розрахунок теплопритоків в охолоджувані приміщення холодильника, здійснювати розрахунок і підбір обладнання (компресора, теплообмінних апаратів, повітроохолоджувачів).

Предмет: принципи та методи проектування холодильних систем.

Зміст дисципліни розкривається в темах:

1. Об'ємно-планувальні рішення.
2. Несучі конструкції споруд холодильників.
3. Огороджуючі і спеціальні конструкції холодильників.
4. Теплоізоляційні конструкції холодильників.
5. Теплотехнічні розрахунки холодильників, системи і способи охолодження.
6. Обладнання машинних відділень холодильників.
7. Проектування трубопроводів.
8. Автоматизація холодильних установок.
9. Механізація вантажних робіт на холодильниках.
10. Електропостачання та електрообладнання.
11. Водоохолоджувальні пристрої.
12. Економіка холодильного господарства.

3. Структура дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин (денна форма навчання)				
	усього	у тому числі			
		лекц.	пр./сем.	лаб.	СРС
1	2	3	4	5	6
Змістовий модуль 1. Об'ємно-планувальні рішення при проектуванні різних типів холодильників					
Тема 1. Об'ємно-планувальні рішення.	15	4	4	-	7
Тема 2. Несучі конструкції споруд холодильників.	15	4	-	-	7
Тема 3. Огороджуючі і спеціальні конструкції холодильників.	15	4	4	-	7
Тема 4. Теплоізоляційні конструкції холодильників.	15	6	4	4	7
Тема 5. Теплотехнічні розрахунки холодильників, системи і способи охолодження.	15	6	-	-	7
Разом за змістовим модулем 1	75	24	12	4	35
Змістовий модуль 2. Основне та допоміжне обладнання холодильних систем					
Тема 6. Обладнання машинних відділень холодильників.	10	4	4	-	5
Тема 7. Проектування трубопроводів.	10	2	-	-	5
Тема 8. Автоматизація холодильних установок.	10	4	4	-	5
Тема 9. Механізація вантажних робіт на холодильниках.	10	4	-	-	5
Тема 10. Електропостачання та електрообладнання.	10	2	-	-	5
Тема 11. Водохолоджувальні пристрої.	10	4	4	4	5
Тема 12. Економіка холодильного господарства.	15	4	-	-	5
Разом за змістовим модулем 2	75	24	12	4	35
Усього годин	150	48	24	8	70

4. Теми практичних/лабораторних занять

№ з/П	Вид та тема практичних/лабораторних занять	Кількість годин
Змістовий модуль 1		
1.	Практичне заняття 1. Розрахунок площі камер для зберігання овочів	4
2.	Практичне заняття 2. Планування холодильника	4
3.	Практичне заняття 3. Розрахунок товщини теплоізоляційного шару огороджуючих конструкцій камер холодильника	4

4.	Лабораторне заняття 1. «Виконання розрахунку товщини теплоізоляційного шару огорожуючих конструкцій камер холодильника за допомогою програмного модуля Ansys Icerak»	4
Змістовий модуль 2		
5.	Практичне заняття 4. Розрахунок теплопритоків в охолоджуваних приміщеннях холодильника	4
6.	Практичне заняття 5. Розрахунок і підбір компресорів	4
7.	Практичне заняття 6. Розрахунок і підбір теплообмінних апаратів. Вибір повітроохолоджувачів	4
8.	Лабораторне заняття 2. «Реалізація конструктивного розрахунку випарного апарата в Mathcad»	4
Всього (Практичне заняття):		24
Всього (Лабораторне заняття):		8

5. Розподіл балів, які отримують студенти

Відповідно до системи оцінювання знань студентів ДонНУЕТ, рівень сформованості компетентностей студента оцінюються у випадку проведення екзамену: впродовж семестру (50 балів) та при проведенні підсумкового контролю - екзамену (50 балів).

Оцінювання студентів протягом семестру (очна форма навчання)

№ теми практичного/лабораторного заняття	Аудиторна робота					Позааудиторна робота	Сума балів
	Тестові завдання	Ситуаційні завдання, задачі	Обговорення теоретичних питань теми практичного заняття	Захист лабораторних робіт	ПМК	Завдання для самостійного виконання	
Змістовий модуль 1							
П.р 1 (I Ч)		-	-	-		-	-
П.р 1 (II Ч)		1	2	-		2	5
П.р. 2 (I Ч)		-	-	-		-	-
П.р. 2 (II Ч)		1	2	-		2	5
П.р. 3 (I Ч)		-	-	-		-	-
П.р. 3 (II Ч)		1	2	-		2	10
Лаб.р. 1 (I Ч)		-	-	-		-	-
Лаб.р. 1 (II Ч)		-	-	4	5	2	6
Разом змістовий модуль 1		3	6	4	5	8	26
Змістовий модуль 2							
П.р. 4		-	-	-		-	-
П.р. 4		2	1	-		1	4
П.р. 5		-	-	-		-	-

П.р. 5		2	1	-		1	4
П.р. 6		-	-	-		-	-
П.р. 6		2	1	-		1	4
Лаб.р. 2 (І Ч)		-	-	-		-	-
Лаб.р. 2 (ІІ Ч)		-	-	4	5	3	12
Разом змістовий модуль 2		6	3	4	5	5	24
Усього		14	7	8	10	11	50

**Оцінювання студентів протягом семестру
(заочна форма навчання)**

Поточне тестування та самостійна робота			Підсумковий тест (екзамен)	Сума в балах
Змістовий модуль 1	Змістовий модуль 2	Індивідуальне завдання		
15	15	20	50	100

Загальне оцінювання результатів вивчення навчальної дисципліни

Оцінка		
100-бальна шкала	Шкала ECTS	Національна шкала
90-100	A	5, «відмінно»
80-89	B	4, «добре»
75-79	C	
70-74	D	3, «задовільно»
60-69	E	
35-59	FX	2, «незадовільно»
0-34	F	

ЧАСТИНА 2

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДГОТОВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ ТА ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1

ОБ'ЄМНО-ПЛАНУВАЛЬНІ РІШЕННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ РІЗНИХ ТИПІВ ХОЛОДИЛЬНИКІВ

Тема 1. Розрахунок площі камер для зберігання овочів

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Типи холодильників і їх особливості.
2. Характеристика камер холодильників.
3. Визначення місткості і будівельної площі камер холодильників.
4. Основні керуючі документи при проектуванні.
5. Стадії проектування і планувальні рішення різних типів холодильників.
6. Вимоги, які пред'являються до планів холодильників.

2. Індивідуальне тестування.

3. Розв'язання практичних задач практичного заняття № 1: «Розрахунок площі камер для зберігання овочів».

Приклад виконання завдання

Завдання. Овочесховище – це самостійне підприємство, що дозволяє більш широко і повно використовувати холодильні ємності протягом року. Холодильник має місткість 2000 тонн, для зберігання картоплі припадає 25%, цибулі – 25%, моркви – 25%, буряків – 25%. Розрахувати площі камер для зберігання картоплі, цибулі, моркви та буряку [2].

Розрахунок площі камер зберігання картоплі.

Визначаємо загальну місткість вантажного обсягу камер зберігання картоплі:

$$B_{зб.к.} = B_{хол.} \times 25\% \quad (1.1)$$

$$B_{зб.к.} = 2000 \times 0,25 = 500 \text{ т}$$

Розрахуємо вантажний обсяг камер:

$$V_{вант.} = B_{зб.к.} / q_v \quad (1.2)$$

де $B_{зб.к.}$ – умовна місткість камер, т;

q_v – норма завантаження, т/м³ (картопля покладена у дерев'яні контейнери q_v 0,5 т/м³);

$$V_{вант.} = 500 / 0,5 = 1000 \text{ м}^3$$

Визначається вантажна площа камер:

$$F_{\text{вант.}} = V_{\text{вант.}}/h_{\text{вант.}}, \text{ м}^2 \quad (1.3)$$

де $h_{\text{вант.}}$ – вантажна висота або висота штабелю, м ($h_{\text{буд.}}=6$ м, то $h_{\text{буд.}}=5$ м)

$$F_{\text{вант.}} = 1000/5 = 200, \text{ м}^2$$

Визначаємо будівельну площу камер:

$$F_{\text{буд.}} = F_{\text{вант.}}/\beta F, \text{ м}^2 \quad (1.4)$$

де βF – коефіцієнт використання будівельної площі камер ($\beta F=0,75$)

$$F_{\text{буд.}} = 200/0,75 = 266 \text{ м}^2$$

Визначається число будівельних прямокутників:

$$n = f_{\text{буд.}}/f \quad (1.5)$$

де f – будівельна площа одного прямокутника

$$n = 266/72 = 4$$

Умовно приймається площа, яка дорівнює будівельним квадратам, тоді:

$$F_{\text{буд.}} = 72 \times 4 = 288, \text{ м}^2$$

Визначається умовна дійсна місткість камер:

$$B_{\text{зб.к.}} = B_{\text{хол.}} \times 25\% \quad (1.6)$$

де n_g – прийняте число будівельних прямокутників

$$B_g = 500 \times 4/3,7 = 540 \text{ т}$$

Так як в одній камері при овочесховищі має бути приблизно 250 т місткості вантажу (більше не рекомендується), то для зберігання картоплі виходить 2 камери.

Розрахунок площі камер зберігання цибулі.

Визначається загальна місткість камер зберігання цибулі:

$$B_{зб.к.} = B_{хол.} \times 25\% \quad (1.7)$$

$$B_{зб.к.} = 2000 \times 0,25 = 500 \text{ т}$$

Розрахуємо вантажний обсяг камер:

$$V_{вант.} = B_{зб.к.} / q' \quad (1.8)$$

де $B_{зб.к.}$ – умовна місткість камер, т.
 q' – норма завантаження, т/м³ (цибуля покладена в дерев'яних контейнерах $q' = 0,38 \text{ т/м}^3$)

$$V_{вант.} = 500 / 0,38 = 1315,8 \text{ м}^3$$

Визначаємо вантажну площу камер:

$$F_{вант} = V_{вант} / h_{вант}, \text{ м}^2 \quad (1.9)$$

$$F_{вант} = 1315,8 / 5 = 263 \text{ м}^2$$

Визначаємо будівельну площу камер:

$$F_{буд.} = F_{вант} / \beta F, \text{ м}^2 \quad (1.10)$$

де βF – коефіцієнт використання будівельної площі камер ($\beta F = 0,75$)

$$F_{буд.} = 263 / 0,75 = 350 \text{ м}^2$$

Визначається число будівельних прямокутників:

$$n = F_{буд.} / f \quad (1.11)$$

$$n = 350 / 72 = 5$$

Умовно приймається площа, яка дорівнює будівельним квадратам, тоді:

$$F_{буд.} = 72 \times 5 = 360, \text{ м}^2$$

Визначається умовна дійсна місткість камер:

$$B_g = B \times n_g / n, \text{ т} \quad (1.12)$$

де n_g – прийняте число будівельних прямокутників

$$B_g = 500 \times 5 / 4,86 = 514 \text{ т}$$

Так як в холодильнику, належить розташовувати одну камеру приблизно на 230 тонн місткістю, то для зберігання цибулі виходить 2 камери: №1 $F_{\text{буд.}} = 216 \text{ м}^2$ та $F_{\text{буд.}} = 144 \text{ м}^2$ тонн.

Розрахунок площі камер зберігання моркви.

Визначається загальна місткість вантажного обсягу камер зберігання моркви:

$$\begin{aligned} V_{\text{зб.к.}} &= V_{\text{хол.}} \times 25\% \\ V_{\text{зб.к.}} &= 2000 \times 0,25 = 500 \text{ т} \end{aligned}$$

Розрахуємо вантажний обсяг камер:

$$V_{\text{вант.}} = V_{\text{зб.к.}} / q' \quad (1.13)$$

де $V_{\text{зб.к.}}$ – умовна місткість камер, т.

q' – норма завантаження, т/м^3 (морква покладена в дерев'яних контейнерах $q' = 0,38 \text{ т/м}^3$)

$$V_{\text{вант.}} = 500 / 0,36 = 1390 \text{ м}^3$$

Визначається вантажна площа камер:

$$\begin{aligned} F_{\text{вант.}} &= V_{\text{вант.}} / h_{\text{вант.}}, \text{ м}^2 \\ F_{\text{вант.}} &= F_{\text{вант.}} = 1390 / 5 = 278 \text{ м}^2 \end{aligned}$$

Визначаємо будівельну площу камер:

$$F_{\text{вант.}} = F_{\text{вант.}} / \beta F, \text{ м}^2 \quad (1.14)$$

де βF – коефіцієнт використання будівельної площі камер ($\beta F = 0,75$)

$$F_{\text{буд.}} = 278 / 0,75 = 370 \text{ м}^2$$

Визначається число будівельних прямокутників:

$$\begin{aligned} n &= f_{\text{буд.}} / f \\ n &= 370 / 72 = 5 \end{aligned} \quad (1.15)$$

Умовно приймається площа, яка дорівнює будівельним квадратам, тоді:

$$F_{\text{буд.}} = 72 \times 5 = 360 \text{ м}^2$$

Визначається умовна дійсна місткість камер:

$$B_g = B \times n_g / n, \text{ т} \quad (1.16)$$

де n_g – прийняте число будівельних прямокутників

$$B_g = 500 \times 5 / 5,14 = 486,4 \text{ т}$$

Так як в холодильнику, належить розташовувати одну камеру приблизно 230 тон місткістю, то для зберігання моркви виходить 2 камери: №1 $F_{\text{буд.}} = 216 \text{ м}^2$ та №2 $F_{\text{буд.}} = 144 \text{ м}^2$ т.

Розрахунок площі камер зберігання буряків.

$$B_{\text{зб.к.}} = B_{\text{хол.}} \times 25\% \quad (1.17)$$

$$B_{\text{зб.к.}} = 2000 \times 0,25 = 500 \text{ т}$$

Розрахуємо вантажний обсяг камер:

$$V_{\text{вант.}} = B_{\text{зб.к.}} / q_{\text{у}} \quad (1.18)$$

де $B_{\text{зб.к.}}$ – умовна місткість камер, т.

$q_{\text{у}}$ – норма завантаження, т/м³ (буряк покладено в дерев'яних контейнерах $q_{\text{у}} = 0,46 \text{ т/м}^3$)

$$V_{\text{ван}} = 500 / 0,46 = 1087 \text{ м}^3$$

Визначається вантажна площа камер:

$$F_{\text{вант.}} = V_{\text{вант.}} / h_{\text{вант.}}, \text{ м}^2$$

$$F_{\text{ван}} = 1087 / 5 = 217,4, \text{ м}^2$$

Визначаємо будівельну площу камер:

$$F_{\text{вант.}} = F_{\text{вант.}} / \beta F, \text{ м}^2 \quad (1.19)$$

$$F_{\text{буд}} = 217,4 / 0,75 = 290 \text{ м}^2$$

де βF – коефіцієнт використання будівельної площі камер ($\beta F = 0,75$)

Визначається число будівельних прямокутників:

$$n = f_{\text{буд.}} / f \quad (1.20)$$

$$n = 290 / 72 = 4$$

Місткість однієї камери повинна відповідати приблизно 250 тон, то буде дві камери зберігання буряків: №1 $F_{\text{буд}} = 145 \text{ м}^3$ та №2 $F_{\text{стр}} = 145 \text{ м}^3$.

Таблиця 1.1 – Варіанти завдань

Варіант	Холодильник, т	Картопля, %	Цибуля, %	Морква, %	Буряк, %
1, 8	2000	25	25	25	25
2, 9	1000	30	20	25	25
3, 10	1000	30	30	-	40
4, 11	2000	-	30	40	30
5, 12	3000	30	20	20	30
6, 13	2500	20	30	25	25
7, 14	1000	40	30	-	30

Тема 2. Планування холодильника

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Основні керуючі документи при проектуванні.
2. Стадії проектування і планувальні рішення різних типів холодильників.
2. Вимоги, які пред'являються до планів холодильників.

2. Індивідуальне тестування.

3. Розв'язання практичних задач практичного заняття № 2: «Планування холодильника».

Приклад виконання завдання

Завдання. Здійснити планування холодильника для овочесховища місткістю 2000 т [2].

База для овочів із загальною місткістю 2000 тонн містить такі виробничі приміщення: камери зберігання овочів, приміщення товарної обробки (переробка, фасування, упаковка), експедиція для приймання і відпуску продукції. Сітку колон вибирається 6х12 м, тому що цей вибір доцільний для даного холодильника.

Площу, що відводиться для допоміжних приміщень (коридор, тамбур, експедиція завантаження і розвантаження тощо), приймають рівною 20-40% від суми охолоджуваних приміщень холодильника.

Визначаємо площу допоміжних приміщень:

$$F_{\text{доп.}} = (0,2 \dots 0,4) \times \Sigma F_{\text{буд}}, \text{ м}^2 \quad (2.1)$$

де $\Sigma F_{\text{буд.}}$ – сумарна площа охолоджуваних приміщень, м^2

$$F_{\text{доп.}} = 0,4 \times \Sigma (288 + 360 + 360 + 290) = 520 \text{ м}^2$$

Визначаємо кількість будівельних прямокутників:

$$n = F_{\text{доп.}}/f \quad (2.2)$$

Умовно приймається площа допоміжних приміщень за таким порядком:

а) з розташування плану холодильника виходить 3 будівельних прямокутника на частку коридору $F_{\text{кор}} = 216 \text{ м}^2$;

б) на частку цеху залишається 4 будівельних прямокутника $F_{\text{цех}} = 288 \text{ м}^2$.

Площу, що відводиться на експедицією (для приймання і відпуски продукту) і службово-побутового приміщення в сумі приймають рівною 20-30% від суми площ охолоджуваних приміщень.

Обчислюємо площу допоміжних приміщень за формулою:

$$F_{\text{доп}} = (0,2 \dots 0,3) \times \Sigma F_{\text{буд}}$$
$$F_{\text{доп}} = 0,27 \times \Sigma (288 + 360 + 360 + 290) = 351 \text{ м}^2 \quad (2.3)$$

Визначаємо кількість будівельних прямокутників:

$$n = F_{\text{доп.}}/f$$
$$n = 351/72 = 5 \quad (2.4)$$

Розрахувавши площу холодильника, вибирають планування холодильника.

Умовно приймаємо площу допоміжних приміщень рівній 5 будівельним прямокутникам, тоді $F_{\text{доп}} = 72 \times 5 = 360 \text{ м}^2$.

З розташування плану холодильника на частку експедиції буде 4 будівельних прямокутника $F_{\text{екс}} = 288 \text{ м}^2$, $F_{\text{сл}} = 71 \text{ м}^2$.

Для кращої організації і швидкого виконання вантажних операцій, холодильник передбачає автомобільну платформу, яка розташовується вздовж довжини холодильника. Авто-платформа має ширину 7-9 м, а довжина її уздовж довжини холодильника. Загальна площа всіх приміщень холодильника у всьому контурі огорож овочесховища, становить:

$$F_{\text{заг}} = \Sigma F_{\text{доп}} + \Sigma F_{\text{к.зб}}, \text{ м}^2 \quad (2.5)$$

де $\Sigma F_{\text{доп}}$ – сума площ всіх допоміжних приміщень, м^2

$\Sigma F_{\text{к.зб}}$ – сума площ камер зберігання овочесховища, м^2

$$F_{\text{заг}} = \Sigma 9504 + 360 + \Sigma (290 + 360 + 360 + 290) = 2164 \text{ м}^2$$

Визначають кількість будівельних прямокутників:

$$n = F_{\text{заг}}/f$$

$$n = 2164/72 = 30 \quad (2.6)$$

Таблиця 2.1 – Варіанти завдань

Варіант	Холодильник, т	Картопля, %	Цибуля, %	Морква, %	Буряк, %
1, 8	2000	25	25	25	25
2, 9	1000	30	20	25	25
3, 10	1000	30	30	-	40
4, 11	2000	-	30	40	30
5, 12	3000	30	20	20	30
6, 13	2500	20	30	25	25
7, 14	1000	40	30	-	30

Тема 3. Розрахунок товщини теплоізоляційного шару огорожуючих конструкцій камер холодильника

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Класифікація і основні властивості тепло- і гідроізоляційних матеріалів
2. Вимоги до теплоізоляційних конструкцій.
3. Ізоляція стін, перегородок, перекриття та покриття.
4. Ізоляція теплових містків, пристінних ділянок підлог.
5. Ізоляція холодильних трубопроводів.

2. Індивідуальне тестування.

3. Виконання практичної та лабораторної роботи.

3. Розв'язання практичних та лабораторних задач.

3.1. Розв'язання практичних задач практичного заняття № 3: «Розрахунок товщини теплоізоляційного шару огорожуючих конструкцій камер холодильника».

Приклад виконання завдання

Завдання. Виконати розрахунок товщини теплоізоляційного шару огорожуючих конструкцій камер холодильника [2, 3, 4].

Для зменшення теплопритоків в охолоджувані камери через зовнішні огорожі, огорожі камер покривають тепловою ізоляцією. Для теплової ізоляції застосовують матеріали органічного і не органічного походження, а

також синтетичні. Для захисту від гризунів поверх ізоляції під штукатуркою на висоті 0,7 м від підлоги прокладають металеву сітку з осередками 10х10 мм із загином сітки під підлогу.

Для розрахунку товщини теплоізоляційного шару огорож необхідно знати температуру повітря всередині камер, а для зовнішніх стін також середньорічну температуру зовнішнього повітря. Товщину теплоізоляційного шару огорожі розраховуємо для всіх камер.

Покриття охолоджуваних камер.

В якості розрахункової конструкції приймаємо конструкцію покриття в камері зберігання мороженої продукції. Необхідний коефіцієнт теплопередачі покриття $k_0^{mp} = 0,22$ Вт/(м²·К). Коефіцієнт тепловіддачі для внутрішньої поверхні приймаємо $\alpha_e = 9$ Вт/(м²·К), $\alpha_n = 23$ Вт/(м²·К).

Необхідну товщину теплоізоляційного шару $\delta_{уз}^{mp}$, м, розрахуємо за формулою:

$$\delta_{уз}^{mp} = \lambda_{уз} \left(\frac{1}{k_0^{mp}} - \left(\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e} \right) \right) \quad (3.1)$$

де $\lambda_{уз}$ – коефіцієнт теплопровідності ізоляційного шару конструкції, Вт/(м·К);

k_0^{mp} – необхідний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К);

α_n – коефіцієнт тепловіддачі із зовнішньої сторони огорожі, Вт/(м²·К);

δ_i – товща і-го шару конструкції огорожі, м;

λ_i – коефіцієнт теплопровідності і-го шару конструкції огорожі, Вт/(м²·К);

α_e – коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої сторони огорожі, Вт/(м²·К).

$$\delta_{уз}^{mp} = 0,05 \cdot \left(\frac{1}{0,22} - \left(\frac{1}{23} + 0,079 + \frac{1}{9} \right) \right) = 0,218$$

Приймаємо товщину ізоляційного шару 225 мм.

Підлоги охолоджуваних приміщень.

Теплоізоляцію підлог всіх камер приймаємо однаковою. В якості розрахункової конструкції приймаємо конструкцію підлоги в камерах зберігання морожених продуктів $t_e = -20$ °С.

Необхідний коефіцієнт теплопередачі підлоги $k_0^{mp} = 0,21$ Вт/(м²·К). Сумарний термічний опір шарів конструкції (крім теплоізоляції) розрахуємо згідно формулі:

$$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = 2,43 \text{ Bm/}_{\text{M}^2 \cdot \text{K}} \quad (3.2)$$

Коефіцієнт теплопровідності ізоляційного шару конструкції приймаємо $\lambda_{uz} = 0,05 \text{ Bm/}_{\text{M}^2 \cdot \text{K}}$

Необхідну товщину ізоляційного шару δ_{uz}^{mp} , м, розрахуємо за формулою:

$$\delta_{uz}^{mp} = 0,05 \cdot \left(\frac{1}{0,21} - \left(2,51 + \frac{1}{7} \right) \right) = 0,142$$

Приймаємо товщину ізоляційного шару 150 мм. Оскільки прийнята товщина теплоізоляції відрізняється від необхідної, тому визначаємо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі k_0^δ , Вт/(м²·К) за формулою:

$$k_0^\delta = \frac{1}{\left(2,43 + \frac{1}{7} \right) + \frac{0,125}{0,05}} = 0,182$$

Внутрішні стіни.

Приймаємо, що стіни між охолоджуваними приміщеннями та вантажним коридором виконані з керамзитобетонних панелей 240 мм, з теплоізоляцією з ППУ.

Внутрішні перегородки.

Приймаємо, що всі внутрішні перегородки між камерами виконані залізобетонними товщиною 80 мм. Товщину теплоізоляційного шару приймаємо в залежності від температур в камерах поділених перегородкою.

Зовнішні стіни.

В якості розрахункової конструкції зовнішніх стін приймаємо конструкцію стін в камерах зберігання заморожених вантажів $k_0^{mp} = -20^\circ\text{C}$. Необхідний коефіцієнт теплопередачі покриття $k_0^{mp} = 0,23 \text{ Вт/}_{\text{M}^2 \cdot \text{K}}$.

Необхідну товщину теплоізоляційного шару δ_{uz}^{mp} , м, розрахуємо за формулою:

$$\delta_{uz}^{mp} = 0,05 \cdot \left(\frac{1}{0,23} - \left(\frac{1}{23} + 0,109 + \frac{1}{9} \right) \right) = 0,202$$

Приймаємо товщину ізоляційного шару 225 мм (два шари по 100 мм). Оскільки прийнята товщина теплоізоляції не суттєво відрізняється від

необхідного дійсного значення коефіцієнта теплопередачі k_0^a Вт/(м²·К) приймаємо рівним $k_0^{mp} = 0,21$ Вт/(м²·К).

3.2. Лабораторна робота «Виконання розрахунку товщини теплоізоляційного шару огорожуючих конструкцій камер холодильника за допомогою програмного модуля Ansys Icerak»

Мета роботи: Оволодіти методами розрахунку товщини теплоізоляційного шару огорожуючих конструкцій камер холодильника за допомогою програмного модуля Ansys Icerak

Теоретична частина

Програма ANSYS пропонує широкий спектр можливостей елементного аналізу, починаючи від простого лінійного стаціонарного аналізу і закінчуючи комплексним нелінійним аналізом перехідних процесів. Довідкові матеріали щодо набору документації ANSYS описують специфічні для різних інженерних дисциплін методи вирішення завдань. Рішення типовою для ANSYS завдання включає наступні три етапи:

1. Побудова моделі.
2. Завдання навантажень і отримання рішення.
3. Огляд результатів

На побудову елементної моделі йде більше часу, ніж на виконання будь-якої іншої частини аналізу. На початку задаємо ім'я розв'язуваної задачі (/FILENAME:GUI:→Utility Menu→File→Change Jobname) і заголовок аналізу (/TITLE: Utility Menu→File→Change Title).

Потім, використовуючи препроцесор PREP7, визначаємо типи елементу (/UNITS→...BEAM4, PLANE77, SOLID96...), речові константи елементу (REAL: Main Menu→Preprocessor→Modeling→Create→Elements→Elem Attributes), властивості матеріалу і геометрію моделі.

ANSYS володіє інтуїтивно зрозумілим, ієрархічним інтерфейсом, призначеним для завдання моделей матеріалу. Логічне розташування категорій матеріалу дозволяє легко задати відповідну модель для вашого аналізу. Маємо можливість використовувати інтерфейс моделі матеріалу при виконанні будь-якого аналізу в ANSYS за винятком CFD аналізу, який вимагає виконання команд сімейства FLDATA.

Інтерфейс моделі матеріалу викликається при виборі наступного маршруту Menu→Preprocessor→Material Props→Material Models. З'являється діалогове вікно Define Material Model Behavior (Установка поведінки моделі матеріалу), що в початковий момент відображає верхній рівень деревовидної структури.

У вікні Material Models Available (доступні моделі матеріалу) з правого боку перераховані категорії матеріалу (наприклад, Структурний, Тепловий, Електромагнітний).

Наприклад, категорія Structural містить такі підкатегорії, як Linear, Nonlinear тощо.

Моделі категоризованні таким чином, що в кінцевому рахунку побачимо вертикальний список наборів властивості матеріалу або моделі матеріалу, що включені в цю категорію (наприклад, під Mises Plasticity знаходяться: Bilinear, Multilinear, і Nonlinear). Після того, як оберемо який набір властивостей матеріалу або модель буде використовувати, двічі необхідно клацнути по вибраному пункту. З'являється діалогове вікно, яке пропонує ввести дані для цієї моделі.

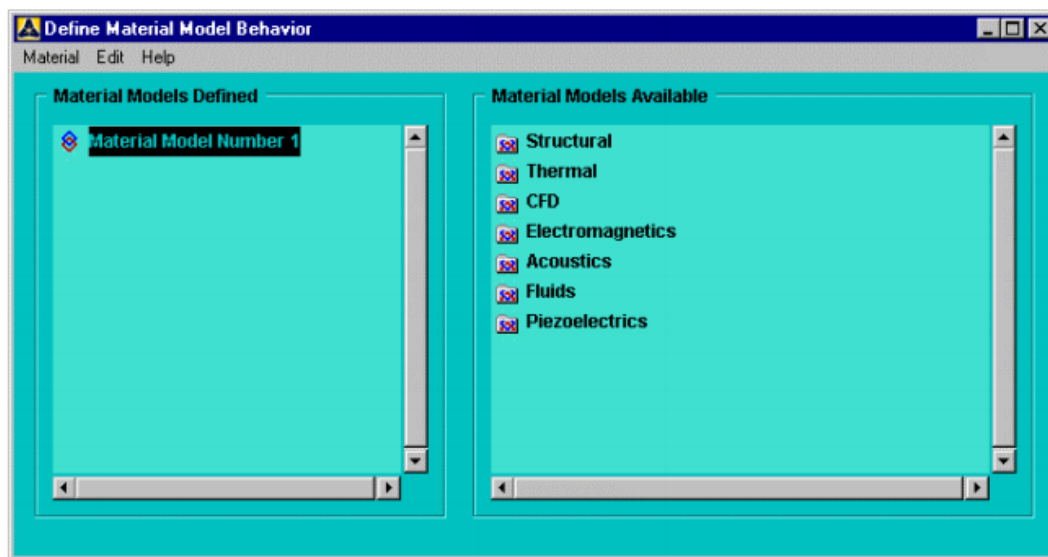


Рис.1 – Початковий вид інтерфейсу моделі матеріалу

Експериментальна частина

Послідовність виконання роботи:

1. Транслювати модель з CAD системи. Перевірити модель на існуючі помилки за допомогою функції «Check module».
2. Поставити властивості матеріалів.
3. Згенерувати сітку. Після того, як процес генерації сітки завершено, відкриваємо модуль «Display» та оцінюємо якість збудованої сітки. Управляючи параметрами «Відображення сітки», змінюємо положення січної площини.
4. Закріпити модель.
5. Прикласти навантаження.
6. Вибрати параметри розв'язувачу.
7. Поставити список розрахункових результатів і провести розрахунок. Для цього нажимаємо кнопку «Run soft». Наступним кроком, обираємо вкладку «Soft», задаємо ім'я розрахунку, запускаємо розв'язувач. Ісерак формує пакет з даними моделі та передає їх для рішення у «Fluent».
8. Переглянути розрахункові результати. Після того як рішення зійшлося «Fluent» автоматично передає результати до Ice pack. Переходимо

до постпроцесінгу: використовуючи функцію «Play CAD» оберемо січну площину переглянемо параметри, в Ісерак є можливість відобразити параметри на панелі, тим самим обраємо картину, що найбільш зрозуміла для сприйняття розрахунку.

9. Згенерувати звіт.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. ОСНОВНЕ ТА ДОПОМІЖНЕ ОБЛАДНАННЯ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ

Тема 4. Розрахунок теплопритоків в охолоджувані приміщення холодильника

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Мета теплового розрахунку.
2. Розрахунки теплонадходжень в камери холодильників.

2. Індивідуальне тестування.

3. Розв'язання практичних задач практичного заняття № 4: «Розрахунок теплопритоків в охолоджувані приміщення холодильника».

Приклад виконання завдання

Завдання. Виконати розрахунок теплопритоків в охолоджувані приміщення холодильника [2, 3, 4]

Розрахунок теплопритоків від навколишнього середовища через огорожі

Загальний теплоприток, $Q_{об}$, Вт визначаємо за формулою:

$$Q_{об} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (4.1)$$

де Q_1 – теплоприток від навколишнього середовища через огорожу конструкції камери, Вт;

Q_2 – теплоприток від продуктів при їх холодильній обробці, Вт;

Q_3 – теплоприток від вентиляції, Вт;

Q_4 – теплоприток, пов'язаний з експлуатацією камери, Вт камери.

Теплоприток від навколишнього середовища через огорожі, Q_1 , Вт, визначаємо за формулою:

$$Q_1 = Q_{1т} + Q_{1с}, \quad (4.2)$$

де $Q_{1т}$ – теплоприток, що виникає під впливом різниці температур зовнішнього повітря і повітря в камері, Вт;

$Q_{1с}$ – теплоприток, що виникає під впливом сонячної радіації, Вт.

Теплоприток, що виникає під впливом різниці температур зовнішнього повітря і повітря в камері, $Q_{1т}$, Вт визначаємо за формулою:

$$Q_{1т} = \frac{F \cdot (t_n - t_{пм})}{R_d}, \quad (4.3)$$

де t_n , $t_{пм}$ – різницю температур зовнішнього повітря і повітря в камері, °C.

Для легких огорож температуру зовнішнього повітря, $t_{нр}$, °C, визначаємо за формулою:

$$t_{нр} = 0,4 \cdot t_{ср.мес.} + 0,6 \cdot t_{аб.мах}, \quad (4.4)$$

де $t_{ср.мес.}$ – середньомісячна температура;

$t_{аб.мах}$ – температура абсолютного максимуму $t_{аб.мах} = 35^\circ\text{C}$.

Теплоприток, що виникає під впливом сонячної радіації, $Q_{1с}$, Вт, визначаємо за формулою:

$$Q_{1с} = \frac{F \cdot \Delta t_c}{R_d}, \quad (4.5)$$

де Δt_c – надлишкова різниця температур, яка характеризує сонячну радіацію в літній час, °C.

Теплоприток через підлогу, розташовану на ґрунті і має обігрівальні пристрої, $Q_{1п}$, Вт визначаємо за формулою:

$$Q_{1п} = \frac{F \cdot (t_{ср} - t_{пм})}{R_d}, \quad (4.6)$$

де $t_{ср}$ – середня температура шару з нагрівальними пристроями, °C.

Якщо підлога, розташована на ґрунті і не має обігрівальних пристроїв, то теплоприток, $Q_{1п}$, Вт, визначаємо підсумовуванням тепловтрат через умовні зони шириною 2м за формулою:

$$Q_{1п} = (t_n - t_{пм}) \cdot m \cdot \sum_{i=1}^4 (k_{усл.} \cdot F_i), \quad (4.7)$$

де $k_{усл.}$ – умовний коефіцієнт теплопередачі відповідної зони підлоги, Вт/(м²·K). Для 1; 2; 3; 4 зон приймають $k_{усл.}=0,45; 0,23; 0,12; 0,07$ Вт/(м²·K) відповідно;

F_i – площа відповідної зони підлоги, м²;

m – коефіцієнт, що характеризує відносне зростання термічного опору при наявності ізоляції, визначаємо за формулою:

$$m = \frac{1}{1 + 1,25 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}}. \quad (4.8)$$

Розрахуємо величину теплопритоків від навколишнього середовища через огорожі в камері №5:

$$t_{\text{нр}} = 0,4 \cdot 22 + 0,6 \cdot 35 = 29,8.$$

$$Q_{1\text{т-коридор}} = \frac{24 \cdot 6 \cdot (29,8 - 0)}{2,74} = 1568.$$

$$Q_{1\text{т-цех}} = \frac{24 \cdot 6 \cdot (18 - 0)}{3,22} = 804.$$

$$Q_{1\text{т-кам.6}} = \frac{18 \cdot 6 \cdot (4 - 0)}{2,22} = 130.$$

$$Q_{1\text{т-кам.4}} = \frac{18 \cdot 6 \cdot (0 - 0)}{1,72} = 0.$$

$$Q_{1\text{т-покp}} = \frac{24 \cdot 18 \cdot (29,8 - 0)}{2,74} = 4081.$$

$$m = \frac{1}{1 + 1,25 \cdot \left(\frac{0,04}{1,86} + \frac{0,08}{1,86} + \frac{0,001}{0,15} + \frac{0,025}{0,98} + \frac{1,35}{0,56} + \frac{0,02}{0,032} \right)} = 0,203.$$

$$Q_{1\text{п}} = (1 - 0) \cdot 0,203 \cdot 24 \cdot 0,07 \cdot 18 = 6152.$$

$$Q_{1\text{с}} = \frac{24 \cdot 18 \cdot 5,9}{3,15} = 808.$$

$$Q_1 = 1568 + 804 + 130 + 0 + 4081 + 6152 + 808 = 13543.$$

Площі камер, температурні напори, а також підсумки розрахунків теплопритоків від навколишнього середовища через огорожі наведено в Додатку Б.

Розрахунок теплопритока під час термічної обробки продуктів

Загальний теплоприток при термічній обробці продуктів, Q_2 , Вт, визначаємо за формулою:

$$Q_2 = Q_{2\text{п}} + Q_{2\text{т}}, \quad (4.9)$$

де $Q_{2\text{п}}$ – теплоприток від продуктів в камерах зберігання, Вт;

$Q_{2\text{т}}$ – теплоприток від тари в камерах, Вт.

Теплоприток від продуктів в камері схову, $Q_{2\text{п}}$, Вт визначаємо за формулою:

$$Q_{2п} = \frac{M_{\text{сут.}} \cdot (h_n - h_k) \cdot 10^3}{24 \cdot 3600}, \quad (4.10)$$

де $M_{\text{сут.}}$ – добове надходження продуктів в камеру, т/добу;

h_n – початкова ентальпія риби при температурі надходження, кДж/кг;

h_k – кінцева ентальпія риби при температурі в камері, кДж/кг.

Добове надходження продуктів в камеру становить 8% від місткості камери, якщо камера менш 200т і 6%, якщо камера більш 200т.

Місткість камери, $E_{\text{кам.}}$ т. визначаємо за формулою:

$$E_{\text{кам.}} = F \cdot h_{\text{гр.}} \cdot q_v \cdot \beta_F, \quad (4.11)$$

Теплоприток від тари в камері, $Q_{2т}$, Вт, визначаємо за формулою:

$$Q_{2т} = \frac{M_t \cdot (t_1 - t_2) \cdot 10^3}{24 \cdot 3600}, \quad (4.12)$$

де M_t – добове надходження тари в камеру, прийняте пропорційно добовому надходженню продукту, т/добу. Для пластмаси 20%, для картону 10%;

c_t – питома теплоємність тари, кДж / (кг · °K). Для пластмаси $c_t = 2,09$ кДж/(кг · °K); для картону $c_t = 1,67$ кДж/(кг · °K) [1];

t_1 – температура надходження тари - початкова температура продукту, °C;

t_2 – кінцева температура тари – кінцева температура продукту, °C.

Розрахуємо величину теплопритоків від термічної обробки продуктів для камери №5.

Добове надходження продуктів в камеру становить 6%, так як камера більш 200т. то добове надходження тари в камері приймаємо 20% від добового надходження продукту.

$$E_{\text{кам.}} = 432 \cdot 5 \cdot 0,75 \cdot 0,6 = 972 \cdot$$

$$Q_{2п} = \frac{972 \cdot 0,06 \cdot (293 - 266) \cdot 10^3}{24 \cdot 3600} = 18225 \cdot$$

$$Q_{2т} = \frac{972 \cdot 0,06 \cdot 0,2 \cdot 2,09 \cdot (8 - 0) \cdot 10^3}{24 \cdot 3600} = 2257 \cdot$$

$$Q_2 = 18225 + 2257 = 20482 \cdot$$

Підсумки розрахунків теплопритоків при термічній обробці

продуктів наведено в Додатку В.

Розрахунок теплопритоків від зовнішнього повітря при вентиляції камери

У холодильнику вентилюються камери, в яких зберігається продукт з різким запахом (солоне, копчена риба), а також де працює велика кількість людей. У проектуваному холодильнику не вентилюються тільки камери зберігання замороженої риби.

Теплоприток від зовнішнього повітря при вентиляції камери, Q_3 , Вт, визначаємо за формулою:

$$Q_3 = \frac{V_{\text{стр}} \cdot \rho_{\text{пм}} \cdot a \cdot (h_{\text{м}} - h_{\text{пм}}) \cdot 10^3}{24 \cdot 3600}, \quad (4.13)$$

де $V_{\text{стр}}$ – будівельний об'єм камери, м^3 ;

$\rho_{\text{пм}}$ – щільність повітря камери при $t_{\text{пм}}$, $\text{кг}/\text{м}^3$;

a – кратність циркуляції. Приймаємо 4;

$h_{\text{н}}$ – ентальпія зовнішнього повітря при $t_{\text{н}}$, $\text{Ф}_{\text{н}}$;

$h_{\text{пм}}$ – ентальпія повітря камери при $t_{\text{пм}}$, $\text{Ф}_{\text{пм}}$.

Ентальпії повітря визначаємо по p - h діаграмі вологого повітря. Розрахуємо величину теплопритоку від зовнішнього повітря при вентиляції для камери №5.

$$Q_3 = \frac{432 \cdot 6 \cdot 1,275 \cdot 4 \cdot (88 - 9) \cdot 10^3}{24 \cdot 3600} = 12087.$$

Підсумки розрахунків теплопритоків від зовнішнього повітря при вентиляції камер наведено в Додатку В.

Розрахунок експлуатаційних теплопритоків

Експлуатаційні теплопритоки пов'язані з обслуговуванням охолоджуваних приміщень. Експлуатаційні теплопритоки, Q_4 , Вт, визначаємо за формулою:

$$Q_4 = Q_4' + Q_4'' + Q_4''' + Q_4''', \text{ Вт}, \quad (4.14)$$

де Q_4' – теплоприток від електричного освітлення, Вт;

Q_4'' – теплоприток від електродвигунів, Вт;

Q_4''' – теплоприток від перебування людей, Вт;

Q_4'''' – теплоприток від відкривання дверей, Вт.

Теплоприток від електричного освітлення, Q_4' , Вт визначаємо за формулою:

$$Q_4' = q_4' \cdot F, \quad (4.15)$$

де q_4' – відносна потужність освітлювальних приладів, Вт/м².

Для складських приміщень $q_4' = 2,3$ Вт/м², для виробничих приміщень $q_4' = 4,7$ Вт/м².

Теплоприток від електродвигунів Q_4'' , Вт визначається за формулою:

$$Q_4'' = q_4'' \cdot F, \quad (4.16)$$

де q_4'' – відносна потужність електродвигунів, Вт/м². Для камер, обладнаних повітроохолоджувачем $q_4'' = 10-20$ Вт/м². Приймаємо $q_4'' = 15$ Вт/м².

Теплоприток від перебування людей Q_4''' , Вт, визначаємо за формулою:

$$Q_4''' = 350 \cdot n, \quad (4.17)$$

де n – число людей, що працюють в приміщенні. Приймаємо $n = 3$.

Теплоприток від відкривання дверей Q_4'''' , Вт, визначаємо за формулою:

$$Q_4'''' = \beta \cdot q_{\text{дп}} \cdot F_{\text{дп}} \cdot (1 - \eta) \cdot 10^3, \quad (4.18)$$

де β – коефіцієнт, що враховує тривалість і частоту вантажних операцій

Для камер зберігання виробничих холодильників $\beta = 0,15$;

$q_{\text{дп}}$ – щільність теплового потоку, кВт/м²;

$F_{\text{дп}}$ – площа дверного отвору, м²;

η – коефіцієнт ефективності засобів теплового захисту. Приймаємо повітряну завісу, у якій $\eta = 0,6$.

Розрахуємо величину експлуатаційних теплопритоків для камери №5.

$$Q_4' = 2,3 \cdot 432 = 994.$$

$$Q_4'' = 15 \cdot 432 = 6480.$$

$$Q_4''' = 350 \cdot 3 = 1050.$$

$$Q_4'''' = 0,15 \cdot 3,7 \cdot 6 \cdot (1 - 0,6) \cdot 10^3 = 1332.$$

$$Q_4 = 994 + 6480 + 1050 + 1332 = 9856.$$

Відносна потужність освітлювальних приладів і щільність теплового потоку, а також підсумки розрахунків експлуатаційних теплопритоків наведені в Додатку Г.

Тема 5. Розрахунок і підбір компресорів.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Вибір температурного режиму холодильної установки.
2. Вибір типу і кількості одноступеневих і двоступеневих компресорів (агрегатів).
3. Вибір кількості і типу конденсаторів, випарників.

2. Індивідуальне тестування.

3. Розв'язання практичних задач практичного заняття № 5: «Розрахунок і підбір компресорів».

Приклад виконання завдання

Завдання. Виконати розрахунок і підбір компресорів [2].

Вихідними даними для теплового розрахунку холодильної машини є: навантаження на компресор, що визначається при розрахунку теплоприймачів з урахуванням втрат в системі, температурний режим роботи, вид холодоагенту.

Так як для камер зберігання №1, №2 та камер №7, №8 температура кипіння холодоагенту в приладах охолодження буде однаковою ($t_0 = -7^{\circ}\text{C}$), через температуру повітря в камерах. $t_b = + 2 \dots + 5^{\circ}\text{C}$, то навантаження на компресор для цих камер зберігання перетвориться в середні значення (з запасом).

Якщо для камер №1 і №2 $Q_{0\text{км}} = 70 \text{ кВт}$, а для камер №7 і №8 $Q_{0\text{ км}} = 73,2 \text{ кВт}$, то середнє (з запасом кВт) $Q_{0\text{км}} = 74 \text{ кВт}$.

Вибираємо робочий режим одноступінчастої холодильної установки для камери зберігання №1, №2 та №7, №8.

а) температура кипіння холодоагенту (R22) t_0 дорівнює:

$$t_0 = t_b - (7-10), ^{\circ}\text{C} \quad (5.1)$$

$$t_0 = -6^{\circ}\text{C}$$

б) температура конденсації на $3-5^{\circ}\text{C}$ вище температури води, що відходить з конденсатора:

$$t_k = t_{\text{вд2}} + (3-5), ^{\circ}\text{C} \quad (5.2)$$

де $t_{\text{вд2}}$ – температура води, що виходить з конденсатора дорівнює $+ 29^{\circ}\text{C}$.

$$t_k = 32^{\circ}\text{C}$$

в) температуру всмоктування холодоагенту (R22) вибирається за формулою:

$$t_{\text{вс}} = 15 - 25^{\circ}\text{C} \quad (5.3)$$

$$t_{\text{вс}} = 18^{\circ}\text{C}$$

г) охолодження (навантаження на компресор)

$$Q_{0\text{KM}} = 74 \text{ кВт}$$

Режим роботи: $t_0 = 10^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{вс}} = + 10^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{к}} = 25^{\circ}\text{C}$.

Будується цикл одноступінчастої холодильної машини в діаграмі $i\text{-lg } P$ і знаходимо параметри потрібних точок (Додаток Д).

1. Визначаємо питому масову холодопродуктивність холодоагенту, кДж/кг:

$$\begin{aligned} q_0 &= i_1 - i_4 \\ q_0 &= 602,5 - 540 = 62,5 \text{ кДж/кг} \end{aligned} \quad (5.4)$$

2. Розраховуємо дійсну масу всмоктуючої пари, кг/с:

$$\begin{aligned} mg &= Q_0/q_0 \\ mg &= 75/62,5 = 1,2 \text{ кг/с} \end{aligned} \quad (5.5)$$

3. Дійсну об'ємну подачу, м³/с:

$$\begin{aligned} V_{\text{д}} &= mg \times v \\ V_{\text{д}} &= 1,2 \times 0,06 = 0,072 \text{ м}^3/\text{с} \end{aligned} \quad (5.6)$$

4. Індикаторний коефіцієнт подачі:

$$\begin{aligned} \lambda_i &= ((\rho_0 - \Delta \rho_{\text{вс}})/\rho_0) - (c ((\rho_{\text{к}} + \Delta \rho_{\text{н}}) / \rho_0 - (\rho_0 - \Delta \rho_{\text{в}})/\rho_0)) \\ \lambda_i &= 0,876 \end{aligned} \quad (5.7)$$

5. Коефіцієнт невидимих втрат для не прямоточних компресорів:

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{w1}} &= T_0 / (T_{\text{к}} + 26) \\ \lambda_{\text{w1}} &= 266,1 / (304,1 + 26) = 0,81 \end{aligned} \quad (5.8)$$

6. Визначається коефіцієнт подачі компресора:

$$\begin{aligned} \lambda &= \lambda_i \times \lambda_{\text{w1}} \\ \lambda &= 0,876 \times 0,81 = 0,71 \end{aligned} \quad (5.9)$$

7. Теоретична об'ємна подача, м³/с:

$$V_{\text{т}} = V_{\text{д}}/\lambda \quad (5.10)$$

$$V_T = 0,0722/0,71 = 0,101 \text{ м}^3/$$

8. Питома об'ємна холодопродуктивність в робочих умовах, кДж/м³:

$$\begin{aligned} q_v &= q_0/v_1 \\ q_v &= 61,4/0,06 = 1023 \text{ кДж/м}^3 \end{aligned} \quad (5.11)$$

9. Коефіцієнт подачі компресора в стандартних умовах:

$$\begin{aligned} \lambda_H &= \lambda_{in} \times \lambda_{wh} \\ \lambda_H &= 0,84 \times 0,81 = 0,68 \end{aligned} \quad (5.12)$$

10. Номінальна холодопродуктивність, кВт:

$$\begin{aligned} Q_{OH} &= Q_o (q_{vH} \times \lambda_H) / (q_0 \times \lambda) \\ Q_{OH} &= 71 (2134 \times 0,672) / (1267,3 \times 0,6) = 117,4 \text{ кВт} \end{aligned} \quad (5.13)$$

11. Визначається адіабатна потужність, кВт:

$$\begin{aligned} N_a &= mg (i_2 - i_{11}) \\ N_a &= 1,23 (755 - 719) = 43 \text{ кВт} \end{aligned} \quad (5.14)$$

12. Індикаторний коефіцієнт корисної дії:

$$\eta_i = \lambda_{w1} + b t_0 \quad (5.15)$$

де t_0 – температура кипіння,

b – емпіричний коефіцієнт для холодонових машин і $b = 0,0035$.

$$\eta_i = 0,81 + 0,0035 \times (-7) = 0,77$$

13. Індикаторна потужність, кВт:

$$\begin{aligned} N_i &= N_a / \eta_i \\ N_i &= 44 / 0,76 = 57,4 \text{ кВт} \end{aligned} \quad (5.16)$$

14. Потужність тертя, кВт:

$$N_{тр} = V_T \times \rho_{тр} \quad (5.17)$$

де $\rho_{тр}$ – питомий тиск тертя, кПа

$$N_{тр} = 0,105 \times 30 = 3,15 \text{ кВт}$$

15. Ефективна потужність, кВт:

$$N_e = N_i + N_{тр}$$

$$N_e = 56,3 + 3,15 = 59,45 \text{ кВт} \quad (5.18)$$

16. Потужність на валу двигуна:

$$N_{дв} = N_e (1,1-1,11)/\eta_n \quad (5.19)$$

де η_n – береться від 0,95-0,99

$$N_{дв} = (59,42 \times 1,1) / 0,96 = 67,2$$

17. Ефективна питома холодопродуктивність:

$$V_t = V_d/l \quad (5.20)$$

$$E_e = Q_o/N_e \quad (5.21)$$

$$E_e = 75/59,42 = 1,25$$

18. Визначається тепловий потік в конденсаторі:

$$Q_k = mg (i_2 - i_3) \quad (5.22)$$

$$Q_k = 1,23 (755-540) = 264,3$$

Відповідно до отриманих даних було підібрано одноступінчасті компресори: чотири компресора марки: ПБ-100 (поршневий без сальниковий, працює на R22 та на маслі ХФ-22-24).

Технічні характеристики ПБ-100:

$$Q_{o.н км} = 85,6 \text{ кВт}, N_{ел} = 26,5 \text{ кВт}, V_T = 0,0678 \text{ м}^3/\text{с}$$

Діаметр циліндрів 76 мм, хід поршня 66 мм. Кількість циліндрів у ПБ-80 – вісім.

Частота обертання валу $24,2 \text{ с}^{-1}$ (1450 об/хв.).

Так як для камер зберігання №3, №4 і камер зберігання №5, №6 температури кипіння холодоагенту в приладах охолодження (13°C) буде однакою ($t_0 = -10^\circ\text{C}$), то навантаження на компресор для цих камер зберігання перетвориться в середнє значення (з запасом кВт).

Якщо для камер №3 і №4 $Q_{0км} = 80 \text{ кВт}$, а для камер №5 і №6 $Q_{0км} = 77 \text{ кВт}$, то середнє для камер №5 і №6 $Q_{0км} = 80 \text{ кВт}$. Вибирається робочий режим першої холодильної установки для камер зберігання №3, №4 та №5, №6.

а) температура кипіння холодоагенту (R22) t_0 дорівнює:

$$t_0 = t_b - (7 \dots 10), ^\circ\text{C} \quad (5.23)$$

$$t_0 = -10^\circ\text{C}$$

б) температура конденсації:

$$t_k = t_{B2} + (3 \dots 5), ^\circ\text{C} \quad (5.24)$$

$$t_k = 28 + 3 = 31 ^\circ\text{C}$$

в) температура всмоктування $t = -18^\circ\text{C}$

г) охолодження (навантаження на компресор):

$$Q_{0\text{KM}} = 81 \text{ кВт}$$

Будується цикл одноступінчастої холодильної машини в діаграмі $i\text{-lg } P$ і знаходять параметри потрібних точок (Додаток Д).

1. Визначаємо питому масову холодопродуктивність холодоагенту, кДж/кг:

$$q_0 = i_1 - i_4, \text{ кДж/кг} \quad \dots(2.70)$$

$$q_0 = 620,6 - 540 = 80,6 \text{ кДж/кг}$$

2. Розраховуємо дійсну масу всмоктуючого пару, кг/с:

$$m_g = Q_0 / q_0, \text{ кг} \quad (5.25)$$

$$m_g = 81 / 80,6 = 1 \text{ кг/с}$$

3. Дійсну об'ємну подачу, м³/с:

$$V_d = m_g \times v_1, \text{ м}^3/\text{с} \quad (5.26)$$

$$V_d = 1 \times 0,075 = 0,075 \text{ м}^3/\text{с}$$

4. Індикаторний коефіцієнт подачі:

$$\lambda_i = ((p_0 - \Delta p_{\text{вс}}) / p_0) - (c ((p_k + \Delta p_{\text{н}}) / p_0 - (p_0 - \Delta p_{\text{в}}) / p_0)) \quad (5.27)$$

$$\lambda_i = 0,87$$

5. Коефіцієнт невидимих втрат для не прямоточних компресорів:

$$\lambda_{w1} = T_0 / (T_k + 26) \quad (5.28)$$

$$\lambda_{w1} = 262,1 / (305,2 + 26) = 0,6$$

6. Визначається коефіцієнт подачі компресора:

$$\lambda = \lambda_i \times \lambda_{w1} \quad (5.29)$$

$$\lambda = 0,85 \times 0,81 = 0,69$$

7. Теоретична об'ємна подача, м³/с:

$$V_T = V_d / \lambda, \text{ м}^3/\text{с} \quad (5.30)$$

$$V_T = 0,075 / 0,69 = 0,12 \text{ м}^3/\text{с}$$

8. Питома об'ємна холодопродуктивність в робочих умовах, кДж/м³:

$$q\dot{v} = q_0 \times \dot{v}, \text{ кДж / кг} \quad (5.31)$$

$$q\dot{v} = 81,5 / 0,075 = 1086 \text{ кДж/ м}^2$$

9. Визначаємо адаптивну потужність, кВт:

$$N_a = m g (i_2 - i_{11}), \text{ кВт} \quad (5.32)$$

$$N_a = 0,98 (756 - 719) = 36,45 \text{ кВт}$$

10. Індикаторний коефіцієнт корисної дії:

$$\eta_i = \lambda_{w1} + b t_0 \quad (5.33)$$

$$\eta_i = 0,7 + 0,0025 \times (-10) = 0,765$$

11. Індикаторна потужність, кВт:

$$N_i = N_a / \eta_i, \text{ кВт} \quad (5.34)$$

$$N_i = 36,6 / 0,765 = 47,86 \text{ кВт}$$

12. Потужність тертя, кВт:

$$N_{тр} = V_T + q_{тр}, \text{ кВт} \quad (5.35)$$

$$N_{тр} = 0,12 \times 30 = 3,6 \text{ кВт}$$

13. Ефективна потужність, кВт:

$$N_e = N_i + N_{тр}, \text{ кВт} \quad (5.36)$$

$$N_e = 47,86 + 3,3 = 51,16 \text{ кВт}$$

14. Потужність на валу двигуна:

$$N_{дв} = N_e (1,1 - 1,11) / \eta_{п\ddot{e}} \quad (5.37)$$

$$N_{дв} = (51,16 \times 1,1) / 0,96 = 57,6 \text{ кВт}$$

15. Ефективна питома холодопродуктивність:

$$E_e = Q_0 / N_e \quad (5.38)$$

$$E_e = 81 / 51,16 = 1,58$$

16. Визначається тепловий потік в конденсаторі:

$$Q_k = m g (i_2 - i_3) \quad (5.39)$$

$$Q_k = 0,98 (756 - 540) = 214,85 \text{ кВт}$$

Підбирається одноступінчастий компресор: чотири компресори марки: ПБ-80 (поршневий безсальниковий, що працює на R22 і на маслі УФ22-24).

Тема 6. Розрахунок і підбір теплообмінних апаратів. Вибір повітроохолоджувачів

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Вибір температурного режиму холодильної установки.
2. Вибір типу і кількості одноступеневих і двоступеневих компресорів (агрегатів).
3. Вибір кількості і типу конденсаторів, випарників.
4. Вибір типу і кількості допоміжного обладнання холодильної установки.

2. Індивідуальне тестування.

3. Розв'язання практичних та лабораторних задач.

3.1. Розв'язання практичних задач практичного заняття № 6: «Розрахунок і підбір теплообмінних апаратів. Вибір повітроохолоджувачів».

Приклад виконання завдання

Завдання. Виконати розрахунок і підбір теплообмінних апаратів, повітроохолоджувачів.

Апарати бувають основні і допоміжні. До основних відносяться теплообмінні: конденсатори, випарники, повітроохолоджувачі. Розрахунок теплообмінних апаратів зводиться до визначення площі теплообмінної поверхні.

Конденсатор – теплообмінний апарат в якому відбувається охолодження і конденсація парів холодоагенту, внаслідок відведення теплоти охолодженням водою або повітрям.

У розрахунку конденсаторів спочатку визначається площа теплопередаючої поверхні і витрати води з подальшим вибором марки конденсатора і водяного насоса. Для машин, що працюють на хладачах використовують горизонтальні кожухи, трубні конденсатори з зовнішніми ребрами труб.

Площа теплопередаючої поверхні знаходиться за формулою:

$$F = Q_k / k \times \theta_m, \text{ м}^2 \quad (6.1)$$

де Q_k – тепловий потік в конденсаторі, Вт;

k – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м² × К);

θ_m – середній логарифмічний температурний напір між холодоагентами і теплоносієм.

Перед тим як знайти площу теплопередаючої поверхні, знайдемо спочатку за формулою

$$\Theta_m = (t_{w2} - t_{w1}) / 2,3 \lg (t_k - t_{w1}) / (t_k - t_{w2}) \quad (6.2)$$

де t_{w1} , t_{w2} і t_k – температура води на вході, виході і температура конденсації

$$\Theta_m = (28 - 23) / 2,3 \lg (31 - 25) / (31 - 27) = 6,24 \text{ } ^\circ\text{C}$$

а) для камер зберігання №1, №2 та №7, №8 тепловий потік в конденсаторі визначається за формулою:

$$Q_k = mg (i_2 - i_3), \text{ кВт}$$

$$Q_k = 1,21 (748 - 536) = 272800 \text{ Вт} \quad (6.3)$$

Площа теплопередаючої поверхні конденсатора для компресорів на камери №1, №2 та №7, №8:

$$F = 272800 / (500 \times 6,24) = 112,47 \text{ м}^3$$

Вибираються 4 конденсатора КТР 65 з площею теплопередаючою поверхнею $F = 62 \text{ м}^3$, довжина труб $l = 2 \text{ м}$, діаметр $D = 500 \text{ мм}$, кількість труб $n = 210$, максимальне навантаження 216 кВт.

Визначаємо об'ємну витрату води на конденсатор за формулою:

$$V_b = Q_k / (C_w \times \rho_w \times (t_{w2} - t_{w1})), \text{ м}^3/\text{с} \quad (6.4)$$

де C_w – теплоємність води ($C_w = 4,17 \text{ кДж}/(\text{кг} \times \text{К})$);

ρ_w – щільність води ($\rho_w = 900 \text{ кг} / \text{м}^3$)

$\Delta t_{\text{вд}}$ = $(t_{w2} - t_{w1})$ – нагрівання води в конденсаторі, К.

$$V_b = 262,3 / 4,17 \times 900 (29 - 24) = 0,023 \times 103 \text{ м}^3/\text{с}$$

Підбираються насоси не менше 4, марки 2 к-20/30 з об'ємною подачею $0,84 \text{ м}^3/\text{с}$ натиск 160 кПа, $N_{\text{дв}} = 4,2 \text{ кВт}$, $m = 27 \text{ кг}$.

Частота обертання електродвигуна $48,3 \text{ с}^{-1}$

б) розраховуємо площу теплопередаючої поверхні конденсатора для компресорів на камери №3, №4 та №5, №6:

$$F = 212850 / 500 \times 5,12 = 82,43 \text{ м}^2$$

Підбираємо 4 конденсатора марки КТР-50 з площею теплопередаючою поверхнею $F = 49,6 \text{ м}^2$, довжина труб $l = 2,5 \text{ м}$, діаметром $D = 403 \text{ мм}$, кількість труб $n = 135$, максимальне навантаження 178 кВт. (2конденсатора для камер зберігання №3, №4 та 2 конденсатора для камер №5, №6).

Визначаємо об'ємні витрати води на конденсатор:

$$V_v = 214,84 / 4,18 \times 1000 \times (29 - 24) = 0,0112 \times 102 \text{ м}^3/\text{с}$$

Підбираємо насоси не менше 4, марки 2 к-20/30 з об'ємною подачею $0,81 \text{ м}^3/\text{с}$, напір 160 кПа, $N_{\text{дв}} = 4,2 \text{ кВт}$, $m = 27$, $n = 48,2 \text{ с}^{-1}$.

ПО – прилад охолодження повітря в холодильних камерах де безпосередньо кипить рідкий холодоагент (R22).

а) розраховуємо повітроохолоджувачі для камер зберігання №1, №2 та №7, №8. Визначимо площу теплопередаючої поверхні за формулою:

$$F = Q_{\text{об}} / k \times \Theta_m, \text{ м}^2 \quad (6.5)$$

де $Q_{\text{об}}$ – сумарне теплове навантаження на обладнання, кВт

k – коефіцієнт теплопередачі повітроохолоджувача, Вт ($\text{м}^2 \times \text{К}$)

Θ_m – середній температурний напір між температурою повітря в камері і t_0 кипіння холодоагенту.

$$F = 80198 / 23,3 \times 10 = 326,76 \text{ м}^2$$

Підбираємо 10 повітроохолоджувачів марки ВОП-75 з площею теплопередаючої поверхні $F=75\text{м}^2$. Для камер №1 і №2 виходить 5 повітроохолоджувачів і для камер №7 і №8 виходить теж 5 повітроохолоджувачів.

Перевіряємо, чи достатня об'ємна подача встановлених вентиляторів:

$$V_v = Q_{\text{об}} / \rho_v (i_1 - i_2), \text{ м}^3/\text{с} \quad (6.6)$$

де ρ_v – щільність повітря яке виходить з повітроохолоджувача, $\text{кг}/\text{м}^3$

i_1 – ентальпія вхідного повітря (при $t = 2$, $i_1 = 12$)

i_2 – ентальпія повітря, що виходить (при $t = 0$, $i_2 = 8$)

$$V_v = 80 / 1,276 (12 - 8) = 16,32 \text{ м}^3/\text{с}$$

Об'ємна сумарна подача зі всіх 10 повітроохолоджувачів (ВОП-75) складає $16,2 \text{ м}^3/\text{с}$, значить витрата повітря достатня.

б) розраховуємо повітроохолоджувачі для камер зберігання №3, №4 та №5, №6. Визначаємо площу теплопередаючої поверхні повітроохолоджувачів.

$$F = 87270 / 23,3 \times 10 = 348,64 \text{ м}^2$$

Підбираємо 10 повітроохолоджувачів з площею теплопередаючої поверхні $F=75\text{ м}^2$ (з сумарною площею 750 м^2), $N_{\text{дв}} = 8,58\text{ кВт}$, місткістю по холодоагенту 22 л.

Для камер №3 і №4 доводиться 5 повітроохолоджувачів, на камери №5 і №6 теж доводиться 5 повітроохолоджувачів.

Перевіряємо, чи достатня об'ємна подача встановлених вентиляторів.

$$V_B = Q_{об} / \rho_B (i_1 - i_2), \text{ м}^3/\text{с} \quad (6.7)$$

де ρ_B – щільність повітря виходить з повітроохолоджувача, $\text{кг}/\text{м}^3$ (при $t = -2^\circ\text{C}$, $\rho_B = 1,302\text{ кг}/\text{м}^3$).

$(i_1 - i_2)$ – різниця ентальпій вхідного і вихідного повітря повітроохолоджувачів, $\text{кДж}/\text{кг}$.

при $t = +1^\circ\text{C}$, $i_1 = 10\text{ кДж}/\text{кг}$;

при $t = -2^\circ\text{C}$, $i_2 = 5,0\text{ кДж}/\text{кг}$.

$$V = 86,24 / 1,303 \times (1050) = 12,56\text{ м}^3/\text{с}$$

Кожен повітроохолоджувач оснащений двома вентиляторами, що забезпечує необхідні витрати повітря. З сумарною витратою повітря зі всіх 10 повітроохолоджувачів $16,2\text{ м}^3/\text{с}$.

3.2. Лабораторна робота «Реалізація конструктивного розрахунку випарного апарата в Mathcad»

Мета роботи: Оволодіти методами конструктивного розрахунку випарного апарата в Mathcad

Теоретична частина

Вихідні дані для розрахунку:

Витрата початкового розбавленого розчину, $G_p = 1,5\text{ кг}/\text{с}$;

Температура кипіння розчину $t_k = 113,32^\circ\text{C}$;

Корисна різниця температур $\Delta t_{\text{кор}} = 29,58^\circ\text{C}$;

Температура гріючої пари, $T_{\text{г.п.}} = 142,9^\circ\text{C}$;

Температура вторинної пари, $T_{\text{в.п.}} = 105^\circ\text{C}$.

Визначення коефіцієнта теплопередачі в випарному апараті.

Коефіцієнт теплопередачі визначаємо за формулою:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{cm} + \frac{1}{\alpha_2}} \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від пари, що конденсується, до стінки кип'ятильної труби, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$;

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до киплячого розчину, Вт/м²·К;

$\sum r_{cm}$ – сума термічних опорів стінки і забруднень, Вт/м²·К;

Визначення коефіцієнта тепловіддачі від гріючої пари до стінки
Коефіцієнт тепловіддачі при конденсації водяної пари на пучку вертикальних труб визначаємо за формулою:

$$\alpha_1 = 1,21 \cdot \lambda_1 \left(\frac{\rho_1^2 \cdot r \cdot g}{\mu_1 \cdot H} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot q^{\frac{1}{3}}$$

де Н – висота труб гріючої камери, м;

q – питоме теплове навантаження апарата, Вт/м²;

всі параметри фізичних величин прийняті при температурі конденсації гріючої пари $T_{г.п} = 142,9^{\circ}\text{C}$;

r – теплота пароутворення гріючої пари, r = 2141 Кдж/кг;

λ_1, ρ_1, μ_1 – теплопровідність, густина і в'язкість конденсату, табл. 2.

$$\rho_1 = 928 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \mu_1 = 0,198 \cdot 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с}; \lambda_1 = 0,616 \frac{\text{Вт}}{\text{м}} \cdot \text{К}.$$

$$\rho_1 = 928 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \mu_1 = 0,198 \cdot 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с}; \lambda_1 = 0,616 \frac{\text{Вт}}{\text{м}} \cdot \text{К}.$$

Визначення коефіцієнта тепловіддачі від стінки до киплячого розчину.

Коефіцієнт тепловіддачі знаходимо за формулою:

$$\alpha_2 = b \left(\frac{\lambda_1^2 \cdot r \cdot g}{\mu_1 \cdot \sigma_2 \cdot T_k} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot q^{\frac{2}{3}}$$

Визначення поверхні теплопередачі випарного апарата.

Поверхню теплопередачі (нагрівання) випарного апарата визначаємо із основного рівняння теплопередачі за формулою:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_k}, \text{м}^2$$

де Q – теплове навантаження випарного апарата, Вт, визначаємо за формулою:

$$Q = D(I_{г.п.} - i_k) = 0,868(2744 - 601,1) \cdot 10^3 = 1860037,2 \text{ Вт};$$

де $I_{г.п.} = 2744$ кДж/кг, та $i_k = 601,1$ кДж/кг – тепловміст гріючої пари та парового конденсату при $P = 0,4$ МПа.

Тоді:

$$F = \frac{1860037,2}{1301 \cdot 29,58} = 48,3, \text{м}^2$$

Приймаємо стандартний випарний апарат за ГОСТ 11987-81, тип 1, виконання 2, з такою характеристикою:

Поверхня теплопередачі – $F = 63,0 \text{ м}^2$;

Висота трубок гріючої камери – $H = 4 \text{ м}$;

Діаметр гріючої камери – $D = 800 \text{ мм}$;

Діаметр сепаратора – $D_1 = 1600$ мм;
Діаметр циркуляційної труби – $D_2 = 500$ мм;
Висота сепаратора – $H_c = 13000$ мм;
Маса апарата – $M = 2500$ кг.

Запас поверхні складе:

$$\Delta = \frac{(F_{ст} - F_p)100}{F_p} = \frac{63 - 48,3}{48,3} = 30\%$$

Експериментальна частина

Послідовність виконання роботи:

Для виконання лабораторної роботи використовується система MATLAB.

1. При запуску MATLAB на екрані з'являється робоче середовище (рис. 2), яке містить такі елементи:

- меню;
- панель інструментів з кнопками і списком, що розкривається;
- вікно з вкладками Launch Pad і Workspace, з якого можна отримати простий доступ до різних модулів ToolBox і до вмісту робочого середовища;
- вікно з вкладками Command History і Current Folder, призначене для перегляду і повторного виклику раніше введених команд;
- командне вікно Command Window з командним рядком, в якому знаходиться курсор;
- рядок стану.

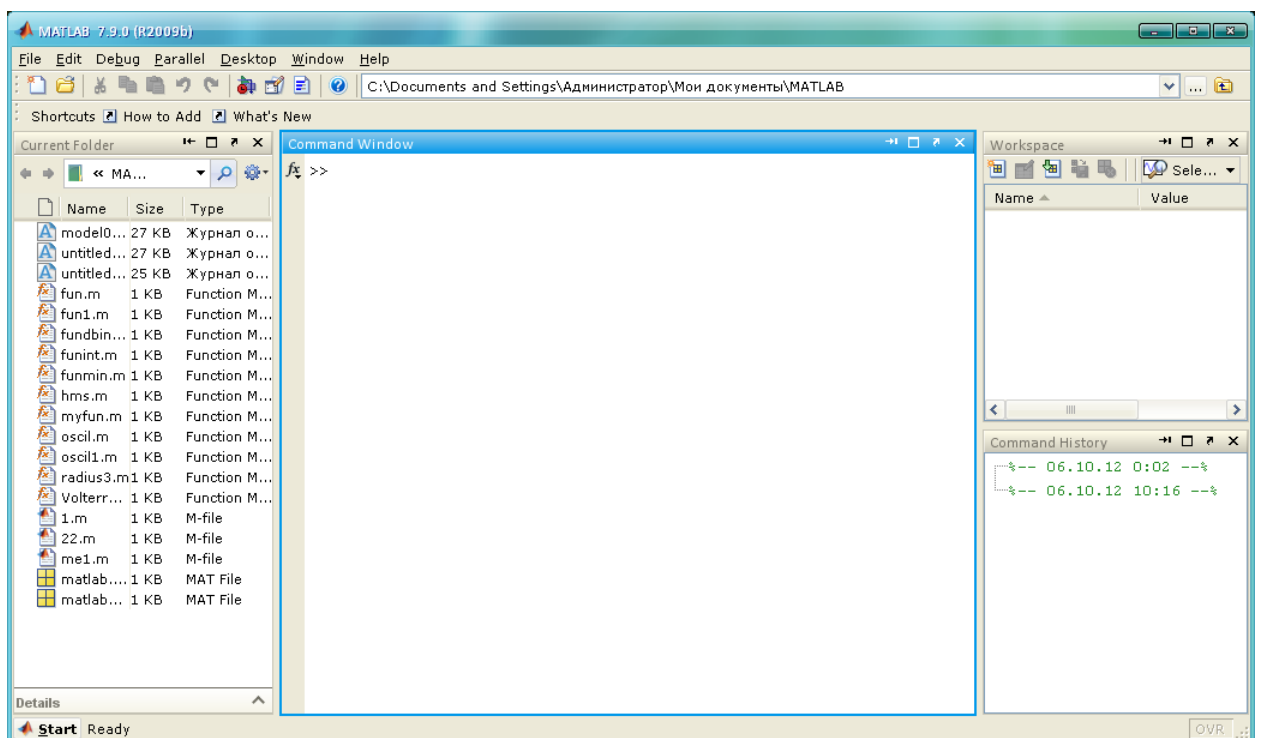


Рис. 2. Робоче середовище системи MATLAB

Усі команди, описані в лабораторній роботі, необхідно набирати в командному рядку. Символ `>>` означає запрошення командного рядку до вводу команди. Ввівши команду або вираз і натиснувши клавішу `<Enter>`, отримаємо виконання команди або обчислення виразу системою MATLAB.

Особливості роботи з командним рядком є такими:

- при наборі виразу без символу `“;”` в кінці результат розрахунків запишеться в оперативну пам'ять у вигляді значення відповідної змінної і буде виведений на екран;

- при наборі виразу з символом `“;”` в кінці результат розрахунків також запишеться в оперативну пам'ять у вигляді значення відповідної змінної, але на екран виведений не буде.

2. Ввести вихідні далі у робоче середовище системи MATLAB.

3. Обчислити наступні параметри:

- внутрішній діаметр гріючої камери;
- діаметр циркуляційної труби;
- допустиме напруження парового простору;
- об'єм парового простору;
- швидкість пари в паровому просторі;
- критерій Рейнольдса;
- коефіцієнт опору (для цього необхідно скористуватися модулем проектування);
- швидкість витання краплини.

4. Виконати перевірку.

5. Розрахувати висоту сепаратору (парового простору).

5. В MATLAB є можливість записувати виконувані команди і результати до текстового файлу (вести журнал роботи), котрий потім можна переглядати з текстового редактору.

Закрити вікно MATLAB можна одним з таких способів:

- вибрати в меню File пункт Exit MatLab;
- натиснути клавіші `<Ctrl>+<Q>`;
- набрати команду `exit` в командному рядку і натиснути `<Enter>`;
- натиснути кнопку виходу в правому верхньому кутку вікна MATLAB.

Додаток А

Теплопритоки Q_1 для камер №1 и №2

Огоро- дження	тв, °C	Розміри			F, м²	tн, °C	▲t, °C	k Br м²K	▲tc, °C	Q1r Вт	Q1г Вт	Q1г· Вт
		l	B	H								
НС-С	+3	24	--	6	144	27	24	0,42	--	1451,5	--	1451,5
ВП-В	+3	--	12	6	72	12	9	0,48	--	311,04	--	
ВП-Ю	Теплоприток Q1г має негативний знак, тому Q1г не буде.											
НС-З	+3	--	12	6	72	27	24	0,42	7,2	725,7	217,7	943,4
Стеля	+3	24	12	--	288	27	24	0,4	17,7	2764,8	2040	4804,8
Підлога	Теплоприток має негативний знак, тому його не буде.											
Всього												7511

Теплоприток для камер зберігання цибулі

Огородження	тв, °C	Розміри			F, м²	tн, °C	▲t, °C	k Br м²K	▲tc, °C	Q1r Вт	Q1г Вт	Q1г· Вт
		l	B	H								
НС-С	0	30	--	6	180	27	27	0,42	--	2041,2	--	2041,2
ВП-В	0	--	12	6	72	27	27	0,42	6,0	816,9	181,4	998
ВП-Ю	0	30	--	6	180	3	3	0,58	--	313,2	--	313,2
НС-З	0	--	12	6	72	12	12	0,45	--	388,8	--	388,8
Стеля	0	30	12	--	360	27	27	0,35	17,7	3402	2230	5632,2
Підлога	0	30	12	--	360	2	2	0,41	--	295,2	--	2295,2
Всього												9670

Додаток Б

Теплоприток Q1 для камер зберігання буряку №5 и №6

Огороджен- ня	тв, ° 0С	Розміри			$F_{\text{вн}}$ м2	тн, ° 0С	Δt 0С	$k_{\text{вн}}$ м2К	$\Delta t_{\text{св}}$ 0С	Q1т Вт	Q1г Вт	Q1г-Вт
		l	В	Н								
НС-С	0	24	--	6	144	3	3	0,58	--	250,56	--	250,56
ВП-В	0	--	12	6	72	12	12	0,45	--	388,8	--	388,8
ВП-Ю	0	24	--	6	144	23	23	0,39	--	1292	--	1292
НС-З	0	--	12	6	72	27	27	0,42	7,2	816,5	217,7	1034
Стеля	0	24	12	--	288	27	27	0,35	17,7	2721,6	1784,2	4505,8
Підлога	0	24	12	--	288	2	2	0,41	--	2361,6	--	236,2
Всього												7707,2

Теплоприток Q1 для камер зберігання №5 и №6

Огородже ння	тв, ° 0С	Розміри			$F_{\text{вн}}$ м2	тн, ° 0С	Δt 0С	$k_{\text{вн}}$ м2К	$\Delta t_{\text{св}}$ 0С	Q1т Вт	Q1г Вт	Q1г-Вт
		l	В	Н								
НС-В	+3	--	12	6	72	27	24	0,42	6,0	725,76	181,4	907,2
ВП-Ю	+3	30	--	6	180	23	20	0,41	--	1476	--	1476
ВП-З	+3	--	12	6	72	12	9	0,48	--	311	--	311
Стеля	+3	30	12	--	360	27	24	0,4	17,7	3456	2549	6005
Підлога	Теплоприток Q1 має негативний знак, тому його не буде.											
Всього												8700

Додаток В

Результати розрахунку для усіх камер зберігання теплопритоку Q_2

Хол. № камери	t, °C	Mn, т/с ут	i, кДж/кг		Δi, кДж/кг	Mt, т/с ут	Q2пр, Вт		Q2т, Вт		Q2, Вт	
			пост	вип			КМ	ОБ	КМ	ОБ	КМ	ОБ
№1-№2	3	50	347,4	284	63,4	10	25683	36690	3167,5	4525	28850	41215
№3-№4	0	50	347,4	272	75,4	10	30544	43634	3724	5324	34271	48958
№5-№6	0	50	347,4	272	75,4	10	30544	43634	3727	5324	34271	48958
№7-№8	3	50	347,4	284	63,4	10	25683	36690	3167,5	4525	28850	41215

Результати розрахунку теплопритоку Q_4

Камери охолодження	tw, °C	F, м2	A, Вт/м2	n, чел	ΣNдв, кВт	B, Вт/м2	q1, Вт	q2, Вт	q3, Вт	q4, Вт	Q4, Вт	
											КМ	ОБ
№1-№2	3	288	2,3	3	14	4	662	1050	10500	1152	10023	13364
№3-№4	0	360	2,3	4	14	4	828	1400	10500	1440	10626	14168
№5-№6	0	288	2,3	3	14	4	662	1050	10500	1152	10023	13364
№7-№8	3	360	2,3	4	14	4	828	1400	10500	1440	10626	14168
Всього											41300	55064

Зведені результати теплового розрахунку

Камери охолодження	tw, °C	Q1, Вт	Q2, Вт		Q3, Вт	Q4, Вт		Q5, Вт	ΣQ, Вт	
			КМ	ОБ		КМ	ОБ		КМ	ОБ
№1-№2	3	7511	28850	41215	2815	10023	13364	12100	61300	77005
№3-№4	0	9670	34271	48958	4253	10626	14168	11200	70020	88250
№5-№6	0	7707	34271	48958	3430	10023	13364	11200	66631	84660
№7-№8	3	8700	28850	41215	3913	10626	14168	12100	64190	80096
Всього									262141	330011

Додаток Г

Теплоприток для камер зберігання цибулі №3 і №4

Огражде ния	tв, °C	Размеры			F, м2	tн, °C	Δt, °C	k Вт м2К	Δtc, °C	Q1т, Вт	Q1г, Вт	Q1г-Вт
		l	B	H								
НС-С	0	30	--	6	180	27	27	0,42	--	2041,2	--	2041,2
ВП-В	0	--	12	6	72	27	27	0,42	6,0	816,9	181,4	998
ВП-Ю	0	30	--	6	180	3	3	0,58	--	313,2	--	313,2
НС-З	0	--	12	6	72	12	12	0,45	--	388,8	--	388,8
Стеля	0	30	12	--	360	27	27	0,35	17,7	3402	2230	5632,2

Теплоприток Q₁ для камер зберігання буряка №5 і №6

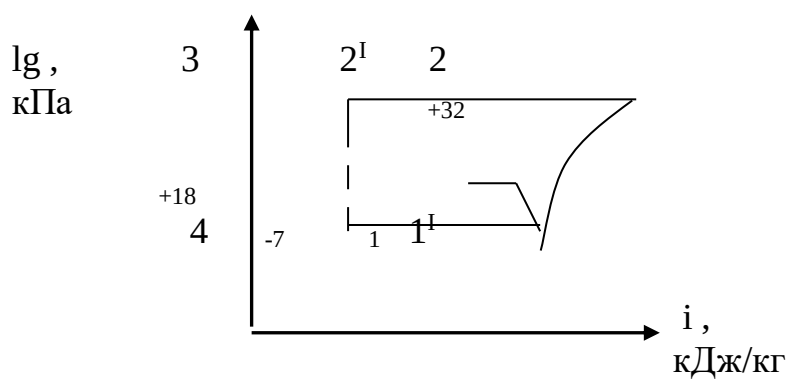
Огороджен- ня	tв, °C	Размеры			F, м2	tн, °C	Δt, °C	k Вт м2К	Δtc, °C	Q1т, Вт	Q1г, Вт	Q1г-Вт
		l	B	H								
НС-С	0	24	--	6	144	3	3	0,58	--	250,56	--	250,56
ВП-В	0	--	12	6	72	12	12	0,45	--	388,8	--	388,8
ВП-Ю	0	24	--	6	144	23	23	0,39	--	1292	--	1292
НС-З	0	--	12	6	72	27	27	0,42	7,2	816,5	217,7	1034
Стеля	0	24	12	--	288	27	27	0,35	17,7	2721,6	1784	4505,8
Підлога	0	24	12	--	288	2	2	0,41	--	2361,6	--	236,2
Всього												7707,2

Теплоприток Q₁ для камер зберігання №5 і №6

Огороджен- ня	tв, °C	Розміри			F, м2	tн, °C	Δt, °C	k Вт м2К	Δtc, °C	Q1т, Вт	Q1г, Вт	Q1г-Вт
		l	B	H								
НС-В	+3	--	12	6	72	27	24	0,42	6,0	725,76	181,4	907,2
ВП-Ю	+3	30	--	6	180	23	20	0,41	--	1476	--	1476
ВП-З	+3	--	12	6	72	12	9	0,48	--	311	--	311
Стеля	+3	30	12	--	360	27	24	0,4	17,7	3456	2549	6005
Підлога	Теплоприток Q ₁ має негативний знак, тому його не буде.											
Всього												8700

Додаток Д

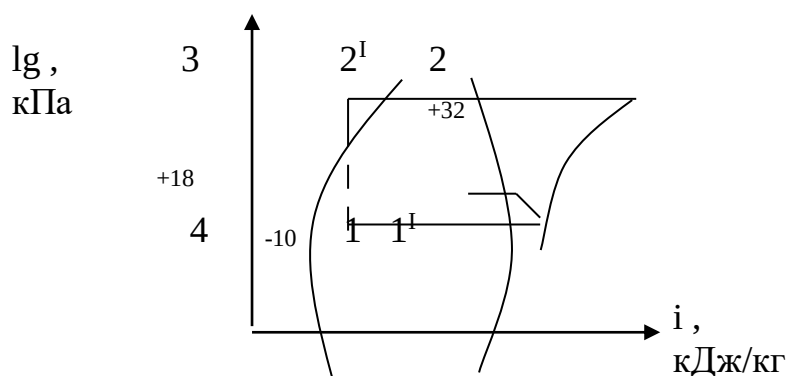
Цикл одноступінчастої холодильної машини



Значення параметрів всіх точок

ρ_0 , кПа	ρ_k , кПа	i_1 , кДж/кг	i_{11} , кДж/кг	i_2 , кДж/кг	i_4 , кДж/кг	$\dot{v}_1$ м ³ /кг
395	1253	602,5	719	755	540	0,06
290	1100	698	716	750	505	0,09

Цикл холодильної машини



Параметри точок заносимо в таблицю

ρ_0 , кПа	ρ_k , кПа	i_1 , кДж/кг	i_{11} , кДж/кг	i_2 , кДж/кг	i_4 , кДж/кг	Q_1 , м ³ /кг
355	1267	620,6	719	756	540	0,075

ЧАСТИНА 3.
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ
РОБОТИ СТУДЕНТІВ

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1

ОБ'ЄМНО-ПЛАНУВАЛЬНІ РІШЕННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ РІЗНИХ ТИПІВ ХОЛОДИЛЬНИКІВ

Тема 1. Розрахунок площі камер для зберігання овочів

Форми контролю: тестування, опитування, розв'язання задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.
3. Підготуйтеся до виконання практичної роботи № 1.

Конструктивне об'єднання елементів холодильної машини в єдине ціле називається

- A. агрегатом
- B. механізмом
- C. вузлом
- D. опорою

Сукупність деяких (або всіх) вузлів холодильної машини, об'єднаних конструктивно на спільному каркасі називається

- A. холодильний агрегат
- B. морозильний агрегат
- C. конденсаторний агрегат
- D. системою агрегатів

За способом одержання холоду розрізняють холодильники

- A. компресійні
- B. абсорбція і термоелектричні
- D. тепломасообмінні агрегати
- D. усі відповіді вірні

Компресорно-конденсаторні агрегати поділяються за видом застосування холодильного агрегата на

- A. водяні та аміачні
- B. механічні
- C. хладові та аміачні
- D. прості та складні

Енергетична машина для підвищення тиску і переміщення повітря, газу або їх сумішей називається

- А. компресор
- В. агрегат
- С. механізм
- Д. холодильна установка

Рекомендована література:

1. Мнацаканов Г. К. Основи проектування холодильників. Одеса: Інститут низькотемпературної техніки ОДАХ, 2004. 71 с.
2. Кудінов О.А. Розробка холодильної установки для овочесховища місткістю 2000 т. ДоННУЕТ: Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, 2020. 69 с. (науковий керівник Л.О. Цвіркун).
3. Слюсаренко Ю.С., Фаренюк Є.Г. Приклади розрахунку к ДСТУ Б В.2.6-189:2013 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Посібник для проектування. К.: Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», ТК 302 «Енергоефективність будівель і споруд», ПК-1 «Теплоізоляція будівель», 2014. 106 с.
4. Гуртовенко Ю.О. Проектування холодильників. Біла Церква: Технологіко-економічний коледж Білоцерківського національного аграрного університету, 2010. 124 с.
5. Крылов Ю.С., Пирог П.И., Вясютович В.В. Проектирование холодильников. М.: Пищ. пром. 1972. 274 с.
6. Пирог П.И. Теплоизоляция холодильников. М.: Пищ. Пром., 1966. 226 с.
7. Проектирование холодильных сооружений: справочник / под общ. ред. А.В. Быкова. М.: Пищ. Пром., 1978. 351 с.
8. Брайдерт Г.Й. Проектирование холодильных установок. Расчеты, параметры, примеры. М.: Техносфера, 2006. 336 с.
9. Хмельнюк М.Г., Кочетов М.Г., Форсюк А.В. Проектування холодильників для зберігання плодоовочевої продукції. Херсон.: ФОП Грінь Д.С., 2015. 162 с.

Тема 2. Планування холодильника

Форми контролю: тестування, опитування, розв'язання задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.
3. Підготуйтеся до виконання практичної роботи № 2.

Компресори за кількістю циліндрів поділяють на

- A. аміакові, фреонові
- B. одноциліндрові, багатociліндрові
- C. малі, середні, великі
- D. прості та складні

До холодоагентів, що наявні в холодильних установках, належать

- A. аргон
- B. хладон
- C. фреон
- D. простий газ

За призначенням холодильні прилади поділяються на

- A. холодильники
- B. морозильники та холодильники-морозильники
- C. холодильні установки
- D. усі відповіді вірні

Робота холодильної машини характеризується їх

- A. компресійністю
- B. холодопродуктивністю
- C. роботою електродвигуна
- D. усі відповіді вірні

Основні види холодильних машин

- A. компресійні холодильні машини
- B. абсорбційні холодильні машини
- C. прості та складні
- D. усі відповіді вірні

Рекомендована література:

1. Мнацаканов Г. К. Основи проектування холодильників. Одеса: Інститут низькотемпературної техніки ОДАХ, 2004. 71 с.
2. Кудінов О.А. Розробка холодної установки для овочесховища місткістю 2000 т. ДоННУЕТ: Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, 2020. 69 с. (науковий керівник Л.О. Цвіркун).
3. Слюсаренко Ю.С., Фаренюк Є.Г. Приклади розрахунку к ДСТУ Б В.2.6-189:2013 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Посібник для проектування. К.: Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», ТК 302 «Енергоефективність будівель і споруд», ПК-1 «Теплоізоляція будівель», 2014. 106 с.
4. Гуртовенко Ю.О. Проектування холодильників. Біла Церква: Технологіко-економічний коледж Білоцерківського національного аграрного університету, 2010. 124 с.

5. Крылов Ю.С., Пирог П.И., Вясютович В.В. Проектирование холодильников. М.: Пищ. пром. 1972. 274 с.
6. Пирог П.И. Теплоизоляция холодильников. М.: Пищ. Пром., 1966. 226 с.
7. Проектирование холодильных сооружений: справочник / под общ. ред. А.В. Быкова. М.: Пищ. Пром., 1978. 351 с.
8. Брайдерт Г.Й. Проектирование холодильных установок. Расчеты, параметры, примеры. М.: Техносфера, 2006. 336 с.
9. Хмельнюк М.Г., Кочетов М.Г., Форсюк А.В. Проектування холодильників для зберігання плодоовочевої продукції. Херсон.: ФОП Грінь Д.С., 2015. 162 с.

Тема 3. Розрахунок товщини теплоізоляційного шару огорожуючих конструкцій камер холодильника.

Форми контролю: тестування, опитування, розв'язання задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.
3. Підготуйтеся до виконання практичної роботи № 3 та лабораторної роботи № 1.

В основі роботи холодильників лежить

- А. холодильний цикл
- В. холодопродуктивність
- С. хладон
- Д. аргон

До ергономічних властивостей холодильників відносять

- А. надійність
- В. зручність експлуатації, гігієнічність, рівень шуму
- С. ремонтпридатність
- Д. усі відповіді вірні

За принципом дії холодильні компресори підрозділяють на

- А. поршневі, спіральні
- В. ротаційні, гвинтові
- С. прості та складні
- Д. усі відповіді вірні

По розташуванню приводу компресори розділяють на

- А. відкриті, герметичні
- В. сальникові, напівсферичні
- С. геометричні, роз'ємі
- Д. усі відповіді вірні

Кількість теплоти, що відводиться від охолоджуваного середовища в одиницю часу називається

- А. тепловіддачею
- В. холодопродуктивністю
- С. тепловим датчиком
- Д. тепловим випромінюванням

3. Завдання для самостійного розв'язування.

Визначити товщину теплоізоляційного шару огорожуючих конструкцій камер розподільного холодильника ємкістю 3000 т. Вибираємо будівельні конструкції будівлі. Приймаємо, що будівля холодильника - каркасного типу із уніфікованих збірних залізобетонних елементів; колони перерізом 400×400 мм, стропильні балки односкатні довжиною 12 м і висотою 890 мм. Висота камер до низу балок - 6м. Покриття типу без горища. Ковильні плити - ребристі, довжиною 6 м і товщиною полки 35мм.

Рекомендована література:

1. Мнацаканов Г. К. Основи проектування холодильників. Одеса: Інститут низькотемпературної техніки ОДАХ, 2004. 71 с.
2. Кудінов О.А. Розробка холодильної установки для овочесховища місткістю 2000 т. ДоННУЕТ: Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, 2020. 69 с. (науковий керівник Л.О. Цвіркун).
3. Слюсаренко Ю.С., Фаренюк Є.Г. Приклади розрахунку к ДСТУ Б В.2.6-189:2013 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Посібник для проектування. К.: Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», ТК 302 «Енергоефективність будівель і споруд», ПК-1 «Теплоізоляція будівель», 2014. 106 с.
4. Гуртовенко Ю.О. Проектування холодильників. Біла Церква: Технологіко-економічний коледж Білоцерківського національного аграрного університету, 2010. 124 с.
5. Крылов Ю.С., Пирог П.И., Вясютович В.В. Проектирование холодильников. М.: Пиш. пром. 1972. 274 с.
6. Пирог П.И. Теплоизоляция холодильников. М.: Пищ. Пром., 1966. 226 с.
7. Проектирование холодильных сооружений: справочник / под общ. ред. А.В. Быкова. М.: Пищ. Пром., 1978. 351 с.
8. Брайдерт Г.Й. Проектирование холодильных установок. Расчеты, параметры, примеры. М.: Техносфера, 2006. 336 с.

9. Хмельнюк М.Г., Кочетов М.Г., Форсюк А.В. Проектування холодильників для зберігання плодоовочевої продукції. Херсон.: ФОП Грінь Д.С., 2015. 162 с.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. ОСНОВНЕ ТА ДОПОМІЖНЕ ОБЛАДНАННЯ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ

Тема 4. Розрахунок теплопритоків в охолоджуваних приміщеннях холодительника.

Форми контролю: тестування, опитування, розв'язання задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.
3. Підготуйтеся до виконання практичної роботи № 4.

Машини об'ємного дії, в яких зміна обсягу здійснюється поршнем, що здійснює прямолінійний зворотно-поступовий рух називаються

- А. поршневыми компресорами
- В. спіральними компресорами
- С. гвинтовими компресорами
- Д. осьовими

Основні елементи холодильної машини

- А. тепловий датчик, дросель
- В. компресор, конденсатор, випарник
- С. засоби керування та регулювання
- Д. засоби автоматизації

Пристрій, призначений для охолодження парів холодильного агента і перетворення їх в рідину називається

- А. випарник
- В. компресор
- С. конденсатор
- Д. теплообмінник

Конденсатор - це пристрій, що

- А. служить для відводу теплоти від охолоджуваного тіла при температурі нижчій, ніж температура навколишнього середовища називається
- В. призначений для охолодження парів холодильного агента і перетворення їх в рідину
- С. підвищує тиск і переміщує повітря, газ або їх суміші
- Д. призначений для перетворення енергії

Види поршневих холодильних компресорів

- А. герметичні, напівгерметичні
- В. відкриті (сальникові)
- С. прості та складні
- Д. усі відповіді правильні

Рекомендована література:

1. Мнацаканов Г. К. Основи проектування холодильників. Одеса: Інститут низькотемпературної техніки ОДАХ, 2004. 71 с.
2. Кудінов О.А. Розробка холодильної установки для овочесховища місткістю 2000 т. ДоННУЕТ: Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, 2020. 69 с. (науковий керівник Л.О. Цвіркун).
3. Слюсаренко Ю.С., Фаренюк Є.Г. Приклади розрахунку к ДСТУ Б В.2.6-189:2013 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Посібник для проектування. К.: Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», ТК 302 «Енергоефективність будівель і споруд», ПК-1 «Теплоізоляція будівель», 2014. 106 с.
4. Гуртовенко Ю.О. Проектування холодильників. Біла Церква: Технологіко-економічний коледж Білоцерківського національного аграрного університету, 2010. 124 с.
5. Крылов Ю.С., Пирог П.И., Вясютович В.В. Проектирование холодильников. М.: Пиш. пром. 1972. 274 с.
6. Пирог П.И. Теплоизоляция холодильников. М.: Пищ. Пром., 1966. 226 с.
7. Проектирование холодильных сооружений: справочник / под общ. ред. А.В. Быкова. М.: Пищ. Пром., 1978. 351 с.
8. Брайдерт Г.Й. Проектирование холодильных установок. Расчеты, параметры, примеры. М.: Техносфера, 2006. 336 с.
9. Хмельнюк М.Г., Кочетов М.Г., Форсюк А.В. Проектування холодильників для зберігання плодоовочевої продукції. Херсон.: ФОП Грінь Д.С., 2015. 162 с.

Тема 5. Розрахунок і підбір компресорів.

Форми контролю: тестування, опитування, розв'язання задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.
3. Підготуйтеся до виконання практичної роботи № 5.

Комплексні агрегати об'єднують елементи машини

- А. компресор, конденсатор, випарник

- В. допоміжні елементи
- С. датчики, реле тощо
- Д. теплообмінні апарати, повітроохолоджувачі

Холодильні агрегати поділяють за типом компресора

- А. закриті та відкриті
- В. відкриті та герметичні
- С. не герметичні та герметичні
- Д. прості та складні

Компресор до складу якого входить компресор із зовнішнім приводом і сальниковим ущільненням валу називається

- А. закритим
- В. герметичним
- С. відкритим
- Д. напіваавтоматичним

Холодильні машини часто компонують з окремих

- А. агрегатів
- В. систем
- С. датчиків
- Д. повітроохолоджувачів

Якщо компресор і електродвигун знаходяться на загальному валу в герметичному кожусі то він називається

- А. закритий
- В. герметичний
- С. відкритий

Конструктивне об'єднання елементів холодильної машини в єдине ціле називається

- А. агрегатом
- В. механізмом
- С. вузлом
- Д. системою

Сукупність деяких (або всіх) вузлів холодильної машини, об'єднаних конструктивно на спільному каркасі називається

- А. холодильний агрегат
- В. морозильний агрегат
- С. конденсаторний агрегат
- Д. автоагрегатом

За способом одержання холоду розрізняють холодильники

- А. компресійні

- В. абсорбція і термоелектричні
- С. напівкомпресивні
- Д. усі відповіді вірні

Компресорно-конденсаторні агрегати поділяються за видом застосування холодильного агрегата на

- А. водяні та аміачні
- В. механічні
- С. хладові та аміачні
- Д. прості та складні

Енергетична машина для підвищення тиску і переміщення повітря, газу або їх сумішей називається

- А. компресор
- В. агрегат
- С. механізм
- Д. система

Рекомендована література:

1. Мнацаканов Г. К. Основи проектування холодильників. Одеса: Інститут низькотемпературної техніки ОДАХ, 2004. 71 с.
2. Кудінов О.А. Розробка холодильної установки для овочесховища місткістю 2000 т. ДоННУЕТ: Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, 2020. 69 с. (науковий керівник Л.О. Цвіркун).
3. Слюсаренко Ю.С., Фаренюк Є.Г. Приклади розрахунку к ДСТУ Б В.2.6-189:2013 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Посібник для проектування. К.: Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», ТК 302 «Енергоефективність будівель і споруд», ПК-1 «Теплоізоляція будівель», 2014. 106 с.
4. Гуртовенко Ю.О. Проектування холодильників. Біла Церква: Технологіко-економічний коледж Білоцерківського національного аграрного університету, 2010. 124 с.
5. Крылов Ю.С., Пирог П.И., Вясютович В.В. Проектирование холодильников. М.: Пищ. пром. 1972. 274 с.
6. Пирог П.И. Теплоизоляция холодильников. М.: Пищ. Пром., 1966. 226 с.
7. Проектирование холодильных сооружений: справочник / под общ. ред. А.В. Быкова. М.: Пищ. Пром., 1978. 351 с.
8. Брайдерт Г.Й. Проектирование холодильных установок. Расчеты, параметры, примеры. М.: Техносфера, 2006. 336 с.
9. Хмельнюк М.Г., Кочетов М.Г., Форсюк А.В. Проектування холодильників для зберігання плодоовочевої продукції. Херсон.: ФОП Грінь Д.С., 2015. 162 с.

Тема 6. Розрахунок і підбір теплообмінних апаратів. Вибір повітроохолоджувачів.

Форми контролю: тестування, опитування, розв'язання задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.
3. Підготуйтеся до виконання практичної роботи № 6 та лабораторної роботи № 2.

За принципом дії компресори поділяють на

- A. об'ємні, турбінні та струминні
- B. абсорбційні та термоелектричні
- C. водяні та аміачні
- D. прості та складні

Велику групу компресорних машин складають

- A. об'ємні, турбінні та струминні компресори
- B. водяні та аміачні
- C. відцентрові та осьові турбокомпресори
- D. автоматичні та напівавтоматичні

До об'ємних компресорів відносять

- A. поршневі
- B. ротаційні
- C. гвинтові
- D. осьові

Види гвинтових компресорів

- A. поршневі, спіральні
- B. турбокомпресори
- C. осьові
- D. усі відповіді вірні

Турбокомпресор – це компресор

- A. простої дії
- B. технологічної дії
- C. динамічної дії
- D. роторної дії

Турбокомпресор складається з двох основних частин

- A. турбіни і компресора, які з'єднані загальним валом
- B. двох турбін, які з'єднані
- C. трьох турбін, які не з'єднанні між собою
- D. трьох турбін, які з'єднанні між собою

За принципом дії всі компресори можна розділити на дві великі групи

- A. динамічні (лопатеві) та об'ємні
- B. відцентрові та осьові турбокомпресори
- C. абсорбційні та термоелектричні
- D. усі відповіді вірні

Як називається компресор, якщо газ переміщується паралельно до осі ротора, стикаючись між його робочими лопатками і нерухомими лопатками корпусу

- A. ротаційний
- B. поршневий
- C. осьовий
- D. турбокомпресори

Як називається компресор динамічної дії (відцентровий або осьовий), у якому дія на потік стиснутого газу здійснюється обертовими ґратками лопаток ротора, що урухомлюється і працюють в парі на одному валу із турбіною

- A. турбінний
- B. поршневий
- C. осьовий
- D. роторні

Як називається компресор, що має гвинтоподібні ротори із спряженими і різноспрямованими зубцями

- A. турбінний
- B. гвинтовий
- C. осьовий
- D. роторні

3. Завдання для самостійного виконання.

Скласти план холодильника, умовною місткістю 5000 т.

1. Вибрати структуру холодильника (він включає 4-7 камер зберігання морожених продуктів (75%), 2-3 універсальні камери (25%) і 1-2 морозильні камери добової продуктивності до 0,6% загальної місткості.

2. Розмір стінки колон приймаємо 6×12 метрів.

3. Приймати, що в структурі холодильника повинен бути передбачений один коридор шириною 6 метрів.

4. Визначити необхідну площу основних камер.

Рекомендована література:

1. Мнацаканов Г. К. Основи проектування холодильників. Одеса: Інститут низькотемпературної техніки ОДАХ, 2004. 71 с.
2. Кудінов О.А. Розробка холодильної установки для овочесховища місткістю 2000 т. ДоННУЕТ: Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, 2020. 69 с. (науковий керівник Л.О. Цвіркун).
3. Слюсаренко Ю.С., Фаренюк Є.Г. Приклади розрахунку к ДСТУ Б В.2.6-189:2013 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Посібник для проектування. К.: Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», ТК 302 «Енергоефективність будівель і споруд», ПК-1 «Теплоізоляція будівель», 2014. 106 с.
4. Гуртовенко Ю.О. Проектування холодильників. Біла Церква: Технологіко-економічний коледж Білоцерківського національного аграрного університету, 2010. 124 с.
5. Крылов Ю.С., Пирог П.И., Вясютович В.В. Проектирование холодильников. М.: Пищ. пром. 1972. 274 с.
6. Пирог П.И. Теплоизоляция холодильников. М.: Пищ. Пром., 1966. 226 с.
7. Проектирование холодильных сооружений: справочник / под общ. ред. А.В. Быкова. М.: Пищ. Пром., 1978. 351 с.
8. Брайдерт Г.Й. Проектирование холодильных установок. Расчеты, параметры, примеры. М.: Техносфера, 2006. 336 с.
9. Хмельнюк М.Г., Кочетов М.Г., Форсюк А.В. Проектування холодильників для зберігання плодоовочевої продукції. Херсон.: ФОП Грінь Д.С., 2015. 162 с.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мнацаканов Г. К. Основи проектування холодильників. Одеса: Інститут низькотемпературної техніки ОДАХ, 2004. 71 с.
2. Кудінов О.А. Розробка холодильної установки для овочесховища місткістю 2000 т. ДонНУЕТ: Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, 2020. 69 с. (науковий керівник Л.О. Цвіркун).
3. Слюсаренко Ю.С., Фаренюк Є.Г. Приклади розрахунку к ДСТУ Б В.2.6-189:2013 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Посібник для проектування. К.: Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», ТК 302 «Енергоефективність будівель і споруд», ПК-1 «Теплоізоляція будівель», 2014. 106 с.
4. Гуртовенко Ю.О. Проектування холодильників. Біла Церква: Технологіко-економічний коледж Білоцерківського національного аграрного університету, 2010. 124 с.
5. Крылов Ю.С., Пирог П.И., Вясютович В.В. Проектирование холодильников. М.: Пищ. пром. 1972. 274 с.
6. Пирог П.И. Теплоизоляция холодильников. М.: Пищ. Пром., 1966. 226 с.
7. Проектирование холодильных сооружений: справочник / под общ. ред. А.В. Быкова. М.: Пищ. Пром., 1978. 351 с.
8. Брайдерт Г.Й. Проектирование холодильных установок. Расчеты, параметры, примеры. М.: Техносфера, 2006. 336 с.
9. Хмельнюк М.Г., Кочетов М.Г., Форсюк А.В. Проектування холодильників для зберігання плодоовочевої продукції. Херсон.: ФОП Грінь Д.С., 2015. 162 с.
10. Цвіркун Л.О. Основи проектування холодильних систем. ДонНУЕТ. 2020. 65 с.

Навчальне видання

Красновський Олександр Абрамович
Цвіркун Людмила Олександрівна,
Омельченко Олександр Володимирович

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ
«ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ»**

Формат 60×84/8. Ум. др. арк. 2.

Донецький національний університет
економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
50042, Дніпропетровська обл.,
м. Кривий Ріг, вул. Курчатова, 13.
Свідоцтво суб'єкта видавничої
справи ДК № 4929 від 07.07.2015 р.